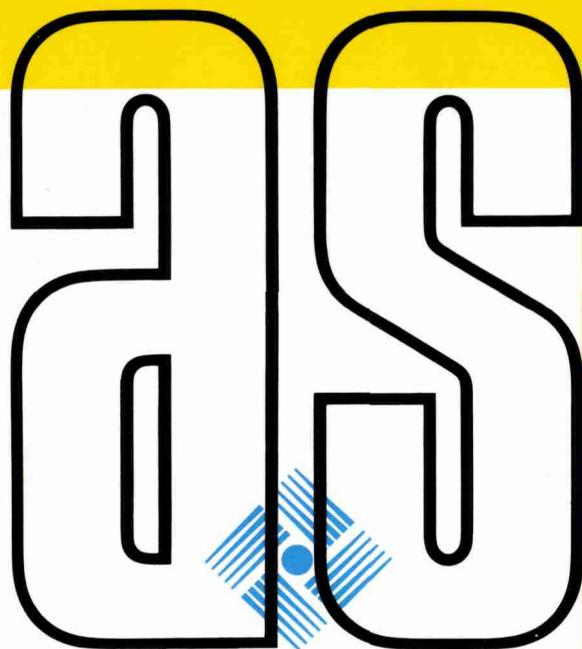


FRANCO-PHONES
UNIVERSITÉS
REF

Michel Parmentier
Kouahou Foua-bi

CÉRÉALES en
RÉGIONS CHAUDES:
CONSERVATION et
TRANSFORMATION

AUPELF



actualité scientifique



**CÉRÉALES
EN RÉGIONS CHAUDES :
CONSERVATION
ET TRANSFORMATION**

British Library Cataloguing in Publication Data

Céréales en régions chaudes.

1. Tropical regions. Cereals. Storage.

I. Parmentier, Michel.

633 . 1 ' 0468 ' 0913

ISBN 0-86196-218-4

Editions John Libbey Eurotext

6, rue Blanche, 92120 Montrouge, France.

Tél : (1) 47.35.85.52

John Libbey Company Ltd

13, Smith Yard, Summerley Street, London SW18 4HR, England.

Tél : (01) 582.5266

© 1989, Paris

CÉRÉALES EN RÉGIONS CHAUDES : CONSERVATION ET TRANSFORMATION

Colloque International de Technologie
Centre universitaire de N'Gaoundéré, Cameroun
22-26 février 1988

COMITÉ SCIENTIFIQUE

M. FOUA-BI Kouahou
M. MBON Ruben
M. NKOUKA Nazaire
M. PARMENTIER Michel
M. VERBRUGGE Jean-Claude
M. DILLON Jean-Claude

Organisé conjointement par

- l'Organisation de l'Unité Africaine (OUA)
- l'Association des universités partiellement ou entièrement de langue française (AUPELF)
- le Centre universitaire de N'Gaoundéré (Cameroun)

avec le concours de

- l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)
- le Fonds International de Coopération Universitaire (FICU)
- l'UNESCO
- le CTA
- l'ACCT



Les collections « *Universités francophones* » de l'UREF :

Un instrument nouveau pour consolider l'espace scientifique francophone

L'Université des Réseaux d'Expression Française (l'UREF) a créé un ensemble de collections « Universités francophones » qui sont les instruments nécessaires d'une vie scientifique de qualité dans l'espace scientifique francophone.

Fruit de la collaboration de chercheurs du Nord et du Sud, dans le cadre, notamment, des journées scientifiques et des colloques organisés par les réseaux de recherche partagée de l'UREF, ces « Actualités scientifiques » veulent, en consolidant la coopération scientifique entre tous les partenaires de la francophonie, contribuer à la promotion de la recherche en langue française.

Cette nouvelle collection est complétée par une collection de manuels universitaires et par une collection d'ouvrages scientifiques (« Sciences en marche »).

Professeur Michel Guillou
Délégué Général de l'UREF

SOMMAIRE

Liste des Participants	IX
Préambule	XIII
Conférence inaugurale : Les problèmes de la post-récolte en Afrique. Etat actuel. Perspectives d'avenir. K. Foua-Bi (Abidjan)	XV
PARTIE I. Structures de stockage. (Président de séance : M. Gilliquet)	
1. Pourquoi stocker ? S. Ntsam (N'Gaoundéré)	3
2. Rôle et importance d'une organisation de marché dans une politique de conservation et de transformation des céréales. P. Casagrande, C. Guibourg (Paris)	9
3. Structures paysannes de stockage. O. Kodio (Bamako)	19
4. Stockage des céréales dans ses entrepôts souterrains. E.H. Bartali, S. Afie (Rabat), E. Persoons (Louvain-la-Neuve)	27
5. Le stockage enterré : réponse aux problèmes du Tiers Monde. M. Gilliquet, J.-C. Verbrugge (Gembloux)	39
6. Les pertes dues aux insectes sur les stocks paysans de céréales en Côte d'Ivoire. A. Ratnadass, B. Sauphanor (Bouaké)	47
7. Besoins en séchage : le point de vue des fermiers de Sierra Leone. M.W. Basse (Dakar)	57
8. Innovations dans les technologies de séchage des grains. Y.W. Jeon S.L. Halos, A.R. Elepano (Manila)	71
9. Etat sanitaire des semences de blé et d'orge utilisées au Maroc. M. Besri (Rabat)	85
PARTIE II. Dégradations en cours de stockage et moyens de préservation. (Président de séance : N. Nkouka)	
1. Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à un ravageur secondaire : <i>Tribolium castaneum</i>, lors de la conservation des céréales. K. Bekon (Abidjan), F. Fleurat Lessard (Pont de la Maye)	97
2. Conservation des céréales humides sous atmosphère contrôlée Limites théoriques et pratiques. B. Diawara, D. Richard-Molard, B. Cahagnier (Nantes)	105
3. Les microorganismes fongiques saprophytes du maïs au cours de la conservation au Congo. C. Makambila (Brazzaville)	117
4. Intérêt du mélange deltaméthrine + organo-phosphorés pour la protection des céréales stockées dans les pays tropicaux. J. Duguet (Paris)	123

5. Possibilités d'amélioration de la résistance variétale du riz aux insectes des stocks. B. Sauphanor (Bouaké).	131
6. Facteurs contribuant à la protection du maïs contre les attaques de <i>Sitophilus</i> et <i>Prostephanus</i>. B.J.R. Philogène, J.T. Arnason, J.D.H. Lambert (Ottawa).	141
7. Profil bactériologique du kutukutu à température ambiante. F.X. Etoa, C.M.V. Mbofung, R. Ndjouenkeu (N'Gaoundéré).	151
8. Les aflatoxines dans les céréales et les aliments prêts à la consommation au Cameroun. F. Domngang Mbiapo, A. Tchana, P.F. Moundipa (Yaoundé)	157

PARTIE III. Procédés de transformation. (Président de séance : M. Parmentier)

1. Le maïs au Sud-Bénin : innovations technologiques et alimentation. H. Devautour (Montpellier), C.M. Nago (Cotonou).	167
2. Etude comparative de quelques techniques de transformation du maïs en farine dans l'Adamaoua. R. Ndjouenkeu, C.M.F. Mbofung, F. X. Etoa (N'Gaoundéré)	179
3. Dureté, caractéristiques physicochimiques et aptitude au décortiquage des grains de sorgho. G. Fliedel, C. Grenet, N. Gontard, B. Pons (Montpellier).	187
4. Influence des différentes méthodes de mouture sur les rapports molaires phytate/zinc, (calcium × phytate)/zinc, et la teneur en certains oligo-éléments dans les fractions de mouture de maïs et de sorgho. C.M.F. Mbofung, R. Ndjouenkeu, F.X. Etoa (N'Gaoundéré).	203
5. Bio-assimilation <i>in vitro</i> du fer contenu dans différentes préparations de bouillies à base de farine de maïs et de sorgho. Influence des conditions de mouture et de préparation. C.M.F. Mbofung, R. Ndjouenkeu (N'Gaoundéré) ...	213
6. Transformation traditionnelle de quelques céréales cultivées en Côte d'Ivoire. F. Aboua, J. Nemlin, A. Kossa, A. Kamenan (Abidjan).	223
7. Etude d'une ligne semi-industrielle d'usinage du riz. A. Bergeret, J.F. Cruz, F. Troude (Montpellier)	231
8. Simplification d'une décortiqueuse en vue d'une fabrication artisanale. J. Nance (Banjul)	241
9. L'expérience sénégalaise dans le domaine de la transformation primaire des céréales locales : bilan et perspectives. M. Diouf (Dakar)	249
10. Etude d'un décortiqueur adapté aux besoins de transformation artisanale des mils, maïs et sorgho au Sénégal. H.M. Mbengue (Bambey)	255
11. Etude de deux procédés de fermentation traditionnelle de couscous de mil (<i>Pennisetum typhoides</i>). B. N'Dir, R.D. Gning (Dakar)	265
12. Expériences de décortiquage mécanique des céréales (mil, sorgho, maïs) au Sénégal. I.Seck (Dakar).	273

PARTIE IV. Programme d'action (Président de séance : K. Foua-Bi)

1. Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations. J.C. Favier (Paris).	285
2. Les produits céréaliers dans l'alimentation de sevrage du jeune enfant en Afrique. J.C. Dillon (Thiverval-Grignon)	299

Sommaire

3. Valoriser les céréales locales en grande consommation, une nécessité pour l'économie des pays africains. <i>V. Truchetto, G. Imbs, G.J. Kayem (N' Gaoundéré), M. Parmentier (Vandœuvre-les-Nancy)</i>	309
4. Etude de l'acceptabilité de pains à base de farine composées dans le Nord-Cameroun. <i>G. Imbs, A. Bessière, A. Devailly, T. Cousson, G.J. Kayem (N' Gaoundéré), M. Parmentier (Vandœuvre-les-Nancy)</i>	327
5. Fabrication industrielle de pâtes composées blé-maïs. <i>C. Mestres, F. Matencio, J. Faure, J. Abecassis (Montpellier)</i>	337
6. La valorisation des produits alimentaires locaux. Quelques expériences et potentiel des stratégies de marketing appropriées à l'Afrique. <i>G.M. Henault (Ottawa)</i>	349

LISTE DES PARTICIPANTS

- Abadam M.** Journaliste. SOPECAM, Agence de Garoua. BP 460, Garoua, Cameroun
- Arabi S.** Directeur de l'ENSIAAC. BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun
- Asfom P.** Ingénieur agronome, Chef du service expérimentation. SODECOTON. BP 302, Garoua, Cameroun
- Atchikiti A.O.** Ingénieur de recherche, Chargée de la protection des denrées stockées. IRAT-CIRAD. BP 1163, Lomé, Togo
- Baryeh E.** Département de mécanique. ENSIAAC. BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun
- Bassey M.W.** Administrateur principal, Programmes systèmes post-production. CRDI. Bureau régional Afrique centrale et de l'ouest. BP 11017, Dakar, Sénégal
- Bekon K.** Professeur, Sous-Directeur chargé de la recherche scientifique à l'ENSA. 08 BP 35, Abidjan 08, Côte d'Ivoire
- Bensahraoui H.** Direction générale des sciences et techniques pour le développement. Agence de coopération culturelle et technique. 13, quai André Citroën, 75015 Paris, France
- Besri M. (*)** Professeur, Département de phytopathologie. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. BP 6202, Rabat-Instituts, Maroc
- Biebie-Songo M.** Maître-assistante de toxicologie. INSSSA-Université Marien Ngouabi. BP 69, Brazzaville, République populaire du Congo
- Bobo L.** Chargée de mission. ALTERSIAL, c/o ENSIA, 1, avenue des Olympiades, 91305 Massy, France
- Bricas N.** ENDA Tiers-Monde. CILSS, BP 3370, Dakar, Sénégal
- Cahagnier B.** Docteur 3^e cycle, Ingénieur. INRA, Laboratoire de microbiologie et technologie céréalières. Rue de la Géraudière, 44072 Nantes Cedex 03, France
- Cornet D.** AGRER. Rue du Magistrat 2 B1, 1050 Bruxelles, Belgique
- Coulibaly C.** OPAM. BP 132, Bamako, Mali
- Courbarien C.** Secrétaire. Bureau européen de l'AUPELF. 192, boulevard Saint-Germain, 75007 Paris, France
- Cruz J.F.** CEEMAT-CIRAD. Domaine de Lavalette, Avenue du Val de Montferrand, 34100 Montpellier, France
- Dakouo E.** Directeur de la sécurité alimentaire. OPAM, BP 132, Bamako, Mali
- Dazogbo S.N.** Conseiller en sciences et technologies. Regional Office for Science and Technologie (UNESCO), BP 3311, Dakar, Sénégal
- Devautour H.** CEEMAT-CIRAD. Domaine de Lavalette, Avenue du Val de Montferrand, 34100 Montpellier, France
- Dillon J.C.** Professeur, Chaire de nutrition humaine. Institut national agronomique Paris-Grignon, Centre de Grignon, 78850 Thiverval-Grignon, France
- Diouf M.** Chef de la division céréales et légumineuses, Institut de technologie alimentaire. BP 2765, Hann-Dakar, Sénégal
- Dipoko D.** Secrétaire du Directeur de l'ENSIAAC. BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun

Liste des participants

- Domngang S.** Directeur général, Centre universitaire de N’Gaoundéré. BP 454, N’Gaoundéré, Cameroun
- Duguet J.** Docteur-ingénieur. ROUSSEL UCLAF. 163, avenue Gambetta, 75020 Paris, France
- Essono Ebozo’o P.** Ingénieur agronome, Directeur de projet, CIAM-FAO. BP 2183, Libreville, Gabon
- Etoa F.X.** Docteur 3^e cycle. Laboratoire de microbiologie, ENSIAAC. BP 455, N’Gaoundéré Cameroun
- Fall O.** Secrétaire, Bureau africain de l’AUPELF. BP 10017, Liberté-Dakar, Sénégal
- Favier J.C.** ORSTOM-CIQUAL. 16, rue Claude Bernard, 75005 Paris, France
- Fliedel G.** Laboratoire de technologie des céréales. IRAT-CIRAD, 9, place Viala, 34060 Montpellier Cedex, France
- Foko J.** Professeur. Centre universitaire de Dschang, BP 96, Dschang, Cameroun
- Foua-Bi K.** Professeur. ENSA. BP 35, Abidjan 08, Côte d’Ivoire
- Garriga J.** Ingénieur agronome. BELACD (Diocèse de Sarh). BP 87, Sarh, Tchad
- Gilliquet M.** Unité de résistance des matériaux et constructions du Génie rural. Faculté des sciences agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2, B-5800 Gembloux, Belgique
- Guibourg C.** Chargée de coopération, Ingénieur agronome. Office national interprofessionnel des céréales. 21, avenue Bosquet, 75007 Paris, France
- Henault G.M.** Directeur à l’IDIC. Université d’Ottawa, 50 College, Ottawa K1N 6N5, Canada
- Hilmi A.** Expert-associé, Pertes après-récolte. FAO/AGS/PFL. Bureau 662, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie
- Ibrahima D.** Journaliste. Centre provincial de presse et d’information pour l’Adamaoua. BP 135, N’Gaoundéré, Cameroun
- Iloga L.** Chef du service technique. Office céréalière, BP 298, Garoua, Cameroun
- Imbs G.** ENSIAAC. Centre universitaire de N’Gaoundéré, BP 455, N’Gaoundéré, Cameroun
- Jeon Y.W.** IITA, Ibadan, Nigeria
- Kamenan A.** CIRT. O8 BP 881, Abidjan 08, Côte d’Ivoire
- Kante A.** Ingénieur d’agriculture. Section de recherche sur les cultures vivrières et oléagineux. ICRISAT c/o Ambassade Américaine. BP 34, Bamako, Mali
- Kayem G.J.** Directeur adjoint de l’ENSIAAC. Directeur des études. BP 455, N’Gaoundéré, Cameroun
- Knockaert B.** Chargé de mission. Bureau africain de l’AUPELF, BP 10017 Liberté-Dakar, Sénégal
- Knopse C.** OPAM c/o Sécurité alimentaire, BP 1748, Bamako, Mali
- Kodio O.** Ingénieur d’agriculture. Chef du Projet légumineuses alimentaires. Institut de recherche agronomique, BP 438, Bamako, Mali
- Konare M.** Conseiller industriel principal hors siège ONUDI, Bureau du PNUD, BP 836, Yaoundé, Cameroun

Liste des participants

- Koroma E.Y.** Agricultural engineer, Rokupr Rice Research Station. PMB 736, Freetown, Sierra Leone
- Kossou K.D. (*)** Professeur. Département de production végétale, Faculté des sciences agronomiques, Université Nationale du Bénin. BP 526 Cotonou, République populaire du Bénin
- Laurent G.** Maître de conférences. Département sciences de l'alimentation, ENSIAAC. BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun
- Laurent X.** Conseiller agricole. Diocèse de Yagoua, BP 97, Kaélé, Cameroun
- Makambila C.** Docteur ès sciences naturelles, Département de biologie végétale, Faculté des sciences. Université Marien Ngouabi, BP 69, Brazzaville, République populaire du Congo
- Mbengue H.M.** Ingénieur de recherches. ISRA-CNRA, BP 53, Bambey, Sénégal
- Domngang Mbiapo F.** Laboratoire de biochimie, Université de Yaoundé, BP 337, Yaoundé, Cameroun
- Mbofung C.M.F.** Chargé de cours, Département des sciences de l'alimentation, ENSIAAC. Centre universitaire de N'Gaoundéré, BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun
- Mestres C.** Laboratoire de technologie des céréales, IRAT-CIRAD, 9, place Viala, 34060 Montpellier Cedex, France
- Mohamadou A.F.** Président. SOCOOPED Vina. BP 204, N'Gaoundéré, Cameroun
- Ben Monaye M.** Ingénieur agronome. Association de coopération rurale en Afrique, BP 1099, Ndjamen, Tchad
- Mooney T.** Appropriate Technology International. 1331 H Street, N.W., Washington, D.C., Etats-Unis 20005
- Moudoukoumtar B.** Ingénieur des travaux agricoles. BELACD, (Diocèse de Sarh), BP 87, Sarh, Tchad
- Moundipa P.F.** Unité de biochimie. Faculté des sciences, Université de Yaoundé, BP 812, Yaoundé, Cameroun
- Musonge P.** Département génie des procédés. ENSIAAC, BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun
- Nago C.M.** Université Nationale du Bénin, Faculté d'Agronomie, BP 526, Cotonou, Bénin
- Nance J.** Project manager for the Grain Dehuller Project Catholic Relief Services, USCC, The Gambia Program, PO Box 568, Banjul, Gambie
- N'Dir B.** Ingénieur agronome, Chef du département Contrôle de qualité. Institut de technologie alimentaire, BP 2765, Hann-Dakar, Sénégal
- Ndjiki O.P. (*)** Chef du centre de nutrition, BP 6163, Yaoundé, Cameroun
- Ndjouenkeu R.** Docteur 3^e cycle. Département des sciences de l'alimentation. ENSIAAC, Centre universitaire de N'Gaoundéré, BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun
- Ngassoum M.** Département de chimie. ENSIAAC, BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun
- Njifakue I.** Journaliste. Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, BP 1457, Yaoundé, Cameroun
- Nkouka N.** Secrétaire scientifique-adjoint. Conseil phytosanitaire interafricain. BP 4170, Nlongkak-Yaoundé, Cameroun
- Ntsam S.** Ingénieur agronome, Chef du service Agriculture. Délégation provinciale de l'agriculture pour l'Adamaoua. N'Gaoundéré, Cameroun

Liste des participants

- Pademona F.R.** Directeur adjoint, Projet Systèmes post-récolte. BP 506, Bangui, République Centrafricaine
- Pamo T.E.** Institut de recherche zootechnique. Centre de Wakwa, BP 65, N'Gaoundéré, Cameroun
- Parmentier M.** Professeur. ENSAIA, 2, avenue de la Forêt-de-Haye, BP 172, 54505 Vandoeuvre-Les-Nancy Cedex, France
- Philogène B.J.R.** Doyen de la Faculté des Sciences. Université d'Ottawa. 32 George Glinski, Ottawa K1N 6N5, Canada
- Ratnadass A.** Expert entomologiste. Projet Systèmes Post-Récoltes VITA/Africare, BP 506, Bangui, République Centrafricaine
- Rizzi P.** Ingénieur agronome. BELACD (Diocèse de Sarh), BP 87, Sarh, Tchad
- Sauphanor B.** IDESSA. BP 635, Bouaké, Côte d'Ivoire
- Seck I.** Directeur technique adjoint. SISMAR. 20, rue Docteur Theze, BP 3214, Dakar, Sénégal
- Tchana A.** Unité de biochimie, Faculté des sciences. Université de Yaoundé, BP 812, Yaoundé, Cameroun
- Tchekandom M.** Chef du service des relations internationales. Centre universitaire de N'Gaoundéré, BP 454, N'Gaoundéré, Cameroun
- Tchiengue E.** Chef de service adjoint des Etudes et Projets, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique/DRST. BP 707, Yaoundé, Cameroun
- Tchouomkem G.** Secrétaire au service de la coopération et des relations internationales. Centre universitaire de N'Gaoundéré, BP 454, N'Gaoundéré, Cameroun

(*) Excusé

PRÉAMBULE

L'auto-suffisance alimentaire ! Depuis les années 1970-1980, cette expression revient dans tous les discours politico-économiques traitant du développement du Tiers-Monde. Une dizaine d'années environ après les indépendances, la concordance de phénomènes économiques et démographiques très défavorables aux économies fragiles a conduit au retour en force de la sous-alimentation, de la malnutrition et même de la famine. Le concept autarcique d'*auto-suffisance alimentaire* d'un Etat, d'une Région et même d'un Continent est apparu, traduisant une préoccupation majeure ancestrale et un peu surannée : un territoire doit nourrir ses habitants, en qualité et quantité.

La première réponse des scientifiques et des acteurs économiques à cette interpellation a été le développement de la production agricole : réponse essentiellement agronomique, mobilisant géologues, pédologues, phyto- et zootechniciens, et agroéconomistes. Grâce aux ressources de la génétique, de la phytochimie, de l'hydraulique, des systèmes performants de production ont été mis au point, tout particulièrement dans la culture des céréales, constituant de base de nos systèmes alimentaires.

L'expression évoluée de cette démarche est la Société de Développement, structure généralement étatique de promotion et encadrement d'une ou plusieurs cultures. Gros consommateurs de crédits publics et multilatéraux, ces organismes se sont heurtés à des problèmes insurmontables lorsque l'Etat, pour raison de crise économique, n'a plus fait face à un engagement financier de plus en plus lourd. Conditions météorologiques aidant, les niveaux de production sont retombés souvent plus bas qu'au départ... Des voix se sont alors élevées pour revenir à des structures plus traditionnelles ayant pour but de mieux valoriser par des *adaptations* plutôt que par des *révolutions* les productions villageoises.

Prise en compte par de nombreux chercheurs et organismes, cette réhabilitation a réactivé le concept de *système alimentaire*, qui englobe la production (mobilisant les sciences agronomiques) le stockage et la transformation des matières premières en aliments (domaine des sciences des procédés, de l'alimentation et de la nutrition). Si, globalement, les problèmes agronomiques sont pris en compte par des équipes importantes et bien maillées au Sud comme au Nord, il n'en est pas de même des *technologies de l'après-récolte*, longtemps considérées comme un sous-domaine occupant quelques chercheurs isolés, ne traitant que rarement les problèmes dans leur globalité.

Depuis 1979, l'AUPELF développe un réseau de chercheurs sur la technologie post-récolte, dans les trois grandes catégories de cultures vivrières que sont les légumineuses, les tubercules et les céréales. Le Colloque de N'Gaoundéré, consacré aux céréales vient donc naturellement après ceux de Yaoundé (1979) et de Bangui (1985). Il marque toutefois une innovation fondamentale : la technologie de transformation des céréales, qu'elle soit villageoise, artisanale ou industrielle, y a été considérée comme une méthode de sauvegarde et de conservation des récoltes. Le système alimentaire ainsi constitué conserve l'harmonie naturelle entre cultures (sols, climats, variétés, techniques), savoir-faire artisanal et communautaire (stockage, première transformation) et les habitudes alimentaires des hommes dans leur milieu (techniques culinaires, transformations secondaires). La réhabilitation de systèmes tombés dans l'oubli constitue l'un des rares moyens disponible pour diminuer la dépendance alimentaire de ces pays vis-à-vis des productions céréalières des régions tempérées, blé et orge en particulier. Le Colloque de N'Gaoundéré consacre cette évolution de la pensée et per-

Préambule

met de faire le point des nombreux travaux entrepris depuis la résurgence du concept. Les équipes mobilisées sont presque toujours pluridisciplinaires : agronomie, procédés, mécanique, économie, et largement imbriquées entre Nord et Sud.

A travers quatre thèmes autour desquels s'articule toute la problématique de l'*après-récolte*, cette réunion de chercheurs a permis de poser le problème des pertes *en cours de stockage* (Partie I) et d'en identifier les causes donc de proposer des *moyens de lutte* (Partie II). La *transformation* est abordée sous son aspect de sauvegarde ou de mise à disposition des consommateurs de produits adaptés et économiquement compétitifs (Partie III). La Partie IV se voulait enfin un élargissement de la réflexion incluant les problèmes micro et macroéconomiques d'une *valorisation en grande consommation* des céréales locales.

Le Colloque de N'Gaoundéré est à la fois un aboutissement et un nouveau départ : aboutissement d'une démarche de l'AUPELF dont l'aspect innovant apparaît à l'heure actuelle bien mieux que lors de son lancement; démarrage enfin des activités d'une nouvelle communauté scientifique qui reprend en l'élargissant cette voie de recherche. Tel est l'objet du *programme d'amélioration des systèmes post-récolte* de l'Université des Réseaux d'Expression Française dont l'ambition est la mobilisation d'équipes pluridisciplinaires de chercheurs des cinq continents pour une progression vers l'autosuffisance alimentaire des Pays en Voie de Développement.

M. PARMENTIER

CONFÉRENCE INAUGURALE

Les problèmes de la post-récolte en Afrique. Etat actuel. Perspectives d'avenir

En 1960, c'est-à-dire au seuil des Indépendances, l'Afrique arrivait à nourrir son monde. On parlait à cette époque d'une forme plus pernicieuse de la famine, c'est-à-dire de l'équilibre alimentaire. Aujourd'hui, elle est obligée d'importer de grandes quantités de céréales pour nourrir une population évaluée au quart de sa population actuelle, ce qui représente approximativement la population urbaine.

On trouvera beaucoup de choses à dire sur les causes de cette situation. Sans nous y étendre particulièrement, disons simplement que depuis cette époque le taux de croissance de la population s'est accru, et que par contre le taux de développement agricole n'a pas suivi : ce qui a entraîné un déséquilibre dans la production des cultures vivrières notamment. En effet, une rétrospective sur les cultures en Afrique rend compte que les cultures de rapport en provenance des pays exportateurs dont l'Afrique a retenu très tôt l'attention des pays importateurs plus riches, alors que l'on savait très peu de choses des denrées alimentaires laissées pour compte. On a donc amélioré les techniques de production des premières au détriment des dernières qui sont par conséquent restées dans l'oubli, à la charge des paysans qui ont continué à les produire de façon traditionnelle.

De ce fait, aujourd'hui les gouvernements africains sont obligés d'importer des céréales pour couvrir leur déficit alimentaire de plus en plus important. Afin de réduire le recours à l'extérieur et d'atteindre l'autosuffisance alimentaire, ils ont entrepris de développer les cultures vivrières. Malgré les efforts qu'ils font, il y a cependant toujours inadéquation entre l'augmentation des besoins et les ressources disponibles par le fait qu'il y a une mauvaise confrontation entre l'offre et la demande.

En effet, le caractère saisonnier de la plupart des productions vivrières et l'étalement de leur consommation sur toute l'année rendent leur stockage nécessaire sur une longue période. Or celui-ci est rarement assuré par les circuits commerciaux; par conséquent, le principal frein au développement se situe au niveau du système post-récolte et est notamment lié à des problèmes de conservation.

Il s'agit donc plus d'un problème d'ordre politique que technique et les solutions doivent être envisagées dans ce sens.

En Afrique de l'Ouest, les premiers essais concertés pour améliorer les conditions de stockage dans le but d'obtenir une meilleure qualité et d'en réduire les pertes eurent lieu en 1948. Cette action fut entreprise par les Britanniques en raison de la qualité médiocre des arachides en provenance du Nigeria et qui étaient exportées au Royaume-Uni. Depuis ce temps, la situation n'a guère connu d'évolution particulière. Il a fallu attendre la sécheresse des années 1972-1973 pour que l'on accorde toute l'attention requise aux pertes importantes subies par les récoltes durant leur stockage dans les pays sahéliens francophones au cours des opérations d'urgence de l'OSRO et de la FAO. Les programmes lancés à cette époque en Mauritanie, au Mali, au Burkina-Faso (ex Haute-Volta) et au Niger étaient principalement axés sur les techniques de stockage et la prévention des déperditions des denrées.

Ce qui est certain, c'est qu'il y a eu dès lors une prise de conscience aussi bien au niveau de l'individu que des Gouvernements, aidée en cela par les Organismes internationaux. En effet l'adoption en 1975 d'une résolution par la 7^e Session spéciale de l'Assemblée générale des Nations-Unies appelant à une action soutenue en vue de la réduction de moitié des pertes alimentaires après récoltes à l'horizon 1985 et les recommandations spécifiques contenues dans le plan d'action de Lagos en 1980, ainsi que les réunions ministérielles de 1981 et 1983 soulignant l'urgence qu'il y a à promouvoir en Afrique des actions engagées de réduction de telles pertes dans le cadre de la stratégie pour l'autosuffisance alimentaire furent déterminantes.

Des concertations se succédèrent alors à un rythme effréné. La première réunion s'est tenue à Bamako du 16 au 28 Avril 1979 dans les locaux de l'Institut du Sahel. Ce séminaire regroupait les ressortissants des pays sahéliens et des pays d'Afrique de l'Ouest dont une partie du territoire connaît un climat sahélien. Y prirent part : le Bénin, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Sénégal et le Togo. Ceux-ci étaient encadrés par une dizaine d'experts venus d'Afrique, d'Allemagne Fédérale, du Canada, de la France et de la Grande-Bretagne.

Ensuite ce fut le premier Colloque de technologie post-récolte qui s'est tenu à l'Université de Yaoundé au Cameroun en Novembre 1979. Ce colloque fut organisé par l'AUPELF avec le concours de l'ACCT, du GASGA et d'autres organisations internationales, à l'intention des pays de la zone tropicale humide. Le thème à facture technologique a marqué un point de référence pour la nécessité ressentie par les Africains d'entreprendre des recherches sur les problèmes en rapport avec le développement, d'assurer la formation par la recherche et de mettre en place à terme un «réseau de compétences africaines» dans le domaine concerné, valorisant ainsi des technologies endogènes mieux assurées par les populations.

Novembre 1981 : c'est le Centre de Recherche Africain en Technologie qui tient à son tour sa première réunion consultative des institutions nationales et multinationales de recherche et de développement sur la réduction des pertes alimentaires. Les objectifs portaient sur l'échange des informations sur les activités actuelles et prévues visant à la réduction des pertes en denrées alimentaires à la suite des récoltes, la coordination de ces programmes d'activités afin d'éviter tout double emploi, l'évaluation de l'impact au plan régional alimentaire élaboré dans le plan d'action de Lagos sur les programmes de recherche et de développement.

Abidjan reçoit en novembre 1983, au sein de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique un symposium sur les tubercules avec pour objectifs l'échange des informations et la coordination des programmes sous-régionaux répondant ainsi comme un écho à celui fait à Buéa au Cameroun en 1978 pour les pays d'Afrique Centrale. Un accent particulier sera mis sur les problèmes post-récolte et particulièrement la gestion des stocks de tubercules.

Les problèmes relatifs aux légumineuses vont être abordés au cours du Colloque international qui s'est tenu à Niamey en novembre 1985. Ici encore, on a beaucoup parlé de la conservation et du stockage. Ces deux rencontres furent l'œuvre de l'AUPELF par l'intermédiaire du Comité International Africain de Technologie post-récolte.

L'année dernière, en février 1987, le Séminaire sur les préventions des pertes alimentaires après récolte qui s'est tenu à Lomé, organisé par la division mixte CEA/FAO de l'agriculture eut pour objet de promouvoir l'échange des données d'expériences nationales, de recueillir des informations sur les activités nationales en cours dans les Etats membres et d'examiner les meilleures voies d'établissement d'une structure permanente de coordination des activités visant la réduction des pertes et la diffusion des données d'expériences.

Aujourd'hui, un autre colloque, organisé conjointement par l'OUA, l'AUPELF et le Centre universitaire de N'Gaoundéré. Ici l'objectif est la recherche de techniques visant à minimiser les pertes post-récolte des céréales; son élargissement aux techniques de transformation est un aspect nouveau par rapport aux deux autres colloques organisés par le Comité Interna-

tional de Technologie post-récolte. Avant d'aborder dans le détail les thèmes proposés, il était nécessaire de connaître l'impact réel de toutes les réunions passées sur les problèmes de la post-récolte en Afrique, en d'autres termes, quelle est à l'heure actuelle la situation de l'après-récolte en Afrique ?

1. *Au niveau de la recherche*, on note avec satisfaction que la plupart des pays africains ont désormais au moins une structure de recherche qui s'occupe de la post-récolte et que de plus en plus des spécialistes africains se dégagent.

Mais, ne nous faisons cependant pas d'illusion : la plupart des thèmes de recherche sont surtout exploratoires et la plupart du temps ces structures ont peu de moyens pour la réalisation de leur programme de recherche.

Il faut noter que certains pays ont installé des structures de traitement appuyées par une structure de connaissance des agents de destruction, cela avec l'aide de la communauté internationale : mais on peut se demander combien de temps ces structures vont fonctionner dès lors que l'aide n'est apportée que pour une période déterminée.

2. *Au plan des structures de stockage*, il semble que dans la plupart des cas, deux systèmes soient adoptés : le système de conservation traditionnelle constitué par les greniers : ils sont généralement de petites capacités, et le système moderne avec de grands silos de type occidental, construits à grands frais dans les capitales et les ports importants. Il est à noter que la plupart du temps, ils ne sont pas fonctionnels.

Lorsque des silos moins importants existent sur le territoire et sont répartis dans les régions de production comme en Côte d'Ivoire, on se désintéresse du système traditionnel qui reste alors l'affaire des chercheurs.

D'une manière générale, les solutions ne semblent pas toujours adaptées et les pertes continuent d'être énormes au niveau des stocks.

3. *La cause majeure des pertes dans les stocks est attribuée aux insectes (44 %) aux rongeurs (30 %) et aux moisissures et autres (26 %)*. Un insecte retient actuellement l'attention des chercheurs : il s'agit de *Prostephanus truncatus* qui est un ravageur rencontré en 1978 aux USA par Horn et qui a été introduit en Afrique à la faveur des aides alimentaires. Le TDRI estime les pertes dues à cet insecte de l'ordre de 140 000 tonnes de maïs en Tanzanie en 1980. En considérant la valeur de cette perte et les coûts occasionnés par son remplacement au moyen d'importation et en tenant compte du transport, cela représente pour ce pays une somme estimée à 27 millions de dollars américains par an. Cet insecte a également fait perdre au Togo en 1985, 56 000 tonnes de maïs.

Si on considère qu'il faut une tonne pour nourrir 6 personnes par an (estimation du GASGA), cela représente pour l'année en question de quoi nourrir 336 000 personnes, soit la population de la capitale de ce pays, pendant une année.

Notons tout de même que les insectes sont sensibles aux pesticides et qu'il est relativement facile de les éliminer.

Ces dernières années, on a parlé du déficit alimentaire mondial dans son évaluation quantitative qui, dit-on, est en train d'être résorbé grâce à une augmentation de la production et à de meilleures conditions d'exportation dans les pays riches (USA et Europe occidentale). Malheureusement, ces régions exportatrices commercialisent des denrées peu connues dans le milieu rural des pays déficitaires du Tiers Monde. Et même si elles étaient connues, un autre problème se poserait, le déséquilibre dans l'achat : l'URSS et la Chine qui ont de gros moyens important de très grandes quantités, alors que les pays africains du Sahel ne peuvent en recevoir que sous forme de dons car ils n'ont aucun moyen d'en acquérir autrement.

Dans ces conditions on pourrait alors se demander de quelles céréales manque l'Afrique ? Envisageons séparément le cas des urbains et celui des ruraux.

— Tout d'abord les urbains : ceux-ci, libérés de l'auto-consommation, ne sont plus soumis aux exigences de l'écologie pour satisfaire leur alimentation. Avec les moyens financiers obtenus par le travail rémunéré, ils achètent ce qui leur semble plus convenable, facile à préparer et à consommer, si possible au meilleur marché. C'est ainsi qu'ils préfèrent de loin le riz et le pain !

Pour répondre à ces besoins de plus en plus croissants, les Gouvernements subventionnent l'importation du riz et du blé qui sont stockés dans les grands silos des capitales. Ce qui les rend également accessibles au plus grand nombre de consommateurs. Mais cela n'est pas sans conséquences...

— Ensuite les céréales traditionnelles dont a besoin la population rurale. Celles-ci déclinent régulièrement malgré leur prix relativement plus faible que celui des céréales importées ou produites localement à grands frais. Dès 1975, la part du mil, du maïs et du sorgho ne représentait que 1/10^e de la consommation de céréales dans la ville de Dakar. Il est certain qu'aujourd'hui la situation a empiré ! Si cet état de choses n'est pas révisé, il va entraîner des risques plus grands, en l'occurrence le divorce total entre la ville consommatrice et la campagne productrice, menant à terme à l'abandon des cultures nationales, à leur consommation et à l'exode rural.

De plus, dans l'hypothèse d'une croissance de 2,5 % de la population et d'un accroissement de 1 % de la production céréalière dans les pays en voie de développement, le déficit devrait dépasser les 100 millions de tonnes en 1990.

On se pose alors les questions : comment combler ce vide et que faire ?

La recherche des solutions aux problèmes des céréales en général et à leur post-récolte en particulier doit être envisagée avec beaucoup de circonspection pour la simple raison que le problème ne se pose pas de la même manière dans toute l'Afrique. En considérant l'Afrique au Sud du Sahara, les zones écologiques dans l'état actuel des choses privilégient certaines régions par rapport à d'autres en matière de sécurité alimentaire. On devrait donc rester sur de grandes lignes qui pourraient servir de schéma directeur à une grande majorité.

Tout d'abord, il faut noter que la post-récolte ne se limite pas au stockage : il s'agit d'une chaîne d'opérations allant de la récolte à la table du consommateur. Elle concerne également la qualité. Il y a donc les manutentions, le battage, le séchage, l'entreposage, la mouture où des pertes sont enregistrées. L'Institut International de Recherche sur le Riz aux Philippines a mesuré les pertes en différents points du système post-récolte. Il a trouvé par exemple les taux suivants de pertes :

- au cours de la récolte (1 à 3 %),
- la manutention (2 à 7 %),
- le battage (2 à 6 %),
- le séchage (1 à 5 %),
- l'entreposage (2 à 6 %),
- la mouture (2 à 10 %).

Soit des pertes pondérales cumulatives pouvant atteindre 37 % dans les fermes où l'on utilise des techniques agricoles avancées. En supposant un prix moyen de 7 dollars le quintal, on s'aperçoit que perdre 37 % d'une récolte de 25 millions de tonnes (production de céréales et légumineuses de tous les pays semi-arides d'Afrique en 1973) équivaut à une perte sèche d'environ 2 milliards de dollars.

Il a été noté par ailleurs que la ménagère au cours de la cuisine en perdait une quantité plus ou moins importante. A ce stade, on note des pertes considérables, notamment des pertes relatives à la valeur nutritive de certains aliments à la suite d'un décortilage excessif des grains, de la mauvaise estimation des quantités à préparer en fonction de la taille de la famille, de

l'ignorance des méthodes appropriées de préparation des aliments, du manque d'ustensiles et de préservation adéquats.

Enfin la contamination peut enlever jusqu'à 12 % de la valeur en protéine de certaines légumineuses. Alors qu'en Grande Bretagne une farine de première qualité contient par définition moins d'une parcelle étrangère par 100 g, des échantillons africains de semoule de maïs contiennent jusqu'à 475 000 corps étrangers par 100 g.

Les conséquences de telles situations peuvent être une malnutrition chronique dans certaines zones rurales et des pertes considérables.

Pour combler le déficit alimentaire en Afrique des solutions ont été proposées :

— certains ont pensé qu'il fallait simplement transporter et financer les produits destinés à combler le déficit. Ce n'est pas la solution à cause du désavantage dont j'ai parlé tout à l'heure. Je crois qu'ici il faut adopter le concept de Confucius : *«il est préférable d'apprendre à pêcher à un affamé que de lui offrir un poisson»*. Il faut donc chercher à mettre en valeur les céréales nationales afin que les paysans soient incités à produire davantage. Faute de quoi, elles se trouveront déclassées, obsolètes et les techniques de préparation se perdront et elles deviendront difficiles à obtenir et à conserver.

— d'autres proposent de limiter les pertes importantes au niveau des systèmes post-culturaux. Il faut éviter de se limiter seulement au stockage pour lequel les solutions techniques existent, car ce serait une approche incomplète.

L'amélioration des technologies de récolte, de battage et de conservation pour les céréales traditionnelles effectivement consommées dans le milieu rural s'inscrirait mieux dans la recherche d'une solution adéquate au problème du déficit céréalier. Elle n'est possible que par la formation des paysans là où manque l'innovation technologique locale.

— combler le déficit quantitatif demande aussi une plus grande production de céréales : ce qui s'inscrit dans la recherche en vue de l'amélioration du végétal qui doit être plus performant, d'une technique culturale plus productive, si ce n'est d'un agrandissement des surfaces emblavées et de la maîtrise des cofacteurs limitants dont l'eau et les intrants. Mais un tel raisonnement a deux inductions possibles : une faible et lente progression de la consommation et l'inutilité de recherche des corrélations entre les différents dommages subis par les récoltes. Elle impliquerait aussi que les modes de subsistances ancestraux et les techniques villageoises de moisson, d'entreposage et de transformation des récoltes demeurent quasiment immuables. Les efforts pour améliorer la situation alimentaire consisteraient donc à introduire des variétés sélectionnées pour améliorer les récoltes, à revoir la conception et la question des systèmes d'entreposage, à transférer des technologies de transformation.

Tout cela entraînerait l'introduction de nouveaux dommages dont l'impact pourrait être difficilement évalué par rapport à ceux existant auparavant; autrement dit, on risquerait de déplacer le problème.

— enfin, il faut tenir compte des impératifs techniques : le grenier traditionnel est très efficace et les pertes y sont faibles, c'est ce qui a permis aux populations notamment sahéliennes de subsister jusqu'aujourd'hui malgré toutes les vicissitudes qu'elles ont connues. Toutefois, ils sont limités en capacité et peu souples dans leur utilisation : en effet, si une récolte vient à être excédentaire une année, il n'est pas possible pour le paysan de construire rapidement des silos supplémentaires qui seraient de surcroît inutiles l'année suivante; ensuite ils sont étudiés pour engranger des graines non battues et ne sont plus adaptés dès que l'on veut rentrer dans un système commercial qui exige des graines battues. Enfin, ils sont conçus pour une seule espèce végétale.

Ne suffisant pas lorsque la production entre dans un système commercial, les recherches ont porté sur la mise au point de silos de tôle ondulée, faciles à construire. On a ainsi tenu compte des impératifs techniques mais on a oublié les conditions sociales et même

économiques. En effet, le stock familial est l'objet d'un prélèvement quotidien, ce qui n'est pas possible dans les silos de conception européenne. Par ailleurs, les consommateurs des villages utilisent couramment plusieurs céréales, ce qui implique des stockages séparés donc de dimensions utilitaires réduites. C'est dans ce sens que les silos compartimentés, dont chaque cellule était réservée à une céréale, ont, dans certains cas, été mis au point et bâtis par des maçons de village.

Donc le grenier traditionnel en tant qu'instrument de subsistance familial doit demeurer tel qu'il est ou se contenter de quelques améliorations accessoires.

D'une manière générale, quel que soit le degré de modification ou d'innovation, il est nécessaire de garder un contact permanent avec les utilisateurs qui doivent intervenir à tous les niveaux pour la mise au point de nouvelles technologies. La confrontation avec les réalités locales permet d'éviter que ne se renouvellent les erreurs commises par le passé.

Il importe aussi que l'analyse initiale du rapport coût/bénéfice soit positive. Selon certains sondages un rapport coût/bénéfice de 1/1,5 ne suffit pas pour persuader les agriculteurs de modifier leurs méthodes mais un rapport de 1/2 offrira probablement une motivation notable. Cette indication peut avoir son importance tant pour les planificateurs qui projettent de réduire les pertes après récoltes que pour ceux qui doivent exécuter les projets et assurer une formation dans ce domaine.

Généralement on sait très peu de choses sur les conditions réelles des échanges et il convient pour l'étude des fluctuations des prix pratiqués sur les marchés libres de se renseigner sur les conditions de production. Le développement de la filière artisanale (transformation, mouture, etc.) et une formation accrue des paysans permettraient d'augmenter le pouvoir de négociation des agriculteurs sur le marché de céréales locales en leur donnant plus longtemps la maîtrise de leurs produits. Cela implique le passage d'un mode «administratif», achats à dates fixes par les organismes d'état, de gestion de l'agriculture, à un mode économique. Ce type de stockage prendrait alors un rôle tout-à-fait différent de celui des stockages de sécurité.

Conclusion

Les pertes post-culturales estimées en poids imputables aux éco-facteurs sont d'environ 10 à 20 % alors que les pertes après récolte atteignent 37 % de la récolte. Elles concernent tant l'individu (ruine familiale) que l'économie d'un pays (pertes financières nationales).

L'impact économique de l'amélioration des différents stades de l'après récolte doit être évalué de diverses manières. Pour le stockage, il est possible de calculer la diminution des pertes de manière précise par rapport aux techniques non améliorées. D'autres gains peuvent être obtenus en perfectionnant les techniques de préparation, de transformation, qui selon les méthodes traditionnelles laissent des déchets relativement importants. Pour obtenir un gain de 10 à 15 %, on peut mettre au point de nouveaux systèmes ou améliorer ceux qui existent déjà, c'est là un choix d'orientation des recherches que les responsables doivent faire.

De toutes les façons, et de manière générale, à tous les degrés d'actions à mener après la récolte, on se pose un problème de choix politique : choix entre l'importation ou la production locale, choix du rôle à donner au stockage, choix de la filière de transformation.

Quel que soit le choix, et je rejoins en cela Michel Labonne, il faut faire vite. En l'an 2000 la nourriture de la population urbaine exigera entre 1,5 à 2,5 millions de tonnes de céréales, dont 1 à 1,5 millions de tonnes de mil, sorgho et maïs, alors que le tiers de ces quantités lui suffisait en 1975. La nature du problème céréalier va changer avec sa taille et sa nouvelle

localisation; aux disettes et famines touchant tous les niveaux à la suite des catastrophes naturelles plus ou moins épisodiques, viendront s'ajouter les difficultés continues d'approvisionnement des grandes villes. Les enquêtes et les études préconisées devraient permettre de prendre une idée de la dimension et de la nature du problème céréalier dans chaque pays. Elles identifient les principales filières qui connectent les systèmes de production, consommation, formation, distribution et enfin commercialisation. Elles fournissent les bases d'une formulation d'orientation de politiques cérésières. Mais au-delà, on ne peut progresser sans négociations et concessions avec les représentants des divers groupes intéressés à chaque étape de la filière céréale, car incontestablement, ces groupes forment l'armature d'application de la politique céréalière.

Au niveau pratique, il est nécessaire de créer par pays une structure nationale spécifique, chargée de promouvoir et de coordonner les programmes de pertes après récolte en collaboration avec les Instituts de recherches agronomiques et les Instituts techniques des Ministères concernés. Cette structure devrait avoir en outre pour mission de mettre sur pied des programmes de sensibilisation, d'information et de formation des ruraux en vue d'améliorer leurs rendements et d'alléger le travail qui leur est dévolu et aussi de programmer avec les instituts de technologie et les industriels des techniques de préparation de produits alimentaires simples ou composés qui se substituent à ceux importés en vue d'une promotion des produits locaux.

La coordination de ces politiques locales devrait être faite par l'intermédiaire d'une structure supranationale financée par la Communauté et les organismes internationaux. Cette structure sera chargée d'organiser des rencontres périodiques et d'éditer une revue d'information qui permettrait aux personnes concernées d'exposer les résultats de leurs travaux ou de faire des études synthétiques sur les problèmes post-récolte en Afrique.

K. FOUA-BI

PARTIE I

Structures de stockage

Président de séance : M. GILLIQUET

1

Pourquoi stocker ?

S. NTSAM

*Chef du Service Provincial de l'Agriculture. Province de l'Adamaoua. N'Gaoundéré.
Cameroun*

Résumé

La nécessité de stocker les céréales procède de plusieurs facteurs, dont le principal est l'étalement de la consommation de denrées récoltées ponctuellement dans l'année. S'y ajoutent de nombreux facteurs socio-économiques dont l'importance pour le revenu des paysans est énorme.

Les pertes en cours de stockage doivent être évaluées. Plusieurs méthodes d'investigation scientifique sont décrites et le mode opératoire est détaillé.

Enfin l'auteur passe en revue les grands types de structures de stockage utilisées en Afrique.

Introduction

Le premier problème posé par le déficit en céréales de la plupart des pays africains semble tout d'abord être l'aptitude à produire. A y regarder de plus près, on constate qu'entre une récolte localisée sur un laps de temps très court, et une consommation annuelle, une partie non négligeable (certains auteurs parlent de plus de 30 %) des grains disparaît à la suite de diverses dégradations. Le stockage n'est donc pas une opération neutre.

De quoi dépend le besoin de stocker ? Quelles sont les méthodes de stockage les mieux adaptées ? Peut-on évaluer les pertes pendant cette période plus ou moins longue ?

Nécessité du stockage

La nécessité de stocker les produits récoltés est fonction d'un certain nombre de facteurs :

La nature du produit : durable ou périssable. Les céréales, produits durables s'ils ont été récoltés dans de bonnes conditions, paraissent particulièrement aptes au stockage. La variété récoltée est une variable essentielle.

La destination du produit : céréale pour l'alimentation (humaine ou animale), spéculation, semence.

La quantité récoltée : de ce facteur dépend la part autoconsommée et la part commercialisable.

Sa durée de conservation : qui dépend fortement des conditions de stockage. Quantité et durée permettent de déterminer la structure nécessaire.

La fonction des structures de stockage des céréales est donc multiple :

Préserver avec le maximum de sécurité contre les dégradations physiques, chimiques et biologiques.

Empêcher ou minimiser les attaques de l'insectofaune granivore.

Assurer la régularité de l'approvisionnement des familles ou des marchés jusqu'à la prochaine récolte.

Apporter une plus-value aux agriculteurs en période de forte demande.

Pourquoi devons-nous évaluer les pertes au cours du stockage ?

L'identification des pertes permet la reconnaissance du prédateur et de son écologie. Elle induit donc la mise en place d'une stratégie de lutte.

Le chiffrage des pertes permet également d'adapter les surfaces cultivées aux quantités réelles disponibles pour la consommation. Cet aspect est d'autant plus important lorsque l'agriculture passe d'une production de subsistance à une production de vente.

Les pertes pendant le stockage doivent donc être prises en compte dans les calculs économiques qui suivent une campagne. Elles peuvent s'exprimer en termes monétaires.

Une partie des céréales stockées étant réutilisée comme semences, la connaissance de la biologie des ravageurs permet d'en limiter la propagation lors des semis.

Évaluation des pertes

Les pertes peuvent être *directes* (dégradations physico-mécaniques lors de la récolte ou des transferts) ou *indirectes*, entraînant une baisse de qualité alimentaire du produit.

Méthodologie d'évaluation

Etant donné les quantités récoltées, une évaluation des pertes ne peut être réalisée que par un *échantillonnage*.

Pourquoi stocker ?

On admet généralement que dans une récolte inférieure à 100 sacs, il convient d'examiner 10 % du lot, soit 10 sacs. Si N est supérieur à 100 sacs, on examine $n = \sqrt{N}$ sacs.

Plusieurs méthodes d'investigation ont été décrites :

Méthode du volume standard poids

Elle repose sur la comparaison avant stockage et après un temps t de stockage du poids sec d'un volume standard de grains.

Cela suppose que les principales pertes pondérales se font sans déformation du grain. Il s'agit donc d'une méthode bien adaptée à la mesure des dégradations internes.

Afin d'éliminer l'influence du facteur humidité, il est recommandé de disposer d'une courbe de référence fonctionnelle : poids sec d'un volume de référence vs humidité pour chaque variété stockée.

Méthode de comptage et de pesée

Elle consiste à tirer un échantillon de 100 à 1000 grains endommagés, dont on compare le poids à celui qu'il aurait eu avec des grains sains.

$$\Delta m \% = \frac{[U_a \cdot N - (U + D)] \times 100}{U_a N}$$

$\Delta m \%$ = pourcentage de perte pondérale.

U_a = poids moyen d'un grain sain.

N = nombre de grains de l'échantillon.

U = poids de la fraction saine.

D = poids de la fraction dégradée.

La perte de poids peut également s'exprimer en fonction du nombre de grains sains (N_u) et de grains endommagés (N_d), ce qui évite d'utiliser le poids moyen d'un grain sain.

$$\Delta m \% = \frac{(U \cdot N_d - D \cdot N_u)}{U(N_d + N_u)} \times 100$$

La méthode suppose une certaine uniformité de l'attaque. Elle pose de nombreux problèmes dans le cas où le ravageur a une préférence marquée pour certains types de grains.

Par ailleurs, un grain en apparence sain peut avoir subi une infestation cachée. Les pertes sont alors sous-estimées.

Mode opératoire

L'opérateur réalise une «fiche de relevé d'échantillon» (Tableau I) permettant de faire apparaître sélectivement :

- les dommages causés par les insectes
- les dommages causés par les moisissures
- la teneur en eau (méthode de l'étuve sur grain moulu ou entier).

Tableau I. Fiche de relevé d'échantillon.

Identification de l'échantillon: date: opérateur:	
Teneur en eau: Poids: Insectes observés: Remarque:	
Nombre total de grains	$N =$
Nombre de grains endommagés par les insectes	$I =$
Nombre de grains endommagés par les moisissures	$M =$
Nombre de grains doublement endommagés	$N_d =$
Nombre total de grains endommagés	$b = I + M + N_d =$
Nombre total de grains sains	$N_u =$
Poids des grains attaqués par les insectes	$J =$
Poids des grains attaqués par les moisissures	$O =$
Poids des grains doublement attaqués	$K =$
Poids total de la fraction endommagée	$D = J + O + K =$
Poids total de la fraction saine	$U =$
Poids moyen d'un grain sain	$U_a =$
Dommmages causés:	
dommmages causés par les insectes (%)	$= \frac{100(I + N_d)}{N} =$
dommmages causés par les moisissures (%)	$= \frac{100(M + N_d)}{N} =$
Perte de poids:	
	$\Delta m \% = \frac{[U_a \cdot N - (U + D)] \times 100}{U_a N} =$
ou	$\Delta m \% = \frac{(UN_d - DN_u) \times 100}{U(N_d + N_u)} =$

Structures de stockage

Une structure de stockage est une enceinte appropriée dont la finalité est de *contenir* et *pré-server* les denrées pendant une durée donnée.

Dans le cas des céréales, que le stockage soit paysan ou commercial, quatre structures ont été identifiées :

- les greniers traditionnels (stockage domestique)
- les cribs améliorés (à la ferme ou communautaires)
- les silos (stockages centralisés)
- les magasins (stockage commercial, administratif ou privé).

Pourquoi stocker ?

Ces quatre types de structure répondent à des cahiers des charges adaptés en terme de coûts et d'échelle en particulier.

A l'intérieur de la structure, les céréales peuvent être conditionnées en sacs ou en vrac.

Stockage en sacs

La conservation est notablement améliorée si le sac en toile de jute est doublé intérieurement par un sac plastique. Les entrepôts doivent être exempts d'infestation et le produit doit être sec. Le tableau II donne les humidités recommandées pour diverses céréales.

Tableau II

Céréale	Stockage sur 1 an HR %	Stockage sur 5 ans HR %
Sorgho	13	10-11
Maïs	13	10-11
Riz	12-13	11-12

La capacité d'un entreposage en sac est donnée par :

$$C = S \cdot H \cdot D \cdot F$$

- où S est la surface utile (m^2)
H, la hauteur de la pile (m)
D, la masse volumique (kg/m^3)
F, le facteur d'utilisation (toujours < 1).

Stockage en vrac

Ce type de stockage exige des contraintes particulières de la structure :

- étanchéité
- élimination de la condensation
- contraintes de pression
- contrôle de l'atmosphère et de la température.

Quelques types originaux de structures de stockage

Types extrême-Nord (zone sahélienne)

Le grenier pour homme.

dalle en pisé, 3 compartiments

1 : sorgho

2 et 3 : autres céréales

Les greniers pour femme.

Types Beti-Bassa (zone tropicale humide)

Séchage sur treillis avec feu

Type Adanaoua (zone semi-aride)

Forte infestation, conservation de courte durée.

2

Rôle et importance d'une organisation de marché dans une politique de conservation et de transformation des céréales

P. CASAGRANDE, C. GUIBOURG

Office National Interprofessionnel des Céréales (ONIC), 21 avenue Bosquet, 75007 Paris, France

Résumé

L'objectif de la communication vise à rappeler le rôle et l'importance d'une organisation de marché et de son bon fonctionnement dans une politique visant à améliorer la conservation et la transformation des céréales.

En particulier, la régulation des marchés nécessite une maîtrise et un développement du stockage dont la fonction de base est de réguler l'offre dans le temps et dans l'espace, par rapport à une demande relativement constante.

Le passage d'une économie céréalière d'autosubsistance à une économie de plus en plus marchande, et le contexte de libéralisation des marchés céréaliers observé dans certains pays d'Afrique sont des conditions nouvelles à prendre en compte dans une politique de stockage.

Les instruments des politiques céréalières (prix garantis, intervention directe des offices dans la commercialisation) mis en place aux lendemains des indépendances ne répondent que partiellement aux besoins du marché.

La libéralisation souhaitée ou mise en œuvre dans certains pays d'Afrique s'inspire de ce constat. Elle devrait reposer globalement sur :

- une plus grande participation des groupements de producteurs et des commerçants dans le marché
- une redéfinition du rôle des offices céréaliers

A partir d'exemples empruntés à des situations parfois fort différentes (France, Etats-Unis, Mali, Burkina-Faso), la communication montre que dans une politique de libéralisation contrôlée et progressive, la régulation des marchés, corollaire indispensable à une politique de conservation et de transformation des céréales, nécessite :

1. Un développement du stockage du secteur non public (groupements de producteurs, commerçants)
2. La mise en place d'une gestion indirecte du marché par les Offices.

Introduction

L'objectif de la présente communication vise à rappeler l'importance et le rôle d'une organisation de marché et de son bon fonctionnement dans une politique de conservation et de transformation des céréales. Le stockage est un des maillons d'une (des) filière(s) céréalière(s) dont la fonction de base est la régulation de l'offre d'un produit, dans le temps et dans l'espace, par rapport à une demande relativement constante.

L'article s'appuie sur l'hypothèse que le relatif succès de la régulation des marchés céréaliers observée dans les pays du Nord (CEE, Etats-Unis...) par l'ajustement de l'offre à la demande n'a pas été le fruit d'un hasard mais la conjonction de plusieurs volontés et facteurs historiques, politiques et techniques.

L'article tente de rappeler et d'étudier ces facteurs et, à la lueur de cette analyse, suggère quelques points sur lesquels les Gouvernements africains et la Coopération Internationale devraient orienter ou renforcer leurs actions, pour parvenir à une plus grande régulation des marchés céréaliers et à la maîtrise du stockage, en particulier à travers :

- le développement du stockage du secteur non public,
- la redéfinition du rôle des Offices céréaliers par une gestion indirecte du marché.

Développement du stockage et libéralisation du marché

Rappel des caractéristiques du stockage céréaliier en régions chaudes et de ses évolutions récentes

Il convient en premier lieu de rappeler brièvement les principales caractéristiques du stockage céréaliier et de ses évolutions récentes. Celles-ci dépendent, bien évidemment, étroitement de la place qu'occupent les céréales dans la production alimentaire des Etats. La plupart des exemples cités dans cette communication concernant les régions chaudes sont empruntés aux Etats sahéliens (Burkina-Faso ou Mali) où les céréales constituent la production vivrière de base, largement dominante.

Une présentation des caractéristiques du stockage et de ses évolutions aux différents niveaux de la filière est faite à partir de l'exemple du Burkina-Faso.

Importance du stockage paysan

Bien que peu de travaux existent sur l'évaluation des stocks paysans individuels, les quelques estimations faites à ce sujet montrent l'importance de ce stockage.

Tableau I

Niveau de la filière Capacités de stockage en T				Production (mil, sorgho, maïs)
Paysans (greniers)	Banques de céréales	Commerçants	OFNACER	1985/86 : 1,4 Mt
500 000 à 1 000 000	31 000(*)	30 000(**)	108 800(***)	1986/87 : 1,9 Mt

(*) Evaluation des banques de céréales au Burkina-Faso. Ledoux, Guibourg, Fao, 1986.
 (**) Réforme de la politique céréalière: le Burkina-Faso. Club du Sahel, 1986.
 (***) Evaluation qualitative et quantitative des stocks au Burkina-Faso et au Mali. Guibourg, Hochet, ONIC/
 Ministère de la Coopération, août 1987.

Les quantités stockées varient selon les zones de production (excédentaires, déficitaires...) et selon les années. Il est admis que les années de sécheresse 1983 et 1984 ont probablement entraîné une réduction importante des quantités stockées. La méconnaissance actuelle d'une évaluation quantitative des stocks paysans, ainsi que du comportement du producteur par rapport au stockage dans son système de production nuisent à la compréhension du fonctionnement du marché céréalier dans son ensemble.

Augmentation des échanges de céréales entre régions déficitaires et excédentaires
 (suite en particulier aux mauvaises récoltes 1983 et 1984)

Le besoin d'approvisionnement des zones déficitaires a été assuré par des achats de céréales locales des zones excédentaires ou des pays voisins (notamment du maïs du Ghana et de la Côte d'Ivoire) ou par l'aide alimentaire. Ces achats peuvent représenter 50 % de la consommation des régions déficitaires les mauvaises années [2]. Ces besoins d'approvisionnement se sont traduits en particulier par la nécessité pour les paysans d'organiser leurs achats (qui pouvaient avoir lieu à 200 ou 300 km de l'exploitation).

Les Banques de Céréales, organisations villageoises de stockage et de commercialisation des céréales, ont vu ainsi leur nombre augmenter de façon importante. Le Burkina-Faso comptait une soixantaine de banques de céréales en 1978 [1], plus de 600 en 1983 [3], et plus de 1100 en 1985 [4]. Un village sur 5 en est doté. La Banque de Céréales est constituée par un magasin d'une capacité de stockage moyenne de 25-30 T.

Cette nouvelle forme de stockage collectif offrait une capacité de stockage totale de 30 000 T environ en 1986, soit le tiers des capacités de l'OFNACER la même année. Ce développement d'une nouvelle organisation de stockage nous semble poser des conditions nouvelles à prendre en compte en terme d'organisation de marchés et de politique de stockage.

Importance du rôle exercé par les commerçants dans la commercialisation

Bien que peu de données quantitatives existent concernant le marché libre, et bien que ce marché libre, en expansion, reste faible en volume relativement à la production, les quelques indications existant à ce sujet montrent une relative importance en volume du marché libre comparée au marché régulé par l'Office. Ainsi au Burkina-Faso les commerçants estimaient à 100 000 T les quantités ayant transité sur le marché libre en 1986/1987. Le maximum de collecte enregistré par l'OFNACER au prix officiel d'achat auprès des groupements, commerçants et agents de l'OFNACER, était de 39 000 T en 1985/1986 [5].

De même au Mali, le marché libre était estimé à 250/300 000 T en 1986/1987, chiffre très supérieur à celui du marché contrôlé par l'OPAM (60 000 T de collecte en 1986/1987.) [5]

Une plus grande sécurité alimentaire au Sahel par le développement des échanges et du stockage ne peut ignorer ce poids des commerçants dans le fonctionnement des marchés.

En conclusion, le contexte céréalier sahélien observé ces dernières années montre que de nouveaux facteurs, et en particulier le développement des échanges, entraînent des évolutions en terme de fonctionnement de marché qu'il convient de prendre en compte dans une politique de stockage.

Enfin, les politiques de libéralisation des marchés céréaliers souhaitées ou mises en œuvre dans certains pays d'Afrique, dans le cadre ou non du Plan d'Ajustement Structurel (PAS)(*), posent de nouvelles conditions en terme d'organisation de marché et de stockage.

Structure de stockage et circuit de commercialisation

Les relations entre la structure du stockage et le circuit de commercialisation (répartition des capacités entre les différents opérateurs, utilisation de ces capacités, flux commerciaux) sont présentées à propos de l'exemple français qui fournit un exemple intéressant dans la mesure où il s'agit d'un système libéral (toutes les transactions sont libres) mais suffisamment encadré pour assurer la maîtrise de la régulation des marchés.

L'histoire et le fonctionnement actuel de ce système peuvent dans ces conditions alimenter notre réflexion dans un contexte plus large.

Développement d'un stockage «de collecte» en France

On distingue actuellement en France quatre niveaux de stockage correspondant à différents niveaux de la filière céréalière. Il s'agit :

— *du stockage chez les producteurs* des céréales destinées à l'autoconsommation mais aussi des quantités qui ne seront commercialisées qu'en cours de campagne (19 millions de tonnes environ).

— *du stockage «de collecte»* ou primaire, détenu pour 75 % par des coopératives et pour 25 % par des négociants en grains. Il s'agit là d'un réseau très dense, très proche de la production (plus de 7 000 centres) assurant une première mise en marché. Les capacités correspondantes s'élèvent à environ 30 millions de tonnes.

— *du stockage secondaire* destiné à assurer le regroupement et le transit en vue de mouvements interrégionaux et internationaux (stockage portuaire notamment) ou du stockage de longue durée. Ces capacités, de l'ordre de 7 millions de tonnes, sont détenues par différents opérateurs (coopératives, négociants, SICA) et sont souvent utilisées en prestation de service.

— *du stockage des transformateurs* : 2,5 millions de tonnes essentiellement destinées au stock-outil des transformateurs.

Le trait original de cette répartition des capacités de stockage réside dans l'importance du stockage de collecte. Cette importance est directement liée à l'organisation de marché et aux mesures d'accompagnement instituées en 1936.

Seuls les «organismes stockeurs» (coopératives ou négociants) sont habilités à procéder à des achats en culture, à l'exclusion des transformateurs. Ces organismes stockeurs sont habi-

(*) Par exemple, Politique de Restructuration des Marchés Céréalières (PRMC) au Mali et Nouvelle Politique Agricole (NPA) au Sénégal.

lités («agréés») seulement dans la mesure où ils possèdent des capacités de stockage minimales. Ils bénéficient de crédits de campagne pour l'achat des céréales aux producteurs. En contrepartie ils sont tenus d'assurer le paiement comptant des producteurs à la livraison ainsi que de fournir toute information sur les entrées et sorties de leurs magasins.

Parallèlement des subventions de crédit ont permis un développement rapide des capacités de stockage de ces organismes. Ainsi le stockage coopératif est passé de 7 000 tonnes en 1930 à 200 000 tonnes en 1936 et 2 millions de tonnes en 1939.

Enfin les prix fixés tiennent compte du coût du stockage par le biais de majorations mensuelles correspondant à ce coût.

Ce système s'est maintenu jusqu'à nos jours en s'intégrant à l'organisation de marché de la CEE dans laquelle se sont substitués aux prix fixés des prix d'encadrement (prix plancher ou prix «d'intervention» auquel les organismes d'intervention des Etats Membres sont tenus de retirer les céréales du marché en cas de baisse des cours et prix plafond ou prix «de seuil» auquel arrivent sur le marché, après prélèvement, les céréales importées de pays tiers, voir page 15).

Le système a été institué en 1936 pour répondre à la crise du marché sous l'action conjuguée d'excédents de production et d'une faible protection douanière. Il a pu également répondre à des contextes déficitaires durant la guerre de 1939-1945 et l'immédiat après-guerre.

En conclusion deux points méritent d'être soulignés :

- La régulation de l'offre sur le marché implique la possibilité de stocker les céréales entre la récolte (en général ponctuelle, une fois par an) et une consommation étalée sur l'ensemble de l'année.

- Cette possibilité implique des moyens techniques adaptés aux contraintes physiques (humidité des grains, climat, modes de transport...) mais aussi les moyens financiers nécessaires au financement des stocks et à la rémunération de l'activité stockage.

Conclusions et suggestion pour le contexte africain

En vue de parvenir à une plus grande sécurité alimentaire dans les pays africains, en particulier par un développement des échanges de céréales locales entre régions excédentaires et déficitaires, et à la lueur des expériences décrites au chapitre précédent, les suggestions suivantes sont portées à l'attention des représentants des Gouvernements africains et de la Coopération Internationale.

1. Contribuer au développement de capacités de stockage du secteur non public (Groupements de producteurs, commerçants).

L'augmentation des capacités de stockage simples et adaptées aux besoins est nécessaire en particulier à deux niveaux de l'organisation (Groupements de producteurs et commerçants).

Sans rentrer dans le détail, et sans en faire l'objet du débat, il nous semble toutefois qu'un des aspects essentiels de ces techniques doit être leur facilité d'emploi, leur faible coût, et le fait qu'elles ne doivent pas nécessiter trop d'importations.

En ce qui concerne les pays sahéliens dans la mesure où les céréales commercialisées sont généralement transportées par sacs, les techniques de stockage en sacs sur palette dans des magasins bien entretenus nous semblent les plus appropriées.

La formation des hommes en matière d'organisation de marché et de technique de stockage nous semble un élément essentiel d'une politique de stockage qui ne doit pas être négligé au profit des techniques.

2. Mise à disposition auprès du secteur non public de moyens de financement des stocks adéquats.

Le manque de trésorerie des producteurs et des commerçants est un obstacle majeur à l'étalement de l'offre dans le temps. Ce fait mérite d'être rappelé tant il importe dans une politique de régulation de l'offre de contribuer au financement des stocks au moins autant que de pourvoir aux besoins en capacités de stockage.

Nous citons ci-dessous deux expériences, de nature différente, qui nous semblent intéressantes en matière d'assistance technique dans ce domaine.

1. Au Mali [6], dans le cadre du PRMC les donateurs ont financé à travers la BNCA – Banque Nationale de Crédit Agricole – un programme de crédit de stockage villageois de 500 millions de F CFA destiné aux Associations Villageoises de la zone Sud du Mali, région où la production céréalière est généralement importante.

2. Au Burkina-Faso [4], le développement des banques de céréales résulte notamment de l'assistance technique apportée soit par les ONG, soit par les bailleurs de fonds. L'originalité des organismes financeurs à la base de microprojets répartis, bien qu'inégalement, sur tout le territoire. Il en résulte une relative diversité des modes de financement et des types de construction des banques de céréales.

Une évaluation faite en 1986 [4] indique par banque de céréales un coût moyen de construction de 900 000 F CFA généralement pris en charge par les pays donateurs, et un coût moyen de financement du fonds de roulement de 750 000 F CFA octroyé aux Associations villageoises le plus souvent sous forme de prêt.

Rôle des Offices dans une gestion indirecte des marchés

Sécurité de l'approvisionnement

La sécurité de l'approvisionnement relève de différents facteurs du marché : localisation des déficits dans le temps et l'espace, délais d'acheminement des importations, des aides alimentaires, fonctionnement du marché.

En fonction de ces différents éléments, les Offices peuvent, simultanément ou non, utiliser des moyens diversifiés :

Stock de sécurité

Sans doute le plus employé à ce jour dans le Sahel. Il s'agit de stocks de grains détenus par les Etats à travers les Offices Céréalières. Ces stocks, renouvelés par rotation sont conservés dans des zones stratégiques pour une utilisation de dernier recours en cas de pénurie et de difficultés d'approvisionnement exceptionnelles. Leur niveau, équivalent à quelques mois de consommation, vise à répondre aux besoins immédiats des populations dans l'attente d'aides ou d'importations.

Ce système présente l'avantage évident de minimiser les aléas : gestion planifiée, contrôle aisé sur des stocks physiques, mise en œuvre possible dans un contexte du marché peu développé. En contrepartie sa gestion peut s'avérer lourde économiquement : accroissement des risques de pertes liées à la durée du stockage des mêmes lots, immobilisation d'un réseau de stockage...

A côté de ce système et complémentairement peut être envisagée la mise en œuvre d'autres moyens de contribuer à la sécurité d'approvisionnement, plus intégrés au marché.

Gestion du marché et sécurité d'approvisionnement

La connaissance du bilan céréalier constitue un préalable essentiel dans ce domaine et notamment au niveau des postes de ressources (production et stock de report des producteurs). Cette connaissance doit permettre une meilleure gestion d'éventuelles importations ou aides dont les délais d'exécution doivent par ailleurs pouvoir être réduits. Ceci peut contribuer à réduire les volumes des stocks de sécurité nécessaires.

Le développement du marché et des capacités de stockage des opérateurs peut également contribuer à l'amélioration de la sécurité d'approvisionnement dans le cadre de mesures appropriées d'organisation de marché :

— En stimulant le stockage de report auprès des différents agents de la filière par un encadrement des prix favorisant la rémunération du stockage (majorations mensuelles) mais aussi assurant une compensation sur les stocks de l'ancienne campagne commercialisés sur la nouvelle campagne (indemnités de fin de campagne) (voir ci-dessous).

La gestion des stocks d'intervention, (marchandises retirées du marché par les Offices) peut également entrer dans ce cadre.

— L'encouragement au développement du stock-outil des opérateurs peut également concourir à la sécurité de l'approvisionnement; le principe est le suivant : l'Office verse une subvention équivalente au coût de stockage d'une certaine quantité de céréales. En contrepartie l'opérateur s'engage à posséder un stock minimal toujours supérieur ou égal à cette quantité. Il s'agit d'une céréale banalisée pouvant être renouvelée au rythme des rotations de l'opérateur.

Encadrement du marché

Il nous est apparu utile de présenter les mécanismes utilisés dans la CEE et leurs modalités d'applications.

Les mécanismes essentiels de régulation de marché reposent sur le système de prix de gros suivant :

— prix de base de campagne: pour chaque campagne deux prix sont fixés : un prix de seuil (ou prix plafond) et un prix d'intervention (ou prix plancher). Les prix réels sur le marché, librement établis entre les opérateurs, s'établiront entre ces deux prix grâce aux mécanismes d'intervention sur le marché intérieur et de prélèvements sur les importations.

En effet lorsque les prix de marché deviennent inférieurs au prix d'intervention les Offices rachètent à ce prix les céréales, réduisant ainsi l'offre et stabilisant les prix.

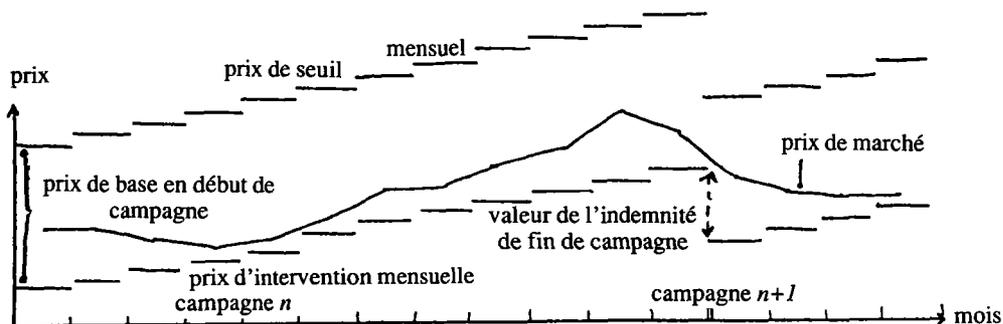
Lorsque les prix deviennent plus élevés que le prix de seuil les importations sont automatiquement déclenchées. Elles sont en effet libres mais font l'objet d'un prélèvement (égal à la différence entre les cours mondiaux plus frêt et le prix de seuil), ce qui ne les rend compétitives qu'au niveau du prix de seuil.

La mise en œuvre de l'intervention peut prendre différentes formes : l'Office peut acheter et stocker chez les opérateurs offrants ou chez des prestataires de service. La remise en marché peut emprunter la voie d'un appel d'offres spécifique (exportation, secteur d'utilisation ou secteurs géographiques déterminés).

Enfin l'intervention peut être mise en œuvre par simple gel sans achat préalable par l'Office : lorsqu'un opérateur devrait vendre à un autre opérateur en dessous du prix de marché il réalise la vente et l'Office lui verse la différence entre le prix de marché et le prix d'intervention. La céréale est «gelée» chez le second opérateur qui voit sa prestation de stockage rémunérée par l'Office, la marchandise lui appartenant.

— Ces prix de bases sont complétés par des majorations mensuelles de l'ordre du coût de stockage (financement des stocks compris). Elles s'appliquent à la fois aux prix d'intervention et de seuil.

Nous avons donc les systèmes de prix suivants dans le temps :



Avec ce système les cours de début de campagne $n + 1$ peuvent être inférieurs à ceux de la campagne n . Pour permettre l'existence de stocks en fin de campagne les céréales stockées à cette date font l'objet du paiement par l'Office d'une «indemnité de fin de campagne».

Maitrise du bilan céréalier

En France, la connaissance des postes du bilan céréalier a été un des instruments de régulation indirecte du marché par l'ONIC. Deux types de bilans sont établis par l'ONIC :

Bilan des réalisations

Il est établi mensuellement, sur la base des informations fournies par les professionnels céréaliers concernant l'état des stocks et des mises en œuvre.

Bilan prévisionnel

Il est établi mensuellement à partir des estimations de collecte, et réajusté chaque mois en fonction des réalisations.

La constitution des bilans céréaliers a été possible en France, où 85 % en moyenne de la production céréalière est commercialisée, pour deux raisons :

1. Pour certains professionnels (collecteurs agréés, meuniers, et certains utilisateurs tels que les amidonneries de maïs ou les semouleries), la délivrance de ces informations à l'ONIC a été rendue obligatoire par décret.

2. Les autres catégories professionnelles (fabricants d'aliments du bétail, exportateurs...) fournissent ces informations librement, du fait des relations étroites qu'ils entretiennent avec l'ONIC.

Il faut noter que dans les deux cas existe un intérêt mutuel de l'ONIC et des organisations professionnelles à la connaissance du marché céréalier et à la transparence qui en résulte.

Il nous semble qu'une des missions des Offices africains pourrait être l'amélioration de la connaissance des postes du bilan céréalier.

Conclusion

Il ressort de la présente communication deux constatations importantes :

1. Les mécanismes du stockage résultent de l'adaptation aux différentes situations du marché céréalier dans le temps et dans l'espace. Les exemples cités relatifs à l'Europe ou aux Etats Unis montrent que l'organisation du stockage a été rendue possible par la prise de mesures volontaires adaptées aux conditions du marché, et leur mise en œuvre par les Pouvoirs Publics et les organismes socio-professionnels.

2. La mise en œuvre d'une politique de stockage doit prendre en compte l'ensemble des données : état du marché, participation des acteurs à ce marché, contraintes techniques et moyens financiers... Une politique de stockage repose en effet étroitement sur la mise en œuvre d'une organisation de marché.

Références

1. Lecaillon, Morisson. (1987). Politiques macroéconomiques et performances agricoles, le cas de la Haute-Volta. Paris, OCDE 1984. In : Ledoux, éd. *Propositions d'un système d'évaluation quantitative des stocks paysans et villageois au Sahel*. Club du Sahel, septembre 1987.
2. Reardon Th, Delgado Ch. (IFPRI), Matlon P. (ICRISAT). (1987). Farmer marketing behavior and the composition of cereals consumption in Burkina-Faso. In : Colloque IFPRI-ISRA, juillet 1987.
3. (1983). Cereal banks in upper Volta : Review of performance and concepts. J. Kat FAO.
4. Ledoux G, Guibourg C. (1986). Evaluation des banques de céréales au Burkina-Faso. FAO, 1986.
5. Guibourg, Hochet. (1987). Evaluation des stocks au Burkina-Faso et au Mali. Ministère de la Coopération, ONIC.
6. Gagnon (ACDI). (1987). La fin d'une utopie : pour un système réaliste de stabilisation des revenus des producteurs céréaliers au Sahel et de sécurité alimentaire croissante. Club du Sahel, octobre 1987.

3

Structures paysannes de stockage

O. KODIO

Recherche Agronomique, IER, DRA, SRCVO, BP 438, Bamako, Mali

Résumé

Les céréales des régions chaudes, en particulier les mils, maïs, sorgho, riz, constituent les aliments de base des populations en zone sahélienne surtout en Afrique de l'Ouest.

Pendant, d'importants problèmes se posent quant à la conservation de ces produits, leur préservation contre certains insectes ravageurs tels que les charançons, les alucites et certains foreurs. Les techniques dites modernes (améliorées) de stockage sont assez onéreuses et ne sont pas toujours à la portée des paysans vu le faible pouvoir d'achat de ceux-ci.

En milieu paysan, on rencontre des méthodes traditionnelles de conservation assez simples, offrant parfois des résultats fort avantageux. Les structures traditionnelles, une fois améliorées, pourraient jouer un rôle important qui réduirait de beaucoup les pertes dues au mauvais stockage et constitueraient une solution alternative pour les petits producteurs. C'est ainsi que des travaux de recensement des technologies traditionnelles de stockage ont été effectués au Mali afin d'identifier les plus intéressantes en vue d'apporter les améliorations nécessaires à ces systèmes.

La présente communication souligne l'intérêt et l'espoir que suscite l'utilisation de ces structures traditionnelles de stockage pour les paysans.

Introduction

Depuis longtemps, l'homme sait que les céréales peuvent être stockées durant une longue période, à condition qu'elles soient à l'abri des ravageurs.

Des études ont montré que les pertes en cours de stockage dues aux organismes nuisibles, variaient entre 1 et 50 % de la production.

Ces estimations fluctuent fortement en fonction des denrées, du milieu et des techniques de stockage. L'efficacité de celles-ci varie suivant le lieu et les modalités de leur application.

Au Mali, on rencontre plusieurs techniques traditionnelles de stockage villageois. Elles jouent un rôle très important dans la conservation des céréales.

Il existe plusieurs types de structures paysannes de stockage suivant les différentes régions économiques du pays : ce sont des greniers qui sont soit en banco (mottes, briques, jarres), soit en bambou ou encore en paille.

Grenier à base de terre

Greniers en mottes de terre

Les greniers en mottes de terre sont les plus répandus et on les rencontre partout dans le pays. Ils sont bâtis de la façon suivante.

Plate-forme (base du grenier)

Les greniers quelle que soit leur nature se construisent sur des plates-formes surélevées, destinées à empêcher les remontées d'humidité néfastes pour le grain stocké. De grosses pierres ou de grosses fourches de bois très dur constituent les isolants supportant la plate-forme.

Cette plate-forme est ensuite recouverte par des tiges de mil ou de sorgho, par des seccos ou des nattes confectionnées avec des herbes. Ces plates-formes se présentent sous forme circulaire ou rectangulaire, suivant le type de grenier. Dans certaines zones, on rencontre des plates-formes suffisamment surélevées pour laisser le passage des poules et leur permettre de picorer les termites (fig. 1).

Diverses plantes s'utilisent également lors de la confection de la plate-forme, afin d'empêcher le passage des prédateurs. Elles sont ensuite recouvertes de banco. Le bénéfîn (*Hyp-tis specigeror*) s'emploie le plus souvent.

Corps du grenier

On accorde beaucoup de temps et de soins à la confection du grenier en motte de terre. Un bon mélange d'argile et de paille (de préférence la paille de fonio) est utilisé. Les parois s'élèvent progressivement en empilant les mottes de banco, après séchage de la couche précédente, ce qui permet d'éviter une fissuration. L'épaisseur de la paroi varie (environ 5 à 10 mm) (fig. 2).

Lors de la confection des parois, on insère des plantes dans celles-ci, afin de constituer un escalier d'accès à la partie supérieure du grenier. Une fenêtre, de dimension 0,5 × 1 m, est placée dans la paroi opposée à celle qui est exposée aux pluies.

Dans plusieurs cas, suivant les régions, ces greniers sont compartimentés afin de conserver plusieurs produits en même temps. La construction de ce type de grenier peut prendre jusqu'à 2 ou 3 semaines.

Toiture

Les greniers en banco sont le plus souvent recouverts d'un toit en paille tressée. En pays dogon, ils ont des toits en terrasse, en bois dur recouvert de banco (fig. 3).

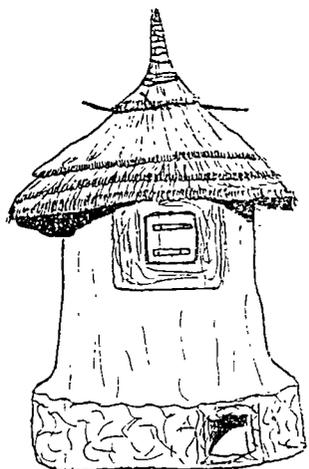


Figure 1. Grenier en mottes de banco avec poulailler (wangaba)

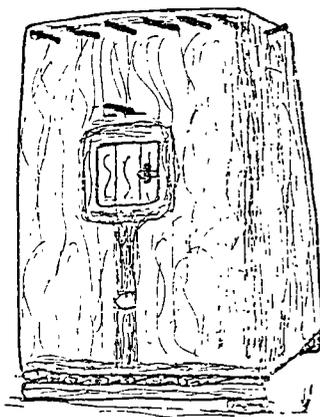


Figure 2. Greniers bobo en mottes de banco (h=2,5m)



bandiaga

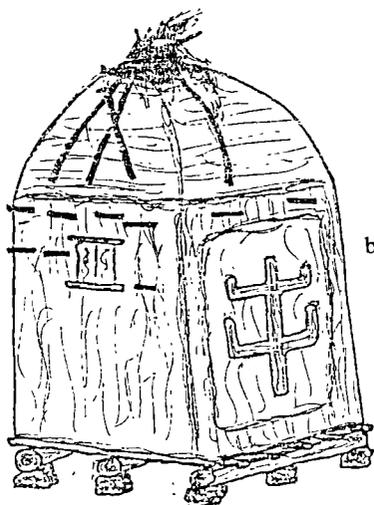
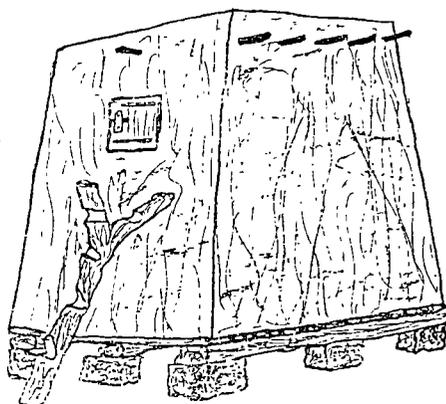


Figure 3. Greniers dogons en mottes de banco (h=2,5m)

bankass



Dans certains cas, ces toits en terrasse sont aussi recouverts d'un toit en paille pour limiter l'échauffement du grenier et les dégâts causés par les eaux de pluies.

On rencontre également, dans la région nord du pays (Gao), des greniers dont l'ouverture circulaire du sommet se ferme grâce à un plateau de banco ou une pierre plate (fig. 4).

Greniers en briques de terre

Les briques sont confectionnées et séchées au préalable tout comme dans la construction d'une maison. La plate-forme, le corps du grenier et la toiture ressemblent aux greniers en mottes de terre.

Ce type de construction est assez facile. On peut le réaliser en deux jours. C'est une technique qui oblige à un crépissage interne et externe des parois, car les fissures dans les briques peuvent constituer des passages et des refuges pour les ravageurs.

Ces greniers donnent l'impression d'être moins résistants, car les parois se fissurent très facilement ce qui demande un entretien régulier (crépissage annuel de la partie externe du grenier). Leur durée de vie peut aller jusqu'à 10 ans.

Greniers jarres

Cette structure de stockage est surtout répandue dans le nord du pays. Ces jarres sont construites en motte de terre, tout comme le grenier, mais sans plate-forme et de dimension moindre. Elles sont en général isolées du sol et protégées par un toit en paille. Elles permettent de conserver efficacement, et assez longtemps, de petites quantités de produit. De forme sphérique ou ovale, elles reposent sur quatre pierres pour éviter l'humidité du sol (fig. 5).

Avantages des greniers en banco

Les greniers en banco possèdent de grands avantages, comparativement aux autres moyens de stockage paysans. Ils se prêtent aux longues conservations et sont assez résistants (durée de vie entre 10 et 20 ans) surtout dans le cas des greniers en mottes de terre. Leur capacité de stockage peut atteindre 3 à 7 tonnes. Ces greniers sont relativement peu sensibles aux dégâts des animaux surtout quand un toit terrasse les recouvre, et ils permettent des traitements insecticides modernes, en particulier des fumigations. Ils conviennent aussi bien à la conservation en grains qu'en épis et assurent une meilleure protection contre les incendies éventuels, les vols, les pluies, etc.

Greniers à armature de bambou

De forme généralement circulaire, ils renferment une armature en bambou, recouverte intérieurement d'une couche de banco. Les bambous frais sont fendus et entrecroisés ou tissés pour former un cylindre correspondant à la dimension qu'on désire donner au grenier. Une ouverture, qui sera recouverte d'un toit en paille, est aménagée à la partie supérieure. Une fenêtre percée permettra l'accès à l'intérieur du grenier. Quant à la plate-forme, elle est construite comme dans les greniers en banco (fig. 6).

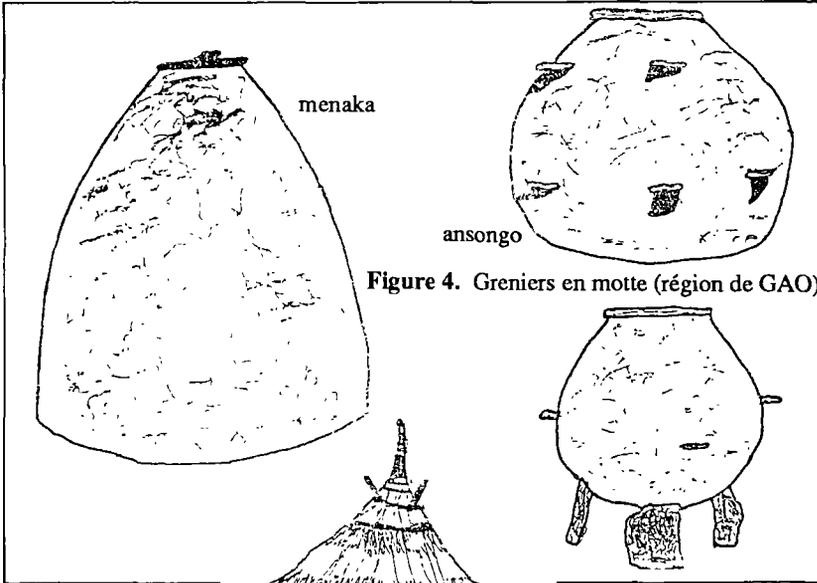


Figure 4. Greniers en motte (région de GAO)

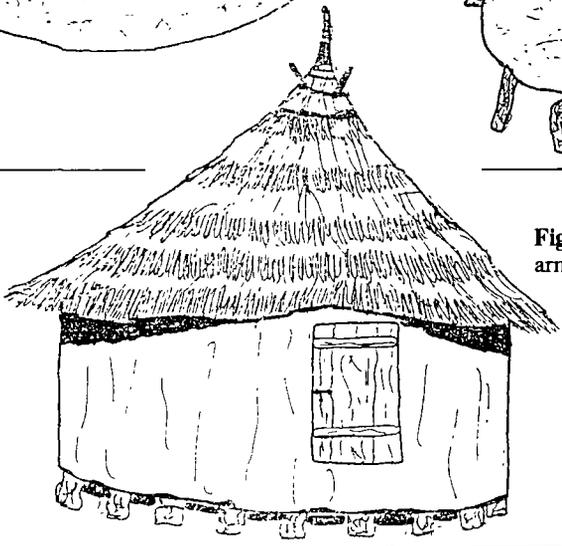


Figure 6. Grand grenier à armature de bambous tressés

tindiba

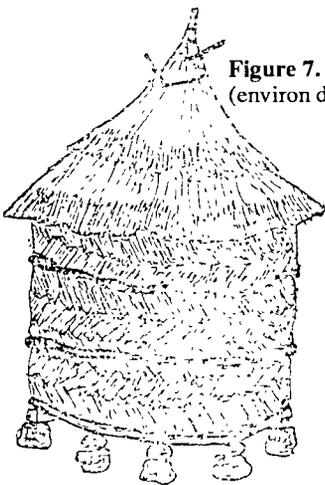


Figure 7. Grenier en secco (environ de Bamako)



Figure 5. Grenier de femmes 3 jarres en poterie (environ de Bamako)

Greniers en paille

Ce sont des greniers de forme cylindrique, de petite taille, dont le corps est constitué d'un ou de plusieurs seccos enroulés (fig. 7).

Les végétaux utilisés pour la confection de ce genre de greniers sont : le *Cekela* (*Cymbopogon Gigantus*) où, à défaut, le *Waga* (*Antropogon Giganteus*).

Le *Cekela* est une graminée andropogonée particulièrement intéressante pour la construction des seccos et des toitures. Il renferme des essences qui ont la propriété d'éloigner les insectes ravageurs. Les seccos en cylindre seront entourés de fibres de Dah, de bambou ou de lianes de Zaban.

Dans certains cas, on utilise un second secco entourant le premier, afin de renforcer la résistance du grenier. Surtout lorsque celui-ci représente la seule structure de stockage du milieu. Le corps du grenier se fixe ensuite sur la plate-forme. Ces genres de greniers sont crépis uniquement à l'intérieur. Le banco est mélangé à de la bouse de vache et à certains enduits, auxquels sont incorporées des plantes possédant des vertus insecticides ou insectifuges.

Avantages des greniers en végétaux

Les greniers en végétaux possèdent quelques propriétés intéressantes, comme leur rapidité de confection, et ne requièrent pas le concours d'un spécialiste. Ces genres de greniers sont très pratiques et bien adaptés au stockage en champs.

Les parois en seccos, lorsqu'elles ne sont pas enduites, assurent une bonne ventilation du produit stocké et une protection contre les dégâts d'animaux.

Modes de stockage

Les deux pratiques de stockage, en épis ou en grains, se rencontrent sur presque tout le territoire du Mali. Le stockage en grains est une pratique relativement récente. Dans ce cas, la commercialisation des récoltes se trouve facilitée, de même que le travail des femmes. Dans le cas de la conservation en épis, le battage quotidien des céréales leur est dévolu. Par contre, le battage de la récolte avant stockage est effectué collectivement par les hommes ou mécaniquement, les femmes se chargeant du vannage.

Le stockage en grains occupe moins de place que celui en épis. Le stockage en grains se prête mieux à l'utilisation de produits insecticides traditionnels (cendres, plantes).

La conservation en épis, par contre, est bien connue et il semble que la protection contre les attaques d'insectes se montre plus efficace. De même, les échanges thermiques sont facilités, limitant ainsi les risques d'échauffement et de moisissures.

Conclusion

De tous les greniers exposés, un type semble tout particulièrement adapté au stockage villa-geois. Il s'agit du grenier en mottes de terre, pétries avec de la paille de fonio, fermé à sa par-

tie supérieure par une terrasse et protégé par un toit en paille. Son coût et sa technologie de construction sont tout à fait à la portée de la majorité des paysans (40 000 F CFA). La capacité de stockage atteint 8 à 15 tonnes, et la durée de vie 10 à 20 ans. C'est un grenier qui offre une protection raisonnable contre les attaques de toutes natures.

De l'avis de nombreux spécialistes, la protection contre les insectes pourra aussi bien être assurée dans un grenier en banco bien crépi et clos que dans un magasin en béton ou métallique.

Les structures améliorées de stockage s'avèrent assez coûteuses et leur adoption lente par les paysans font que, jusqu'ici, les pratiques traditionnelles sont largement utilisées en milieu rural. A condition de prendre un certain nombre de précautions, en y associant, dans certains cas, des technologies modernes, ces pratiques permettent d'assurer une protection satisfaisante des stocks, à un coût modéré.

Lors de la confection des greniers, il conviendrait de souligner tout particulièrement l'importance de la construction de la plate-forme : il faut éviter les endroits où les eaux de ruissellement se concentrent, choisir les supports les plus stables et les plus élevés possible, et utiliser des bois résistants.

Les traverses de bois dur seront enduites d'huile de vidange pour limiter les dégâts des termites et ainsi prolonger leur durée de vie.

Les tiges de bénéfin, les fleurs de Samakara ou les feuilles de ngaro sont bien connues et utilisées dans l'ensemble du Mali pour lutter contre les termites. Leur utilisation est à encourager.

Le grenier en mottes de terre est le plus résistant, il offre la meilleure protection contre les attaques des vers ravageurs et permet, en cas d'infestation déclarée, de procéder à des traitements par fumigation à l'aide d'insecticides modernes.

Références

- Prévention des pertes de produits alimentaires après la récolte. Manuel de formation FAO. Rapport Guggenheim. (janvier 1977). Diallo sur le stockage en milieu dogon.
Amélioration des systèmes post-récolte en Afrique de l'Ouest. Séminaire Bamako, avril 1979.
Technologie et pertes au niveau des greniers familiaux et villageois au Mali-Gilman.
Rapport Projet FAO. Réduction des pertes alimentaires. RAO-045-et Projet Mali/83-003.
Projet de recensement des technologies traditionnelles au Mali.

4

Stockage des céréales dans des entrepôts souterrains

E.H. BARTALI*, S. AFIE*, E. PERSOONS**

* *Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc*

** *Département de Génie Rural, Université de Louvain la Neuve, Belgique*

Résumé

La technique de stockage des céréales dans les entrepôts souterrains appelés *Matmora* est encore bien connue au Maroc. Elle consiste à enfouir le produit dans le sol dans une cavité d'une capacité moyenne de 5 tonnes environ.

La cavité présente une forme cylindrico-conique ayant un goulot de 0,60 m de diamètre et de 0,80 m de hauteur à sa partie supérieure. Le diamètre de la cavité peut atteindre 2,50 m à proximité du fond. Ce dernier se trouve à 3 m par rapport à la surface du sol.

Cette technique de stockage a plusieurs avantages :

- le produit s'y trouve à une température constante voisine de 20°C, contre 30°C à l'extérieur.
- le produit est placé dans une atmosphère désoxygénée, d'où plus d'activité biologique.
- c'est une technique de stockage relativement peu coûteuse.

Le Maroc ne disposant pas actuellement suffisamment d'infrastructures de stockage centralisées, un effort de recherche est entrepris pour identifier les moyens judicieux d'améliorer les conditions de stockage des denrées dans le pays et par suite réduire les pertes. A cet effet, une approche scientifique du stockage souterrain a été élaborée. Trois matmoras ont été creusées dans l'enceinte de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II à Rabat. Des essais ont été conduits sur le stockage de l'orge avec des méthodes différentes de revêtement interne des entrepôts. Dans chaque matmora, 14 capteurs de température ont permis de suivre l'évolution de la température. Au remplissage et à la vidange, différentes mesures ont permis de suivre l'état de la céréale.

Cette étude a permis de dégager quelques consignes précises pour les agriculteurs concernant ce mode de stockage, susceptible d'aider à la conservation optimale des céréales à des coûts se limitant à la main d'œuvre de construction.

Introduction

L'utilisation des entrepôts souterrains pour le stockage des grains est une pratique traditionnelle, très ancienne et largement utilisée dans certaines régions du Maroc sous le nom vernaculaire de «*matmora*». Ce mode de stockage est aussi utilisé dans plusieurs pays de l'Afrique, au Proche Orient et en Asie. Cette technique de stockage nécessite des matériaux peu coûteux pour la construction et protège le grain stocké contre les fluctuations de la température extérieure. Le stockage souterrain est particulièrement utilisé pour son herméticité, qui permet, dans certaines mesures, le contrôle des insectes grâce à la réduction du niveau d'oxygène dans l'entrepôt. Cependant ce type de stockage est parfois compromis par les pertes importantes qu'il peut occasionner.

Plusieurs facteurs entrent en interaction pour déterminer l'état de conservation des grains stockés. Les principaux facteurs sont l'humidité du grain, sa température et la composition des gaz dans l'entrepôt. Un bon entreposage consistera donc à maintenir un ou plusieurs de ces facteurs à un niveau qui empêche ou tout au moins ralentit le processus de détérioration de la matière stockée.

L'humidité constitue un facteur que les agriculteurs classent au premier rang en tant que facteur de dégâts. Cette humidité peut avoir plusieurs origines dont la plus importante est l'infiltration de l'eau du sol à l'intérieur des matmoras. Plusieurs études scientifiques sur ce mode de stockage ont abouti plus ou moins à mettre en évidence l'avantage potentiel de l'utilisation de feuilles plastiques sous différentes formes comme revêtement dans les régions où se pratique ce mode de stockage. Cette étude examine la faisabilité et les avantages de l'emploi d'un revêtement plastique pour le stockage des céréales en matmora.

La température, lorsqu'elle est assez élevée, peut favoriser la prolifération des microorganismes présents dans la masse des céréales. L'augmentation de la température peut être d'origine biologique ou climatique. L'échange de chaleur entre le stock et le milieu extérieur se fait à travers les parois et les ouvertures. Cette étude vise à mettre en évidence le potentiel d'isolation thermique qu'offre le matériau sol dans le cas des matmoras.

Matériels et méthodes

Le site choisi pour cette étude est localisé sur un terrain plat dans le campus de l'Institut Agronomique et Vétérinaire (IAV). L'altitude est de l'ordre de 65 m. Le niveau statique de la nappe est situé à une profondeur de 20 m. Le sol est fersiallitique déposé sur une roche mère de type grès-calcaire dunaire à 2,7 m de profondeur. La couche superficielle du sol est sableuse sur une profondeur de 1,1 m, ayant une perméabilité à l'eau de $K_s = 22,7$ cm/h, la couche suivante est argileuse et moins perméable à l'eau avec $K_s = 5,8$ cm/h. Les pluviosités moyennes annuelles enregistrées au cours de ces trois dernières décades, atteignent plus de 800 mm. Les maximas de pluies tombent pendant les mois de novembre et décembre. Les quantités de pluies et leurs fréquences mensuelles décroissent régulièrement jusqu'à la fin du printemps.

Durant le mois de janvier 1987, les travaux de creusement ont été commencés pour la réalisation de deux matmoras expérimentales de capacité 4 tonnes chacune, destinées au stockage de l'orge, et qui serviront à la comparaison des performances de deux techniques de revêtement différentes. Le creusement a été réalisé manuellement par deux ouvriers, pendant une

Stockage des céréales dans les entrepôts souterrains

semaine pour chaque matmora. Les matmoras ont une forme tronconique de 3,2 m de profondeur et de 2,2 m de diamètre à la base. L'entrée des matmoras, en forme cylindrique, est creusée sur un diamètre de 1 m, une profondeur de 1,1 m et traverse la couche sableuse du sol ayant une forte perméabilité. Pour stabiliser les parois de cette ouverture, on a utilisé un revêtement en briques cimentées de 15 cm d'épaisseur (fig. 1).

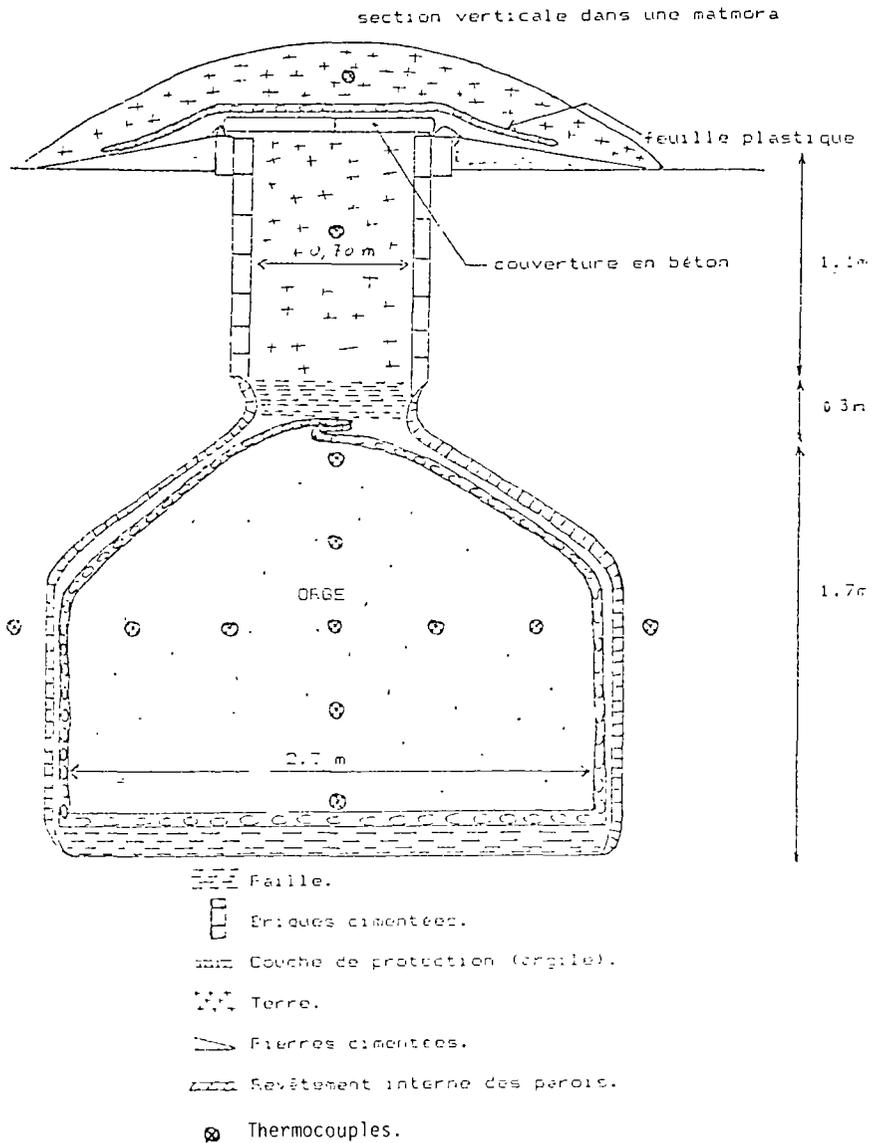


Figure 1. Construction des matmoras

Puisque la perméabilité à l'eau constitue une contrainte qui menace les matmoras, surtout celles qui se trouvent dans un site humide, on a pensé au revêtement des parois internes par des feuilles plastiques étanches. Il est recommandé d'avoir des parois relativement lisses et sans recoins, pour réduire le risque de poinçonnement de la couverture plastique, suite aux pressions exercées par la masse de grains stockée. Une couche de protection à base d'argile, de paille et d'eau a été donc réalisée manuellement avant l'installation du revêtement plastique sous forme d'un grand sac qui épouse la forme de la matmora. Le revêtement de l'autre matmora est assuré par une couche de paille de 10 cm d'épaisseur afin de tester cette technique qui était très utilisée dans plusieurs régions du pays, alors qu'elle est en voie de disparition dans d'autres régions, à la suite des changements socio-économique.

Le plastique utilisé est le polyéthylène d'épaisseur 0,18 mm. Sa perméabilité à l'eau est très faible. Pour l'oxygène, elle est de l'ordre de $68 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/24 \text{ heures}$ à 25°C .

La céréale utilisée pour cette expérience est l'orge. Les grains ont été récoltés en juin 1986. Les sacs d'une capacité unitaire d'environ 80 kg ont été échantillonnés aléatoirement et déversés en vrac pour le remplissage des matmoras le 27 et 28 avril 1987. Le remplissage de chaque matmora a duré 3 heures. Les grains ont été entreposés à une teneur en eau de 9,6 %, à la température de 26°C . L'humidité relative de l'air interne de la matmora est de 76 % avec une température de 24°C . Le poids spécifique des grains est de $0,64 \text{ T/m}^3$. L'analyse entomologique des échantillons prélevés à différents niveaux de la masse des grains stockée a montré une forte infestation par les insectes dont le nombre varie de 748 à 1 069 par kg de grains, avec un taux de mortalité de 30,8 à 33,7 % et la dominance de l'espèce *Rhizoperta dominica*. Comme l'activité biologique des grains et de leurs ravageurs constitue une source importante de dégagement de chaleur, la simulation du comportement thermique de la masse des grains stockée nous a permis une évaluation indirecte et continue de l'état global de conservation des grains. En effet, 14 capteurs de mesure de température ont été placés dans le grain et le sol, au cours du remplissage des matmoras. Ces capteurs sont localisés selon le plan indiqué à la figure 1, et sont munis de câbles qui les relie à des unités portables d'acquisition et de stockage de données (UPAD), placées à l'extérieur des entrepôts (fig. 2). Une fois que les matmoras ont été remplies d'orge, leurs cols ont été remplis de terre pour assurer une bonne étanchéité à l'air et une isolation thermique satisfaisante. La couverture des matmoras se trouve un peu surélevée par rapport au niveau du sol et un collecteur de drainage ceinturant le local a été prévu pour l'évacuation des eaux de pluies. Les grains ont été stockés pendant une période de 200 jours allant du 27-4-87 au 20-11-87. Cette période est marquée par la forte opposition entre un été chaud et sec, et le début d'une période pluvieuse relativement froide (fig. 3).

Résultats et discussion

Température et humidité

Durant l'expérience, les températures du sol au niveau des capteurs placés à 10 cm de la surface du sol, subissent des fluctuations journalières ayant une variation en S avec des températures maximales enregistrées le plus souvent à 15 h (fig. 4). L'amplitude de cette variation se réduit en profondeur jusqu'à la disparition complète au niveau du capteur placé dans le col de la matmora, grâce à la bonne isolation thermique du matériau sol. Durant toute l'expérience, les températures dans la masse des grains stockés sont plus élevées que celles enregistrées au niveau des parois (figures 5, 6, 7 et 8). Il s'ensuit donc que la principale source de

Stockage des céréales dans les entrepôts souterrains

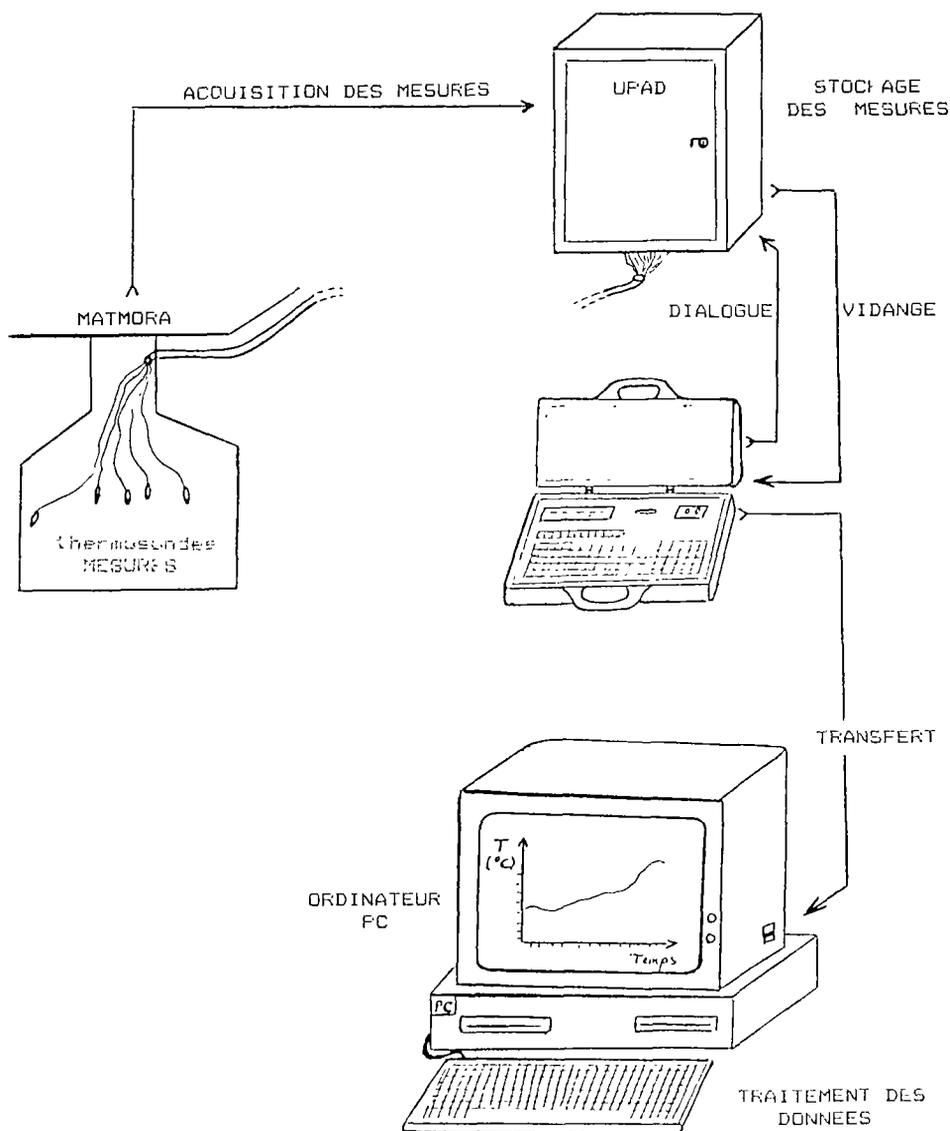


Figure 2. Schéma d'acquisition et de traitement des données.

chaleur est biologique et que les parois participent au rafraîchissement des grains à leurs bordures. Les figures 5 et 6 montrent le gradient vertical de température dû aux transferts de chaleur par les phénomènes de convection gravitaire. Le gradient horizontal de température dû aux transferts de chaleur par la conduction a été reporté sur les figures 7 et 8. Cette conduction thermique entre le grain et le sol est entravée par l'isolation thermique du revêtement interne des parois dans le cas de la matmora revêtue de paille. La contamination du stock par l'humidité du sol augmente l'humidité relative et la teneur en eau des grains dans la matmora

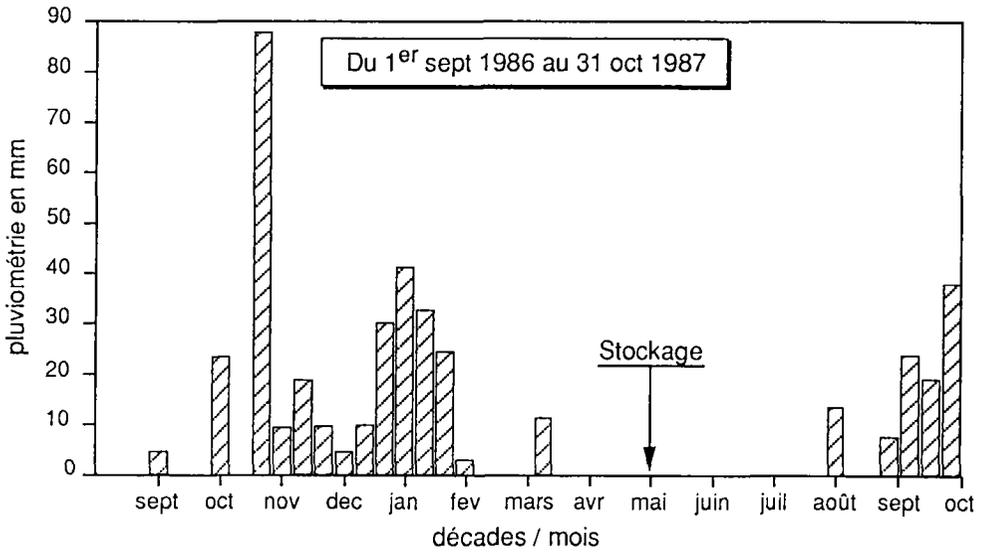


Figure 3. Pluviométrie par décades

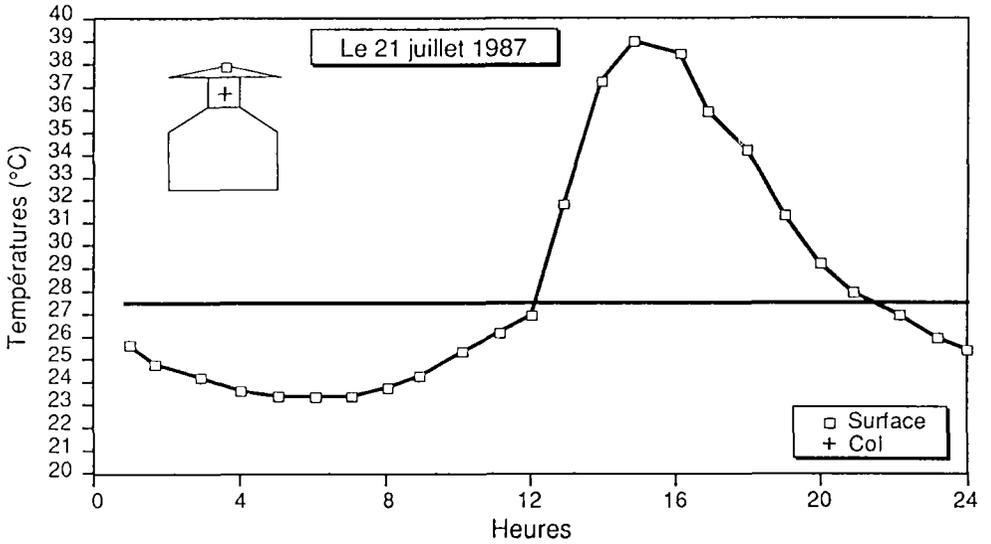


Figure 4. Evolution journalière de température

Stockage des céréales dans les entrepôts souterrains

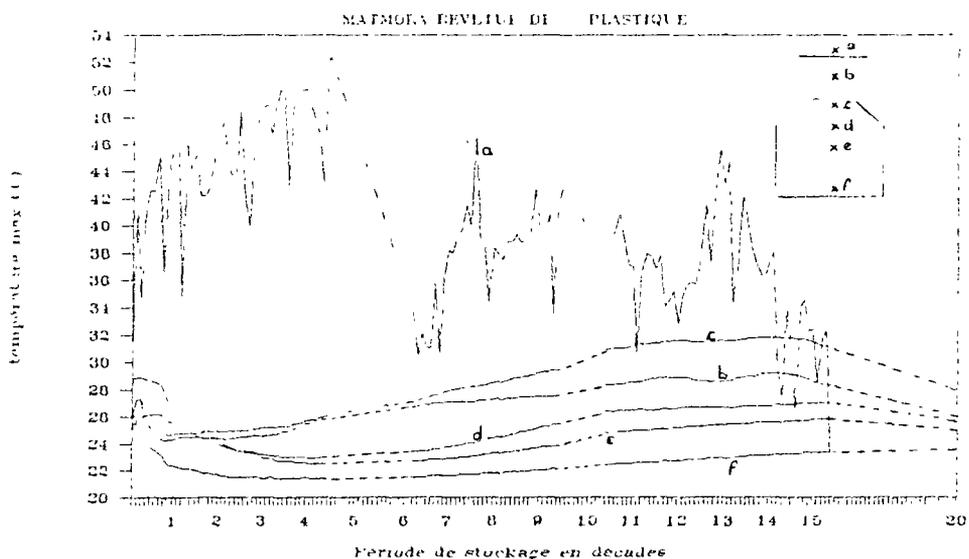


Figure 5. Gradient vertical de température.

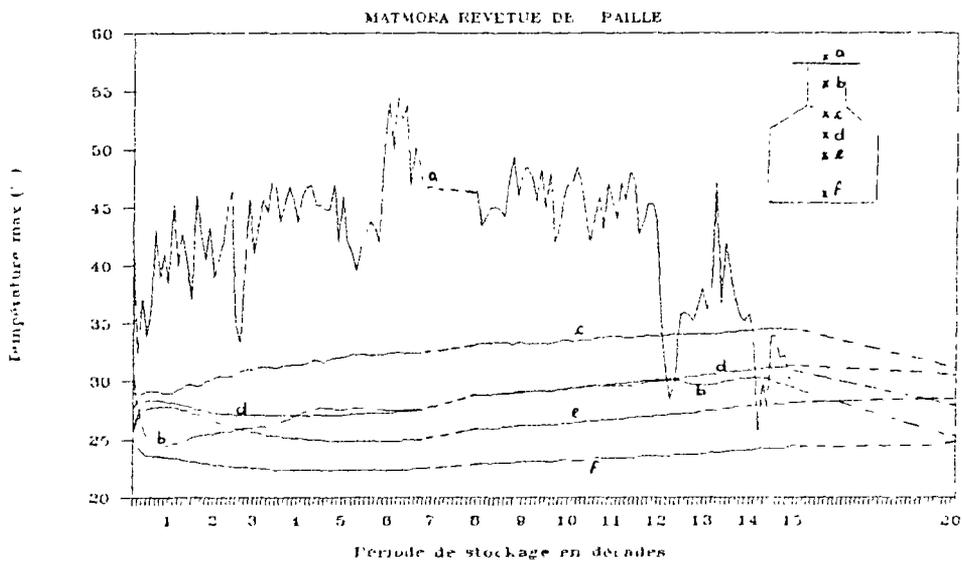


Figure 6. Gradient vertical de température.

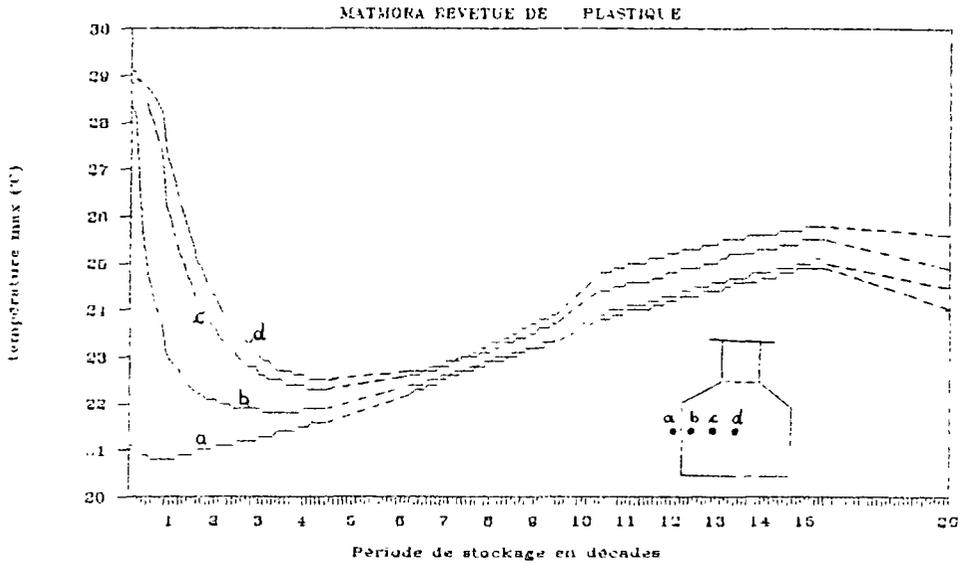


Figure 7. Gradient thermique horizontal.

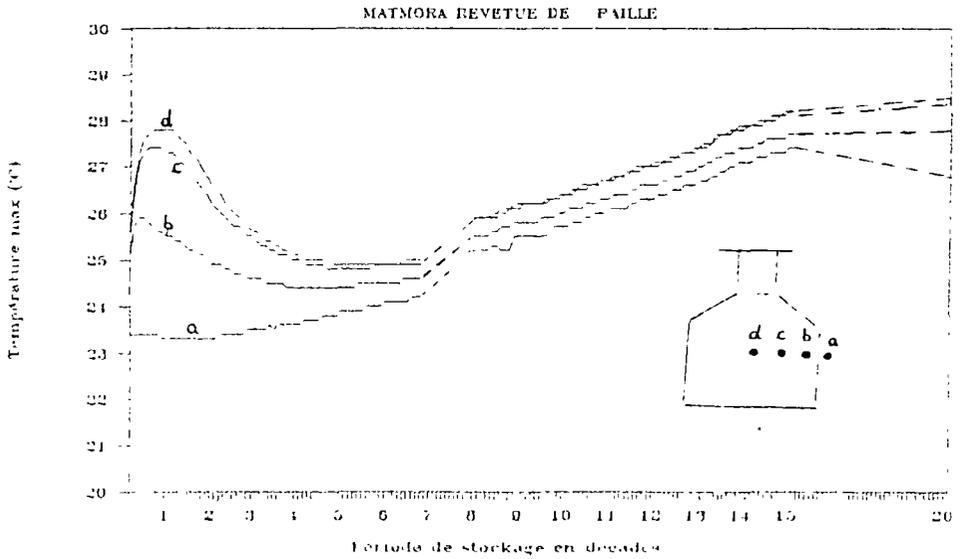
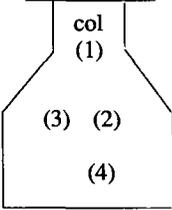


Figure 8. Gradient thermique horizontal.

revêtue de paille. Cette humidité favorise la croissance des champignons dans la paille et le grain ainsi que le développement et la reproduction des insectes. Le Tableau I montre cette différence d'humidité entre les deux matmoras à tous les niveaux de l'échantillonnage.

Tableau I

Niveaux	Paille		Plastique		Différence thermique °C
	Tf	Hg	Tf	Hg	
(1) sommet	32,2	21,4	28,0	11,7	3,2
(2) centre	28,5	12,7	25,6	9,8	2,9
(3) auprès des parois	28,4	13,3	24,9	9,8	3,5
(4) fond	24,8	13,0	23,9	9,5	1,2



Tf : température finale en °C.
Hg : humidité du grain en %.

La teneur en eau des grains est plus uniforme dans la matmora revêtue de plastique et diffère peu de la teneur en eau initiale, sauf pour les grains du sommet. La respiration cumulée de ces organismes mène les températures dans la matmora revêtue en paille à des niveaux très élevés par rapport aux températures de l'autre matmora revêtue de plastique. Cette différence des températures est plus significative dans la moitié supérieure du stock à cause du risque, plus élevé, de l'exposition des grains à l'infiltration de l'eau du sol à travers les parois.

Concentration en gaz carbonique

L'importance de l'activité biologique dans la matmora revêtue de paille augmente de façon significative la concentration en gaz carbonique (CO₂) dans l'air intergranulaire à 16 %. Cette concentration est de l'ordre de 5 % dans l'autre matmora après 6 mois de stockage. Les concentrations de l'oxygène et du CO₂ ne semblent pas atteindre un niveau mortel pour les organismes présents. En effet, le dénombrement préalable des insectes nous a permis de constater la présence d'insectes vivants surtout au niveau des sommets des stocks.

Analyse entomologique

La présence d'insectes vivants après six mois de stockage, n'exclut pas l'effet important de l'herméticité des entrepôts. En effet, malgré la forte infestation des grains au moment du remplissage des matmoras et malgré les conditions de température et d'humidité très favorables au développement et à la reproduction de ces ravageurs, ils ont été trouvés à la fin de la période d'entreposage en nombre très limité et avec des taux de mortalité très élevés sans l'utilisation de produits de lutte chimique (Tableau II).

Tests de germination

Le taux de germination des grains avant l'entreposage était de 72 %. Après six mois de stockage ce taux se trouve beaucoup plus affecté dans la matmora revêtue de paille que dans l'autre matmora (Tableau III). La viabilité des grains est aussi plus affectée dans la moitié supérieure des stocks que dans la moitié inférieure.

Tableau II

Niveaux	Plastique		Paille	
	Nb	% M	Nb	% M
Sommet	282	46	328	81,4
Centre	152	100	101	9,6
Auprès des parois	279	97,5	78	98,7
Fond	163	100	145	98,6

Nb : nombre d'insectes par kg; % M : pourcentage de mortalité.

Tableau III. Résultats des tests de germination après 6 mois de stockage.

Localisation de la mesure	Plastique	Paille
Sommet	53	23
Centre	67	63
Auprès des parois	69	57
Fond	71	70

Les pertes

Les dégâts les plus importants sont observés surtout au sommet du stock. Des pertes significatives sont aussi observées auprès des parois revêtues de paille. Les pertes pondérales sont estimées à un taux moyen de 6,27 % pour la matmora revêtue de paille, alors que dans l'autre matmora revêtue de plastique, ce taux de perte est évalué à 0,97 % (fig. 9). Ainsi, on est arrivé à des réductions significatives des pertes, par l'utilisation des feuilles plastiques comme obstacle à la migration de l'humidité du sol dans les grains.

Quelques critères économiques

La réalisation d'une matmora améliorée a été faite avec un coût de 1155 DH correspondant à 28,9 DH par quintal logé. Le coût marginal de passage à la nouvelle technique est estimé à 80 DH avec un taux de rémunération de 255 % après 200 jours d'entreposage.

Conclusion

Ce travail a permis d'aborder : d'une part l'influence des parois sur le comportement thermique des stocks de grains, et d'autre part l'amélioration des conditions de stockage des céréales suite à l'utilisation du revêtement plastique des parois internes des matmoras.

Ainsi les conclusions essentielles que nous en dégageons sont :

— La couche de sol couvrant le stock de grains constitue un obstacle pour les fluctuations de température journalières.

— Une réduction de la température par conduction-convection au contact des parois.

Stockage des céréales dans les entrepôts souterrains

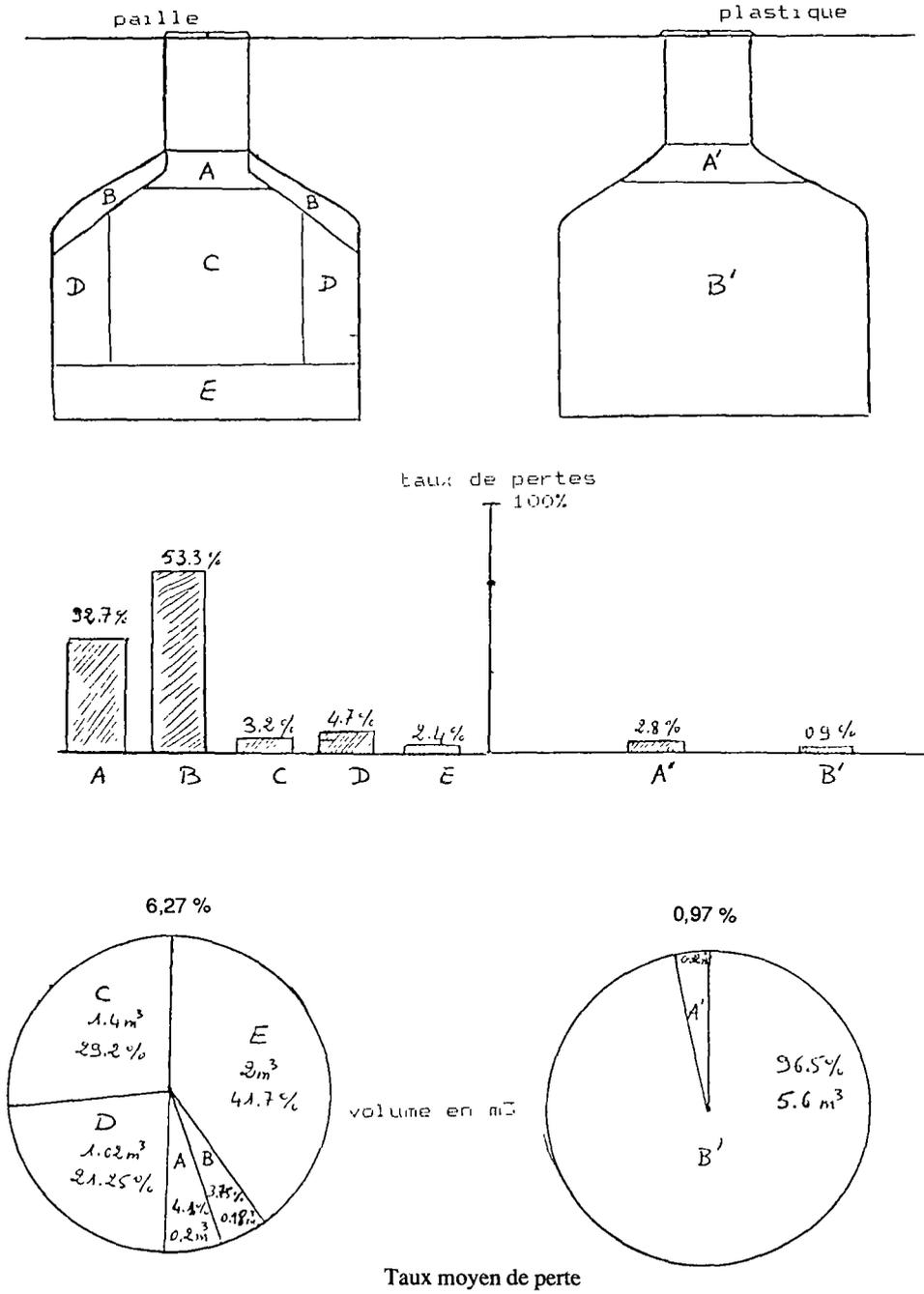


Figure 9. Importance des pertes à différentes zones de la masse de grains stockée.

— Les niveaux de température dans la matmora revêtue de plastique sont moins importants que ceux enregistrés dans celle revêtue de paille, à cause de l'activité biologique moins intense.

— Le plastique utilisé constitue une barrière pour la migration de l'humidité du sol dans le grain.

— La concentration en gaz carbonique et la teneur en eau des grains sont plus élevées dans la matmora revêtue de paille.

— Les dégâts les plus importants sont localisés surtout au sommet de la masse de grains stockée sur une profondeur de 30 cm.

— Le nombre d'insectes est beaucoup plus élevé au sommet et leur mortalité est très importante à tous les niveaux.

— La germination des grains est très affectée dans la matmora revêtue de paille, surtout au sommet de la masse de grains stockée et auprès des parois.

— L'étanchéité à l'air constitue un moyen efficace pour le contrôle des insectes dans le cas d'un stockage par matmora à moyen ou à long terme sans qu'il y ait ouverture des entrepôts.

— L'utilisation du revêtement plastique des parois, comme il a été conçu dans le cadre de cette expérience, réduit considérablement les taux de pertes.

— L'état du plastique après six mois de stockage semble présager sa réutilisation.

Remerciements. La réalisation de cette recherche a été possible grâce au matériel de saisie des données de température acquis dans le cadre du projet de coopération de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II et de la Belgique. Les auteurs leur expriment ici leur reconnaissance.

Références

- Afif S. (1988). Etude des performances du revêtement plastique des entrepôts souterrains, sur les conditions de stockage de l'orge. Mémoire de fin d'étude, DEH, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.
- Bartali El H. (1986). Underground storage pits in Morocco. Deuxième conférence internationale sur Earth Sheltered Buildings. Hôtel Madisson, Université de Minnesota, USA.

5

Le stockage enterré : réponse aux problèmes du Tiers Monde

M. GILLIQUET, J.-C. VERBRUGGE

*Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, 2 Passage des Déportés, 5800 Gembloux,
Belgique*

Résumé

Les auteurs étudient un silo souterrain pour denrées alimentaires approprié aux pays en voie de développement. Ils passent tout d'abord en revue l'historique d'un tel type de stockage dans le monde et expliquent la situation présente. Ils examinent ensuite le stockage alternatif de produits frais et de céréales dans une structure métallique recouverte de terre. Enfin, le coût d'une telle installation est évalué.

Introduction et historique

Le stockage dans des silos enterrés n'est pas une méthode nouvelle. En effet, nos ancêtres la connaissaient depuis longtemps puisqu'on en retrouve des vestiges datant du pré-néolithique (9000/7000 ACN) au Moyen-Orient et du néolithique (4500 ACN) [5]. On a également retrouvé des puits datant de l'âge du fer dans lesquels de l'orge était stocké [3].

Ils étaient utilisés sur plus de la moitié de la surface du globe dans les aires où étaient produites les céréales, notamment en Afrique de l'Est, en Afrique du Sud, en Amérique du Nord (de Mexico à la vallée du haut Missouri) ainsi qu'en Espagne et au Maroc jusqu'en Inde et en Chine [5]. Des systèmes analogues étaient utilisés également au Cameroun [4].

Il n'y a pas si longtemps, on a découvert en Chine des centaines de silos (fig. 1) datant de la Dynastie Sui (602-603 PCN). Dans ceux-ci, on a retrouvé du millet dont une moitié était carbonisée et dont l'autre permettait encore une séparation de la gousse des grains [4].

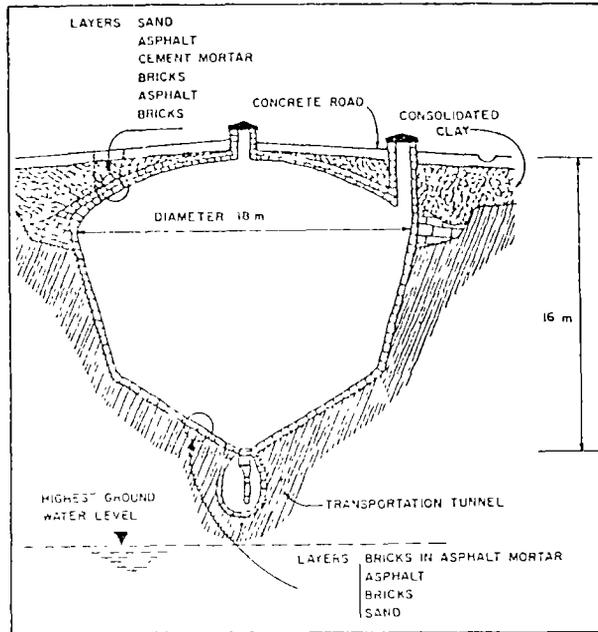


Figure 1. Coupe dans un silo chinois.

Jusqu'en 1800, le stockage enterré fut la méthode la plus développée pour la conservation à long terme des grains et cela surtout dans les régions à hiver doux et peu marqué. Les matmoras, au Maroc, sont un bon exemple d'un mode de stockage enterré traditionnel de ces régions. Par contre, dans les régions à hiver rude, la protection contre les insectes et les rongeurs s'avérait moins nécessaire vu les basses températures.

En Argentine, durant la Seconde Guerre Mondiale, des silos enterrés ont été utilisés pour absorber les excédents de céréales en cette période de marasme économique. Plus près de nous, en 1967, au Kenya, ils ont été utilisés pour constituer des réserves en cas de famine (fig. 2).

Ce qui précède montre bien que la technique n'est pas nouvelle. Cependant, ce n'est qu'à partir du 19^e siècle, que les différents phénomènes intervenant dans cette conservation ont été étudiés.

Actuellement, le stockage souterrain est utilisé principalement en Australie, en Argentine, en Chine et au Kenya.

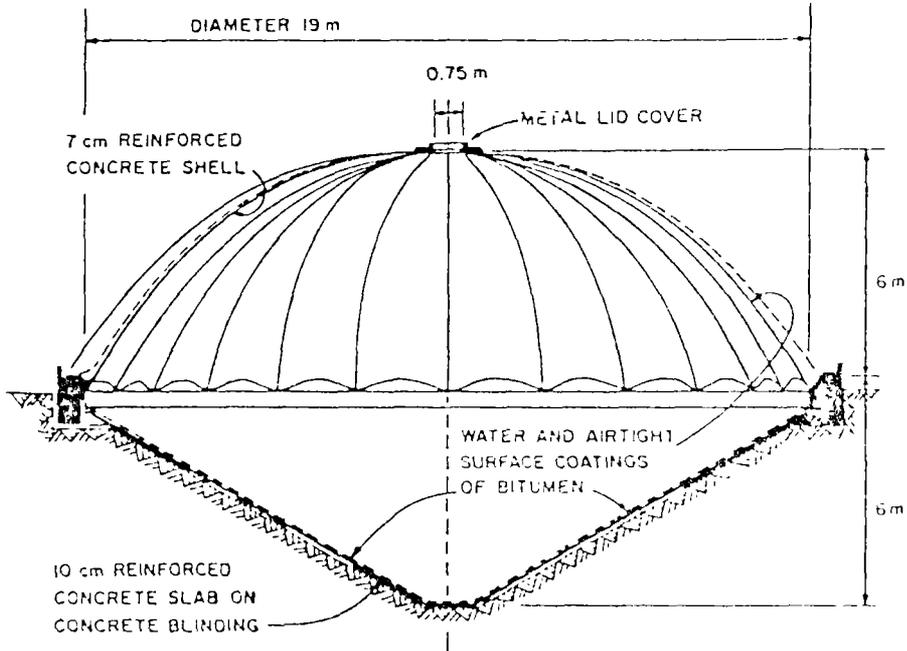


Figure 2. Coupe dans un silo du Kenya.

Examen des avantages et des inconvénients

Avantages

Température «basse» et constante

Dès que l'on atteint une profondeur de l'ordre de 1,5 à 2 m (suivant le type de sol), la température reste constante durant toute l'année et égale à la moyenne annuelle des températures en surface [1]. Bien qu'étant plus basse que la température moyenne durant la journée, elle est encore souvent trop élevée pour une bonne conservation du grain (fig. 3). Cette stabilité thermique permet d'éviter des migrations d'eau qui entraînent la création de points sensibles, ne répondant plus aux critères de bonne conservation.

Maintenance faible et durée de vie élevée

Les entretiens à faire pour assurer une durée de vie élevée sont peu nombreux, puisque la construction n'est pas soumise aux rigueurs du climat.

Utilisation de matériel local

Dans les structures traditionnelles de stockage enterré, il est uniquement fait appel au matériel et au savoir-faire locaux, ce qui permet d'éviter l'importation de technologies, dont le coût est toujours élevé.

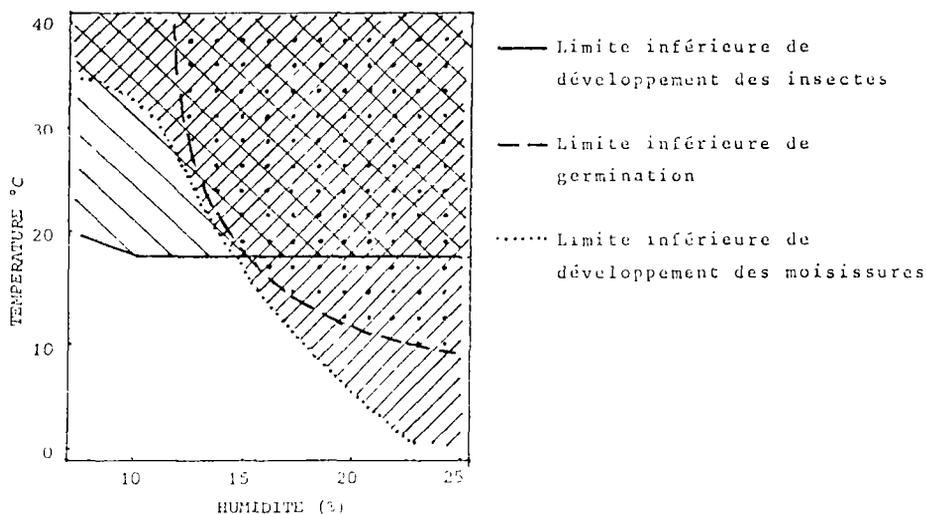
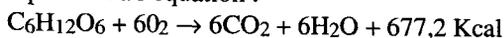


Figure 3. Diagramme FAO pour la bonne conservation des céréales.

Stockage hermétique plus aisé

Le stockage en atmosphère contrôlée est facilement réalisable. Il est surtout utilisé pour les céréales, le système par excellence étant le silo hermétique, dont la matmora marocaine constitue un exemple typique. En effet, l'altération du grain fait intervenir divers processus, parmi lesquels la respiration répondant à l'équation :



La respiration dégage donc de la chaleur, de l'eau et du dioxyde de carbone. S'il y a ventilation, le CO_2 s'en va plus rapidement que l'eau. La combinaison de la chaleur et de l'eau induit alors un développement embryonnaire. Par contre si le silo est hermétique, le CO_2 reste dans l'atmosphère entourant le grain et inhibe le phénomène de respiration. De plus cette teneur élevée empêche les insectes de survivre. Il faut cependant faire attention aux organismes anaérobies.

Comme le montre la figure 3, il existe une zone optimale de température et d'humidité empêchant la survie des parasites et la germination. Les céréales étant généralement récoltées entre 20 et 30 % d'humidité, un séchage préalable est nécessaire, l'air ambiant pouvant avoir au maximum une humidité de 60 %. Les températures optimales de conservation étant plus faibles que la température ambiante, un refroidissement est souvent indispensable.

Si l'on respecte toutes ces conditions, l'emploi de produits chimiques (conservateurs et inhibiteurs) n'est plus indispensable. Ceci est très important car on réalise des économies et on évite un risque de résidus toxiques.

Protection contre les insectes, les rongeurs et les oiseaux

Du fait même de la profondeur du stockage, beaucoup d'animaux nuisibles ne peuvent y accéder que par les ouvertures prévues pour la manutention des céréales. Ces endroits sont bien connus et facilement protégés contre toute tentative d'agression extérieure.

Inconvénients

Humidité possible

Dans les endroits où une nappe phréatique peut gêner, le recours à un film imperméable diminue cet inconvénient. De même, un drainage efficace peut empêcher l'humidité provenant de la pluie de s'infiltrer et de nuire au stockage.

Manutention et inventaire

Suivant la conception du volume, la manutention et l'inventaire seront plus ou moins aisés mais ils le seront en général moins que pour un stockage de surface.

Coûts

Les coûts de construction sont relativement plus élevés que pour un stockage identique en surface. Ici aussi, la conception de départ peut jouer un rôle déterminant pour les frais de fonctionnement (manutention...). Cet effet est toutefois atténué par l'utilisation de matériel local, (cf. avantages).

Dans ce qui précède, nous avons montré dans un contexte général les avantages et les inconvénients du stockage enterré. Nous allons à présent détailler un exemple de module enterré de stockage alterné (produits vivriers-céréales) que nous étudions actuellement à l'Unité de Résistance des Matériaux et Construction Rurale de la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux.

Stockage alterné : produits vivriers-céréales

Depuis 3 ans, nous avons entamé l'étude d'un module de stockage enterré à réfrigération naturelle [1, 2]. Dans sa conception originale, cet entrepôt devait assurer la conservation de produits vivriers en transit, (par exemple, entre la récolte et l'expédition vers des centres urbains). Le produit ne doit donc y séjourner qu'un dizaine de jours environ. On peut toutefois l'adapter aisément au stockage à plus long terme.

Description de l'entrepôt

Dès le départ, notre souci a été de permettre la réalisation de cet entrepôt par une entreprise locale ne possédant pas de gros moyens. Nous nous sommes donc tournés vers une structure mini-arche en tôle ondulée [1], qui présente l'avantage de pouvoir être transportée et montée facilement.

Les dimensions du prototype étudié sont : longueur : 30 m , rayon de la voûte : 4 m, pied droit : 1 m, volume brut de plus ou moins 1 000 m³.

Les extrémités sont constituées de deux parois en tôle ondulée munies de portes. Le tout est recouvert d'un remblai en terre d'une hauteur de 1 m minimum à la clé de voûte (fig. 4 et 5). Une étude de la stabilité de l'entrepôt a été réalisée à la Faculté de Gembloux par un logiciel d'éléments finis. Elle a montré que le recouvrement pouvait être augmenté sans inconvénients à des épaisseurs bien supérieures à 1 m [1].

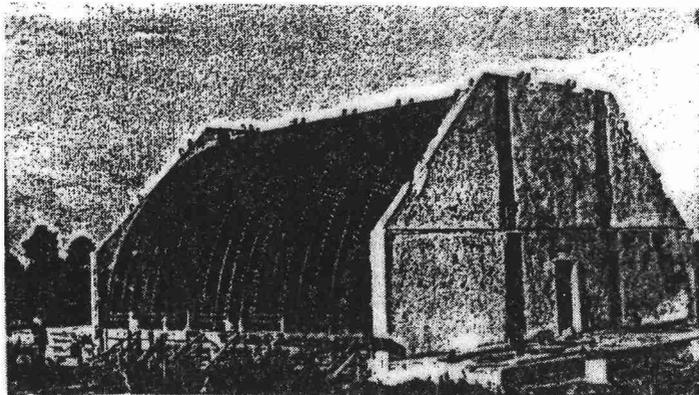


Figure 4. Enceinte métallique montée avec extrémités en béton.

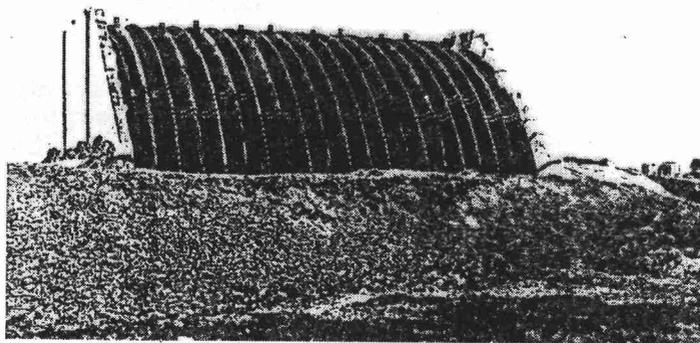


Figure 5. Phase de remblayage.

Les denrées devant être refroidies à une température d'environ 15°C , un groupe frigorifique d'une puissance de 40 kW a été prévu.

Lorsque les récoltes sont terminées et que toute la production a été expédiée vers sa (ses) destination(s), l'entrepôt, qui reste vide durant un certain temps en attendant la récolte suivante, peut être utilisé pour le stockage des céréales.

La disposition intérieure de l'entrepôt se prête particulièrement bien au stockage en sacs, car la manutention s'y fait comme dans un entrepôt classique (fig. 6 et 7).

Nous allons reprendre successivement les avantages et les inconvénients de la solution ainsi proposée.

Température basse et constante. La couverture de terre au-dessus de l'entrepôt est suffisante pour assurer une température établie à l'intérieur de celui-ci. Une baisse de température à l'aide du groupe frigorifique peut être envisagée si celle-ci s'avère nécessaire (cf. coût). Pour les pays à grand contraste de température jour-nuit, une réfrigération naturelle a été envisagée [1, 2].

Le stockage enterré: réponse aux problèmes

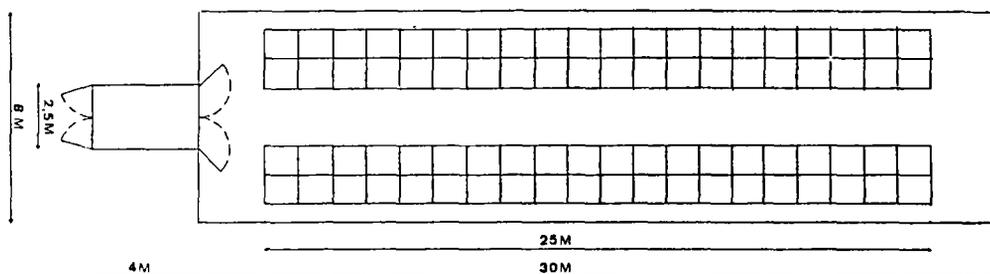


Figure 6. Disposition interne de l'entrepôt (vu en plan).

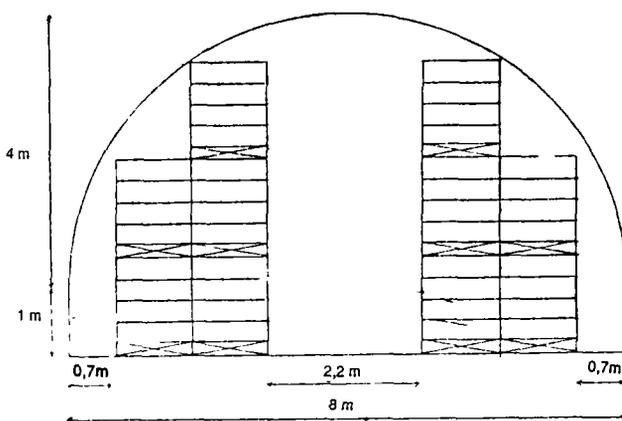


Figure 7. Disposition interne de l'entrepôt (coupe transversale).

Maintenance faible et durée de vie élevée. Celle-ci dépend beaucoup de la nature du sol (présence ou non de sels). Les tôles étant galvanisées, les problèmes de rouille ne pourraient se poser qu'au niveau des joints boulonnés. Un examen annuel de la surface intérieure de l'entrepôt et des parois d'extrémités devrait permettre de prévenir toute détérioration irréversible de la structure.

Utilisation de matériel local. La structure métallique est importée, mais le montage ainsi que le remblayage peuvent se faire par la main d'œuvre locale, encadrée par des spécialistes.

Stockage hermétique. Il n'est pas envisagé, car le stockage de céréales est provisoire.

Protection contre les insectes, les rongeurs et les oiseaux. Ceux-ci ne peuvent entrer que par les extrémités de l'entrepôt, la structure métallique empêchant toute autre voie de pénétration.

Humidité possible. L'entrepôt étant construit au niveau du sol en place avant d'être recouvert de terre, la présence d'humidité ne peut provenir que de l'eau de percolation en saison des pluies. Il suffit de placer une couche de sable entre l'entrepôt et le sol du remblai pour assurer un drainage convenable.

Manutention et inventaire. Ils se font comme pour n'importe quel entrepôt classique.

Coût. Cet aspect est souvent le plus limitant. Dans le cas qui nous occupe, il ne faut pas perdre de vue que la construction doit être envisagée en premier lieu en tant que stockage de produits frais. Le stockage des céréales n'est donc pas le but exclusif de cet entrepôt, et son prix de revient doit être vu en terme de coût marginal.

Une étude économique succincte a été réalisée dans le cas de la construction d'un entrepôt au Bas Zaïre. Le prix de revient était inférieur à 5 000 F belges/m³ (150 \$/m³).

Conclusion

Si le stockage enterré n'apporte pas en général de solution définitive aux problèmes du Tiers Monde, il peut y contribuer.

Le type d'entrepôt exposé ici peut être intéressant, à condition que sa construction soit réalisée dans une optique de stockage de produits frais, avec une utilisation pour le stockage des céréales en période creuse. Son prix (150 \$/m³), comparé au prix d'unité entrepôt frigorifique classique (supérieur à 250 \$/m³) le rend compétitif pour le stockage frigorifique seul. Le stockage de céréales en période creuse apporte donc un plus à ce type d'entrepôt.

Références

1. Gilliquet M. (1986). Etude d'un module de stockage alimentaire enterré. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat. Gembloux, 1986.
2. Gilliquet M, Leclercq J, Verbrugge JC. (1987). Utilisation de structures métalliques enterrées pour le stockage frigorifique dans les pays en voie de développement. Proceeding du XVII^e Congrès International du Froid, Commission D 1-4, Vienne, 1987, pp. 202-207.
3. Hill *et al*, cité par Smith JS. (1986). Semi-Underground Storage Model for Peanuts, Oléagineux, Vol. 41, n^o 4, p. 195.
4. Lundström B. (1983). Demand and technical requirements for food storage in developing countries, underground space, Vol. 7, pp. 251-256.
5. Sterling R, Meixel GD, Dunkel F, Fairhurst C. (1983). Underground storage of food, Underground Space, Vol. 7, pp. 257-262.

6

Les pertes dues aux insectes sur les stocks paysans de céréales en Côte d'Ivoire

A. RATNADASS, B. SAUPHANOR

Institut des Savanes, BP 635, Bouaké, Côte d'Ivoire

Résumé

En vue de situer l'incidence des pertes dues aux insectes ravageurs des stocks de céréales sur l'inadéquation entre ressources vivrières disponibles et besoins alimentaires en Côte d'Ivoire, une étude approfondie a été entreprise au niveau des régions Centre-Ouest en zone forestière et Nord-Ouest et Centre en zone de savane.

Des enquêtes ont permis de décrire les systèmes post-récolte du maïs et du riz paddy et de mettre en évidence la préoccupation des villageois vis-à-vis des ravageurs de ces denrées.

Un premier inventaire des espèces a été réalisé, qui fait apparaître que le principal ravageur du maïs est *Sitophilus zeamais* (Mots.), et le principal ravageur du riz paddy, *Sitotroga cerealella* (Oliv.).

L'étude des dynamiques de populations et de l'évolution des pertes occasionnées, à partir du prélèvement séquentiel d'échantillons de grains dans des greniers paysans répartis dans les quatre régions, a montré l'importance des facteurs climatiques et variétaux dans le développement des infestations. Certains aspects de la biologie des principaux ravageurs ont également pu être précisés.

On a discuté des imperfections des techniques existantes d'estimation des pertes pondérales dues aux insectes des stocks et proposé des améliorations en vue d'augmenter leur rendement et leur précision.

Il a montré que, ramenées au modèle paysan de prélèvement du grain, les pertes entomologiques en stockage sont généralement inférieures à 5 % de la quantité totale de céréales emmagasinées.

Des essais de protection chimique des stocks paysans de riz paddy n'ont pas donné de résultats concluants; en revanche, sur maïs, des tests insecticides ont permis de proposer au Développement deux produits nouveaux d'efficacité comparable à celle du pyrimiphos-méthyl (actuellement vulgarisé en zone de savane sur maïs), etrimphos et deltaméthrine.

Les pertes entomologiques en stockage sont replacées dans le contexte général du système post-récolte des céréales au niveau paysan, et une approche globale de ce système est recommandée, en vue de son amélioration, à partir de l'intégration de diverses méthodes de lutte (physiques, chimiques, biologiques) et de la mise en œuvre de technologies appropriées au milieu.

Introduction

Le stockage des céréales en Côte d'Ivoire n'est encadré que dans le Nord du pays, en zone de savane. La zone de forêt n'a pas fait l'objet jusqu'à présent d'évaluation du parasitisme des denrées entreposées, *a priori* plus élevé qu'en zone de savane, et aucun encadrement n'est assuré aux paysans dans ce domaine. Nous avons procédé pendant la campagne 1983-1984 à une première estimation des pertes au stockage en régions Centre Ouest et Nord, parallèlement à une évaluation dans ces deux zones de la méthode de protection vulgarisée dans le Nord.

Conduite traditionnelle des stocks

Le stockage des céréales peut revêtir des formes très différentes dans une même région.

En zone de savane, le maïs est fréquemment stocké à l'air libre en guirlandes, les épis étant attachés deux à deux par leurs spathes et fixés à une corde directement accrochée dans un arbre ou suspendue à une traverse reposant sur des pieux verticaux.

Il peut également être stocké en greniers fermés en banco de forme cylindrique, isolés du sol et recouverts de paille (type senoufo, lobbi, baoulé) ou tressés reposant sur une plate-forme surélevée (greniers malinké, dans le Nord-Ouest du pays). Dans cette zone il est conservé le plus souvent en spathes, mais parfois déspathé ou égréné (conservation en sacs).

En zone de forêt, le maïs est parfois stocké en guirlandes, mais plus fréquemment dans les greniers cuisines (pièces surélevées dans des cabanes rectangulaires en lattes) ou dans des magasins en banco ou cimentés. Il est presque exclusivement conservé en épis non déspathés.

Le riz est stocké sous forme de gerbes de panicules d'environ 2,5 kg dans les mêmes structures que le maïs, ou parfois empilées sur des plate-formes surélevées.

Une enquête réalisée chez 46 paysans des zones d'expérimentation (fig. 1) indique que tous estiment avoir des problèmes de conservation sur maïs, 93 % les attribuant essentiellement aux insectes (le second facteur cité étant les rongeurs). Ils évoquent la perte quantitative et la perte de qualité des grains (souillures, déjections, cadavres). Ces problèmes les conduisent souvent à égrener et vendre la totalité de leur stock au bout de 2 à 3 mois de conservation, essentiellement dans le cas du maïs de premier cycle en zone de forêt.

Sur riz, les problèmes de conservation sont d'abord attribués aux rongeurs, puis aux insectes.

Certains paysans utilisent des techniques traditionnelles de protection : cendres, feu sous le stock lorsque la structure de stockage le permet. Ils sont plus nombreux à appliquer des traitements insecticides, sur maïs uniquement :

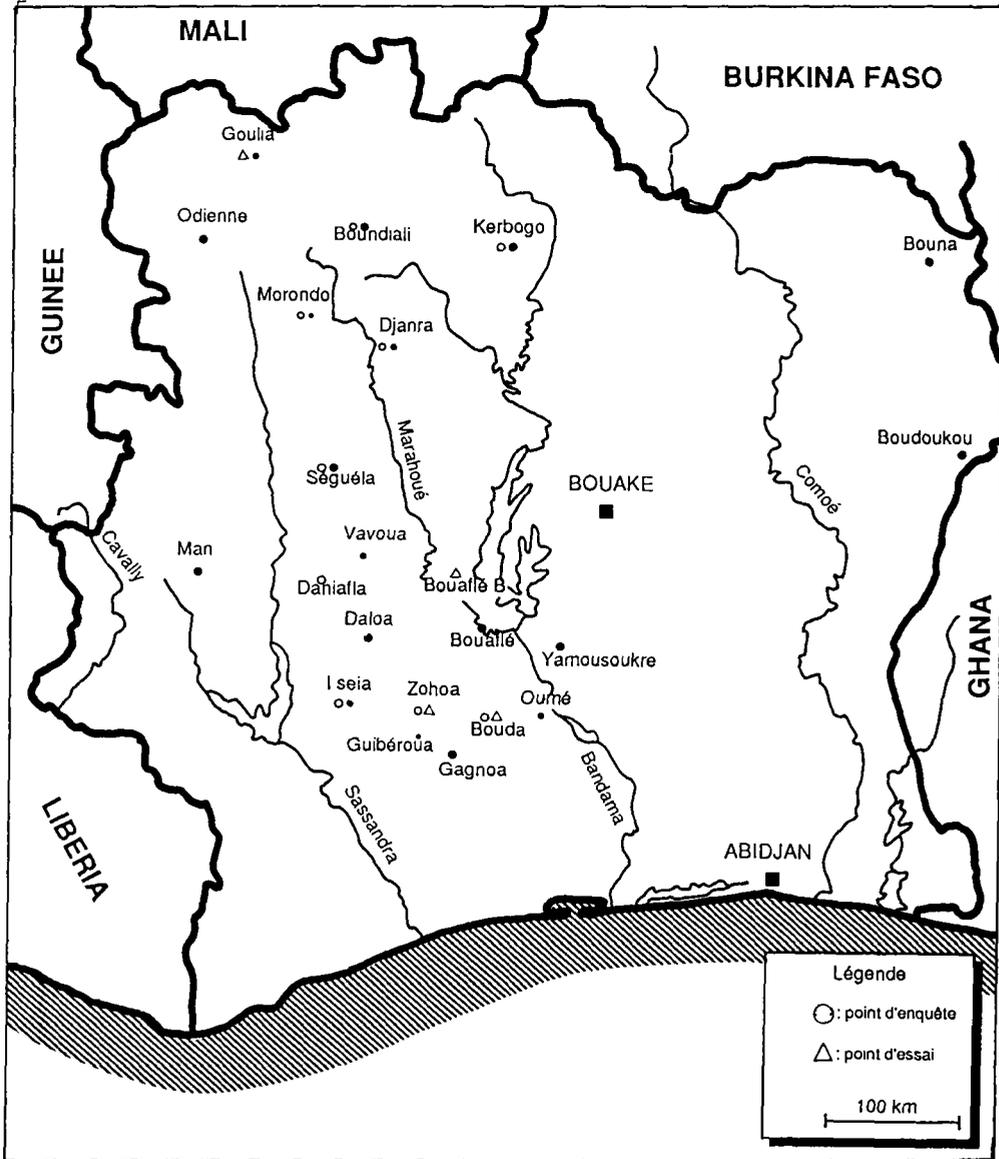


Figure 1. Localisation des points d'enquêtes et d'essais.

— 61 % dans le Centre-Ouest, où le stockage des vivriers n'est pas encadré par les sociétés de développement. Ils utilisent des produits achetés sur les marchés locaux, tels le HCH ou le DDT, qu'ils estiment cependant peu efficaces.

— 17 % en zone de savane, en utilisant dans ce cas les produits vulgarisés par la CIDT (Compagnie Ivoirienne des Textiles) : le pyrimiphos méthyl et le chlorpyriphos méthyl.

Sur riz, 65 % des paysans déclarent lutter contre les rongeurs (fumée, pièges, chats, parfois raticides). Aucun ne traite spontanément contre les insectes mais 44 % souhaiteraient le faire.

Etude du parasitisme

Espèces rencontrées

L'espèce la plus fréquemment rencontrée sur maïs est *Sitophilus zeamais* Mots. Elle est omniprésente dans la zone étudiée et la seule à occasionner des pertes sévères. Les autres insectes rencontrés sont *Sitophilus oryzae* L., représentant environ 3 % des *Sitophilus* parasitant cette denrée, *Rhyzoperta dominica* F., *Sitotroga cerealella* Ol., ainsi que différents Coléoptères réalisant une infestation secondaire (Tableau I).

Sur riz, le principal ravageur est *S. cerealella*; *S. oryzae* et *S. zeamais* ont tous deux la même importance et cohabitent dans les mêmes stocks.

Tableau I. Insectes identifiés sur stocks de riz et maïs.

		Maïs	Riz
Coléoptères			
Trogostidae	<i>Tenebroides mauritanicus</i> L.	*	
	<i>Lophocateres pusillus</i> Klug		*
Bostrychidae	<i>Rhyzoperta dominica</i> F.	*	*
Lyctidae	<i>Lyctus</i> sp.	*	
Nitidulidae	<i>Carpophilus dimidiatus</i> F.	*	*
Cucujidae	<i>Cathartus quadricollis</i> Gue.	*	*
	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> L.	*	
	<i>Cryptolestes minutus</i> Ol.	*	
	<i>Palorus subdepressus</i> Wollaston	*	
Tenebrionidae	<i>Alphitobius</i> sp.	*	
	<i>Tribolium castaneum</i> Herbst	*	*
	<i>Tribolium confusum</i> Duv.	*	*
	<i>Gnathocerus</i> sp.	*	
Anthribidae	<i>Araecerus fasciculatus</i> Deg.	*	*
Curculionidae	<i>Sitophilus oryzae</i> L.	*	*
	<i>Sitophilus zeamais</i> Mots.	*	*
Lépidoptères			
Pyalidae			
Phycitinae	<i>Mussidia nigrivenella</i> Ragonot	*	
Gallerinae	<i>Corcyra cephalonica</i> Stainton	*	
Gelechiidae	<i>Sitotroga cerealella</i> Ol.	*	*

Evolution de l'infestation

Le niveau de population des insectes des stocks est lié à la teneur en eau de la denrée conservée. Le maïs de premier cycle en zone de forêt, récolté en raison des pluies, est difficile à sé-

cher et donc plus infesté. Les populations déclinent dans le stock en saison sèche en suivant avec un mois de décalage l'abaissement de la teneur en eau des grains (fig. 2 à 4), puis, dans le cas du maïs, elles remontent à l'approche des pluies avec l'augmentation de l'humidité relative. La remontée de la teneur en eau du riz est suivie d'une reprise de la multiplication de *S. cerealella*, mais pas de *Sitophilus sp.* Le développement de cette espèce sur riz paddy est conditionné par la présence de grains à enveloppes défectueuses, et stoppe totalement lorsque ceux-ci sont consommés.

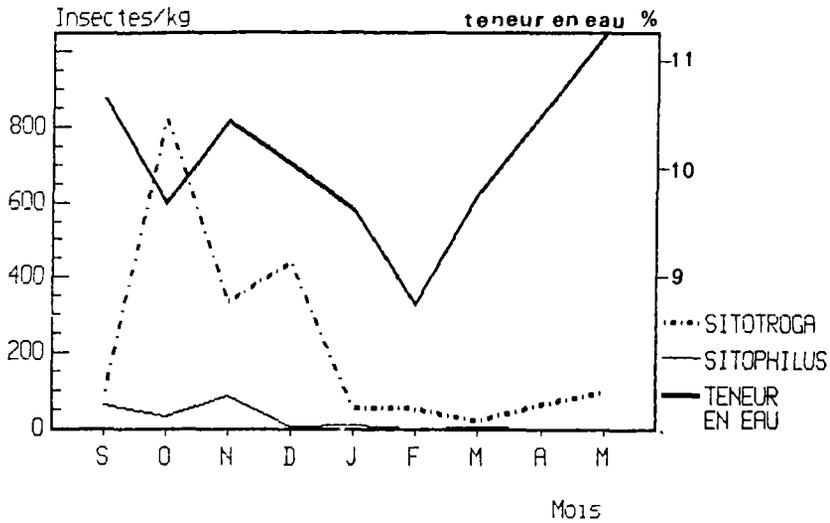


Figure 2. Evolution de la teneur en eau du riz et de l'infestation à Zohoa.

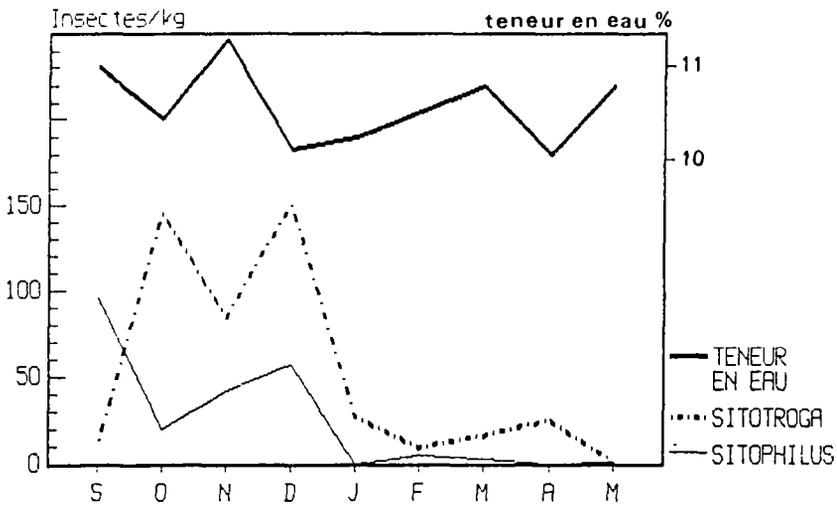


Figure 3. Evolution de la teneur en eau du riz et de l'infestation à Booda.

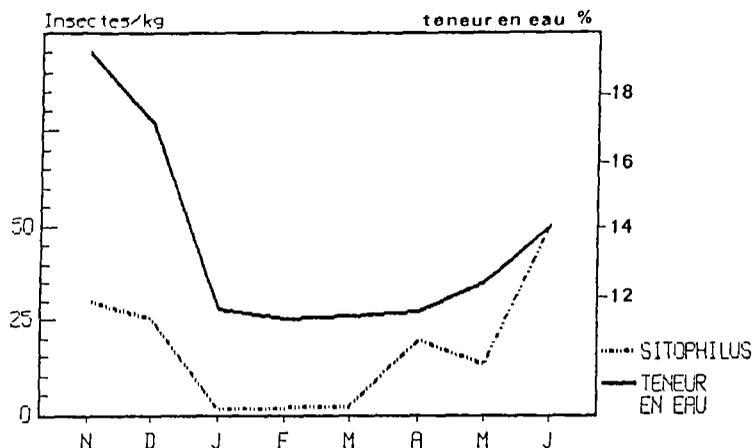


Figure 4. Evolution de la teneur en eau du maïs et de l'infestation à Goulia.

Estimation des pertes

Le contexte d'étude en milieu paysan ne permettant pas d'échantillonner la totalité du grenier, les prélèvements mensuels ont été effectués à l'endroit du stock où le paysan retire les grains pour sa consommation, généralement en surface. Ce mode d'échantillonnage permet de relier la perte évaluée au schéma de consommation, approximativement linéaire pour les cas étudiés une fois retiré le surplus destiné à la vente.

L'échantillon prélevé est de 8 à 10 épis pour le maïs (1 à 1,5 kg) et de une demi-gerbe pour le riz paddy (1 kg environ).

Le comptage et l'identification des insectes est effectué au moment du prélèvement, puis 1 mois après pour prendre en compte les formes cachées.

L'estimation des pertes par référence à un échantillon initial au moment du remplissage du grenier, testée dans un premier temps, est apparue faiblement corrélée avec l'infestation. Les pertes indiquées ont donc été estimées à partir des seuls échantillons prélevés : les grains infestés et non infestés sont séparés, puis comptés et pesés, ce qui permet de comparer le poids de l'échantillon à ce qu'il aurait été en l'absence d'attaque.

$$\text{Perte} = \frac{\text{Poids de l'échantillon sain} - \text{poids réel}}{\text{Poids de l'échantillon sain}} \times 100$$

Le poids de l'échantillon sain est le produit du poids d'un grain sain par le nombre total de grains.

Dans le cas du maïs, le calcul est affiné en séparant les grains en deux classes de taille, cet élément pouvant influencer sur l'infestation.

Le taux d'infestation et la perte, dans une même localité et pour des périodes de conservation analogues, sont plus élevés sur le maïs que sur le riz, et pour le maïs beaucoup plus faibles en zone de savane que dans le Sud.

Pour les deux denrées mais surtout pour le riz, de fortes fluctuations de l'infestation sont enregistrées d'un prélèvement à l'autre. Cela est dû notamment à l'hétérogénéité de l'attaque (*S. cereatella* ne se développant que dans les couches superficielles), et à la présence dans un même silo de variétés de sensibilité très variable dont certaines, prélevées prioritairement pour la consommation, ne se retrouvent que lors des premiers relevés. Nous indiquons pour cela les valeurs moyennes observées entre le 4^e et le 8^e mois (fig. 5).

Pertes dues aux insectes

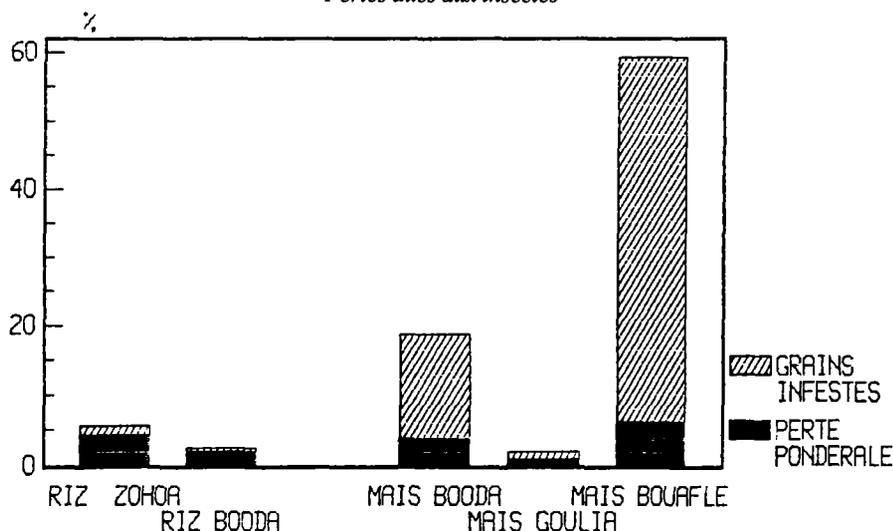


Figure 5. Infestation et perte sur le riz et le maïs, période de janvier à avril 1984.

Le taux d'infestation du maïs non traité s'établit à 63 % à Bouaflé (conservation en sacs après égrenage), à 19 % à Booda (épis non déspathés), et à 1,7 % à Goulia (épis déspathés). Les pertes sont respectivement de 6 %, 3,6 et 0,6 %. Sur riz pour la même période, l'infestation et la perte sont respectivement de 5,7 et 4,2 % à Zohoa, de 2,3 et 1,8 % à Booda.

Les coefficients de conversion cités dans la littérature pour obtenir la perte pondérale à partir de l'infestation sont de 2 pour le riz, de 4,5 à 8 pour le maïs. Nous obtenons des valeurs de 1,4 à 1,7 pour le riz, et de 3 à 8 pour le maïs. Dans le cas du paddy, l'enveloppe des grains n'étant pas consommée par les insectes, il faudrait affecter la perte d'un coefficient 1,25 pour ne prendre en compte que le caryopse. On obtient dans ce cas une perte très proche du taux d'infestation. Les parties du grain non consommées par les insectes ne pouvant être récupérées lors du décorticage, le taux de perte est assimilable au taux d'infestation des grains.

Protection insecticide

L'efficacité de la protection, assurée par les matières actives susceptibles d'être proposées à la vulgarisation, a été évaluée sur les différents sites d'étude.

A Booda, 4 traitements sont comparés sur maïs, avec deux répétitions correspondant chacune à un magasin :

- Témoin non traité
- HCH, dose empirique, traitement effectué par le paysan
- Pyrimiphos-méthyl 10 ppm
- Deltaméthrine 1 ppm

Le traitement est effectué par poudrage des épis en spathes au remplissage du grenier (méthode sandwich).

A Bouaflé, l'essai comporte 5 traitements et 3 répétitions, sur maïs égrené et conservé en sacs :

- Témoin non traité
- Pyrimiphos-méthyl 10 ppm

- Deltaméthrine 1 ppm
- Méthacriphos 10 ppm
- Etrimphos 5 ppm

A Goulia, 4 traitements par la méthode sandwich sont comparés, sur deux répétitions constituées chacune de 1 grenier malinké rempli d'environ 4 tonnes de grains.

- Témoin non traité, épis de spathes
- Pyrimiphos-méthyl 10 ppm, épis déspathés
- Deltaméthrine 1 ppm, épis déspathés
- Méthacriphos 8 ppm, épis déspathés.

Dans les conditions d'utilisation des paysans, l'efficacité du HCH est faible. En l'absence de fortes populations de *Bostrychidae*, le pyrimiphos-méthyl donne de bons résultats sur les 3 implantations, de même que l'étrimphos, testé à Bouaflé (fig. 6 et 7). Les pertes sont également réduites par le méthacriphos, qui avoue cependant une baisse d'efficacité en fin de stockage, comme l'indique l'effectif par kg de grains au 8^e mois à Bouaflé

Témoin	Méthacriphos	Pyrimiphos-méthyl	Deltaméthrine	Etrimphos
42,2	32,3	2,5	0,3	0

On note également les bons résultats obtenus avec la deltaméthrine à 1 ppm, ce qui était inattendu pour l'essai de Booda sur épis en spathes en raison de la faible tension de vapeur du produit.

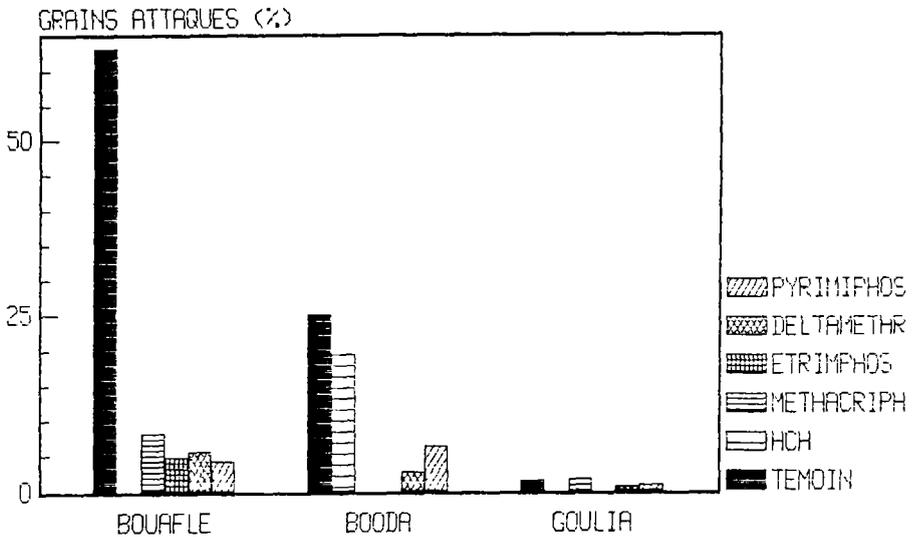


Figure 6. Effet de traitements insecticides sur l'infestation du maïs.

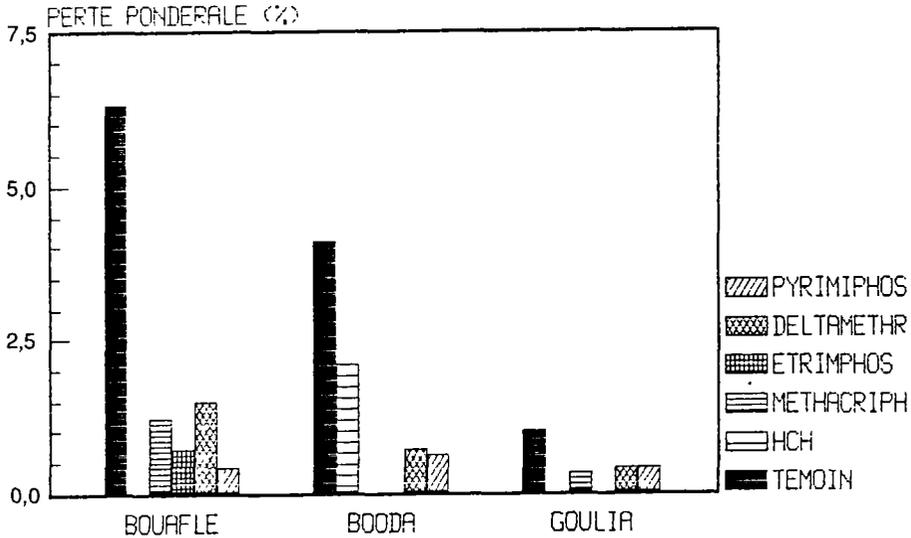


Figure 7. Effet de traitements insecticides sur les pertes sur maïs.

Conclusion

Les pertes en conservation observées sur ces deux denrées sont modérées, n'excèdent pas sur nos sites d'étude 5 % pour le riz et 6 à 7 % pour le maïs en fin de stockage. Les résultats sont à replacer dans le contexte particulier de l'année 1983, caractérisé par un très fort déficit pluviométrique (- 471 mm dans le centre par rapport à la moyenne calculée sur 40 ans). Des observations ponctuelles les années suivantes indiquent des infestations plus élevées notamment dans le Sud et un spectre parasitaire localement différent : prépondérance de *A. dominica* sur riz dans la région de Bouaké, abondance également de ce ravageur dans l'Ouest du pays. La protection chimique est néanmoins rentabilisée en considérant la seule perte pondérale et se justifie pour le maïs en raison de la perte de qualité des grains infestés et de leur dépréciation à la vente.

Les traitements effectués spontanément par les paysans en zone de forêt avec des produits dangereux et peu efficaces (il arrive par ailleurs que seuls les grains destinés à la consommation soient traités) et la présence de *Prostephanus truncatus* aux frontières de la Côte d'Ivoire devraient inciter les sociétés de développement à accentuer leur effort de vulgarisation des techniques de protection éprouvées.

7

Besoins en séchage : le point de vue des fermiers de Sierra Leone

M.W. BASSEY

CRDI (Canada), BP 11007, CD Annexe Dakar, Sénégal

Résumé

Le développement de systèmes de séchage améliorés pour l'utilisation dans les zones rurales se fait généralement sans une connaissance préalable adéquate des problèmes rencontrés par les fermiers, ce qui a conduit à un taux d'acceptation assez faible de nombre de ces systèmes. Cette communication présente les résultats d'une étude réalisée en Sierra Leone afin de connaître le point de vue des fermiers quant à leurs besoins et leurs problèmes en séchage.

Des enquêtes régulières et irrégulières ont été conduites auprès d'environ 700 fermiers, afin de déterminer les types de cultures nécessitant un séchage, les surfaces cultivées, les quantités récoltées et séchées, les avantages et les désavantages des méthodes traditionnelles, la volonté des fermiers de payer pour des systèmes améliorés, etc. Les résultats indiquent qu'une grande diversité de types et de quantités de cultures sont séchées traditionnellement (aussi bien en saison sèche qu'en saison humide) avant le stockage en vue d'une consommation à la ferme, du marché local ou de l'exportation.

De nombreux fermiers pensent qu'ils ont des pertes significatives dues à des méthodes de stockage inadéquates. Ils souhaitent améliorer leurs techniques de séchage, et sont disposés à payer pour des systèmes améliorés, à condition que leurs coûts soient faibles. Les résultats de l'étude ont été utilisés pour mettre au point un scénario de développement de séchoirs solaires en Sierra Leone, définissant les types de systèmes et les conditions dans lesquelles ils pouvaient être introduits.

Introduction

Les habitants des zones rurales doivent sécher leurs récoltes de façon à en diminuer le niveau d'humidité en vue d'un stockage ou d'une conservation avant la vente. Bien que les méthodes de séchage traditionnelles leur permettent d'obtenir des produits satisfaisants, elles présentent plusieurs inconvénients se traduisant par des pertes dues à une réhumidification par les pluies, à la poussière, aux insectes, aux oiseaux, aux rongeurs, au vent, au vandalisme, au vol et à un séchage excessif. Dans de nombreux cas, il est difficile de procéder au séchage traditionnel au soleil en raison du taux d'humidité élevé de l'air. Bien que la nécessité d'amélioration des méthodes traditionnelles de séchage soit reconnue, afin d'augmenter la quantité et la qualité des récoltes stockées, les fermiers n'ont en général pas réagi favorablement à l'introduction de systèmes de séchage améliorés. Ceci s'explique en partie par le manque de connaissances préalables (de la part des spécialistes du développement) sur le point de vue réel des fermiers quant à leurs besoins en séchage. Il est important de cerner les «sentiments» de ces utilisateurs potentiels, qu'ils soient justifiés ou non, car ce n'est que par l'intermédiaire d'une telle compréhension qu'un dialogue satisfaisant puisse s'établir et les conduire à accepter des systèmes de séchage améliorés.

Cette étude a donc été réalisée en Sierra Leone (en l'absence de tout autre travail de recherche sur les besoins de séchage des récoltes), afin de déterminer comment les fermiers de ce pays évaluent leurs besoins, d'analyser l'ampleur des problèmes et de tester leur disposition à accepter des changements. Nous avons également l'intention d'utiliser les informations rassemblées pour proposer une éventuelle intervention afin d'améliorer les méthodes de séchage traditionnelles.

Description des méthodes d'enquête

Formation d'un questionnaire

Un questionnaire simple a été mis au point pour rassembler des informations sur l'état-civil des fermiers, la taille des exploitations, les types de récoltes et les quantités séchées, l'opinion des fermiers sur les avantages des méthodes traditionnelles de séchage mais aussi sur les pertes qu'elles entraînent, la volonté de remplacement des méthodes traditionnelles et d'investissement dans ces changements, l'écoulement des récoltes une fois séchées. La plupart des questions étaient d'une nature subjective, étant donné que l'objectif de l'étude était d'obtenir le point de vue et la réaction des fermiers sur leurs problèmes de séchage.

Choix des régions

L'enquête a été effectuée dans sept régions (fig. 1) de trois provinces agricoles actives, où les récoltes sont destinées à la fois à la consommation locale et à l'exportation. Les exploitations visitées ont été sélectionnées en fonction de la facilité d'accès par les moyens de transport locaux. La taille et le type de ferme ne sont pas intervenus dans le choix. Leur nombre s'est trouvé limité par les ressources en personnel et les moyens de transport.

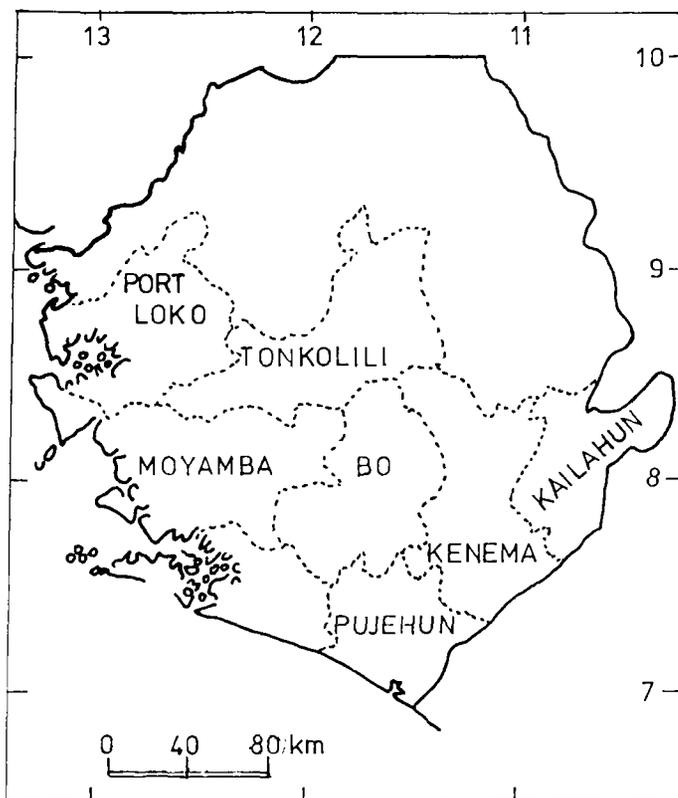


Figure 1. Emplacement des sept régions objet de l'étude.

Réalisation de l'enquête

Les enquêteurs avaient appris à utiliser le questionnaire et à avoir des conversations libres avec les fermiers pour obtenir des informations en rapport avec l'enquête, qui a été réalisée sur une période de deux mois. Tous les enquêteurs parlaient la langue de la région dont ils étaient chargés; 682 fermiers au total ont été interrogés. Les réponses obtenues ont fait l'objet d'une vérification sur le terrain, par le biais de conversations informelles avec certains fermiers, choisis au hasard dans le groupe. (Ces renseignements supplémentaires se sont avérés correspondre aux données officielles rassemblées dans l'enquête.)

Résultats et commentaires

Cultures étudiées

Le pourcentage de fermiers dont les différentes cultures nécessitent un séchage se trouve dans la figure 2. Bien que la gamme de cultures étudiée ne représente pas toutes les cultures séchées en Sierra Leone, elle indique bien leur importance relative. La majeure partie des

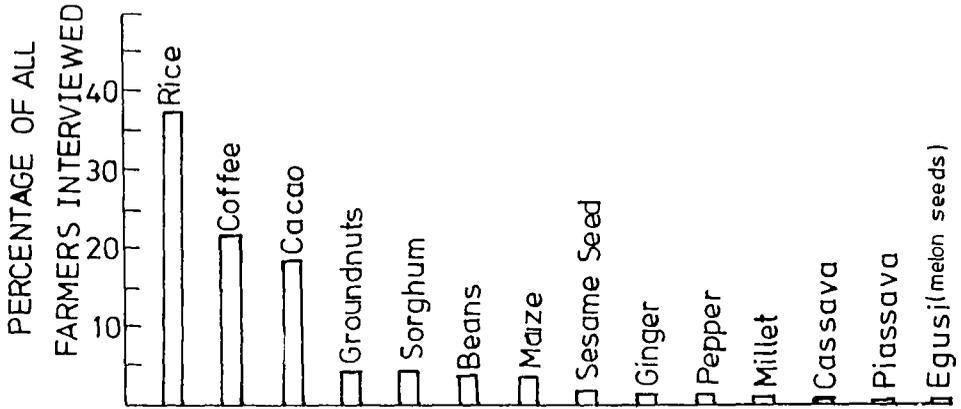


Figure 2. Pourcentage de fermiers pratiquant une culture donnée, par rapport à toutes les personnes interrogées.

récoltes qui figurent dans la figure 2 est expédiée de l'exploitation sous forme sèche, sauf le poivre, les arachides, le maïs et la manioc. Les pourcentages indiqués par les fermiers, concernant la forme sous laquelle ces récoltes sont expédiées, sont les suivants : poivre : 44 % séché, 56 % brut; arachides : 68 % séché, 23 % brut; maïs : 66 % séché, 35 % brut.

Le riz est la denrée de base en Sierra Leone. Le café, le cacao, le gingembre et le piassava sont essentiellement destinés à l'exportation.

La distribution de la taille des exploitations est donnée dans la figure 3 pour différentes cultures. Il se dégage des résultats que le riz, le café et le cacao occupent les plus grandes surfaces, ce qui est normal étant donné l'importance du riz en tant que denrée de base, ainsi que

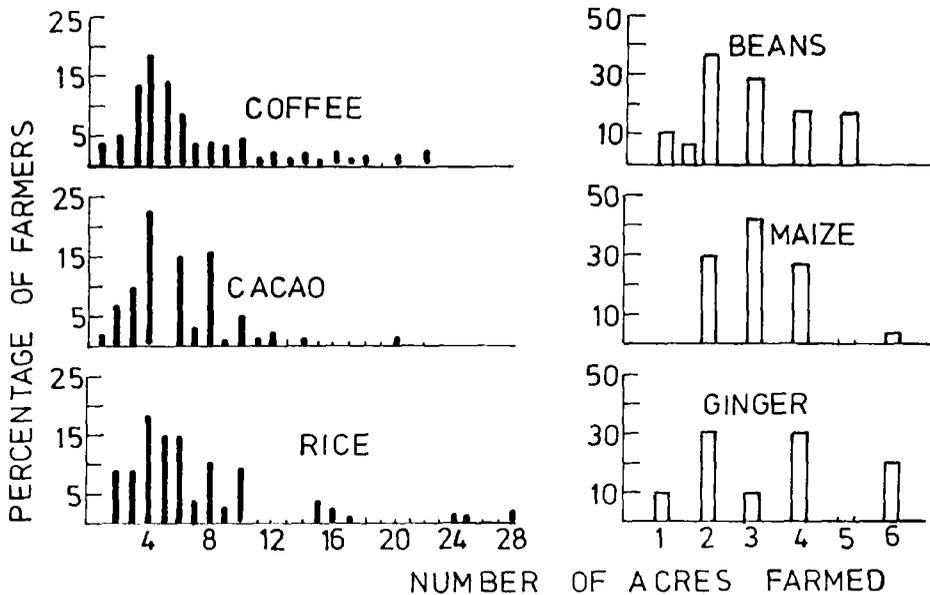


Figure 3. Distribution des surfaces cultivées par type de culture.

celle du café et du cacao en tant qu'exportations. La plupart des autres cultures, non mentionnées dans la figure 3, sont réalisées sur de petites surfaces (environ un hectare). Les cultures mixtes étant pratiquées de façon extensive par les fermiers, les surfaces consacrées à chaque culture sont en général plus petites que celles qui sont indiquées. Elles varient fortement.

Les récoltes se font à différents moments de l'année (Tableau I). Etant donné que la saison des pluies et la saison sèche durent respectivement de mai à septembre et d'octobre à avril, on a remarqué que le riz, le maïs, le poivre, les arachides et le cacao sont récoltés pendant la saison des pluies. L'humidité relative élevée de l'air ambiant (80-100 %) et le faible taux du rayonnement solaire (10-15 MJ/m²/jour) [1], rendent difficile le séchage en plein air pendant la saison des pluies.

Tableau I. Période de récolte des différentes cultures en Sierra Leone

Crops	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
Rice			-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Coffee						-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Cacao		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Groundnuts	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Millet				-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Pepper	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ginger						-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Maize		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sorghum						-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Sesame Seed						-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Méthodes de séchage des cultures

Les fermiers interrogés ont décrit deux méthodes de séchage; en plein air et au-dessus d'un feu. La première consiste à répartir la culture en couche mince par terre ou sur des sols en ciment, à l'extérieur. La deuxième consiste à faire chauffer la récolte dans un réceptacle au-dessus d'un feu ou à la répartir en piles avant le battage et la faire sécher lentement par convection naturelle dans le grenier d'une cabane grâce à la chaleur d'un feu. Les résultats figurent dans la figure 4 et montrent que le séchage à l'air libre est la méthode la plus courante, sauf pour le gingembre. Un faible pourcentage de fermiers stocke le riz dans des coffres traditionnels où il sèche.

Quantités séchées et durée du séchage

La figure 5 indique les quantités séchées par les fermiers en toutes périodes; il convient de noter qu'un boisseau correspond à un volume d'environ 36 litres. Des quantités variables sont séchées selon chaque culture, compte tenu de la large gamme de surfaces cultivées (voir figure 3). Cette large distribution des quantités de cultures séchées a une certaine importance pour la suggestion d'améliorations, comme on le verra par la suite. La durée de la période de

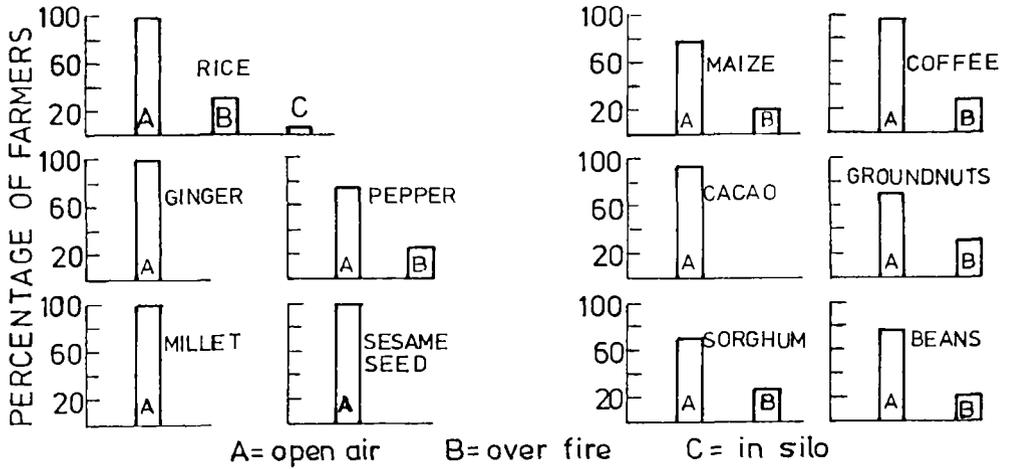


Figure 4. Pourcentage de fermiers, par rapport au total pour chaque culture, utilisant diverses méthodes de séchage.

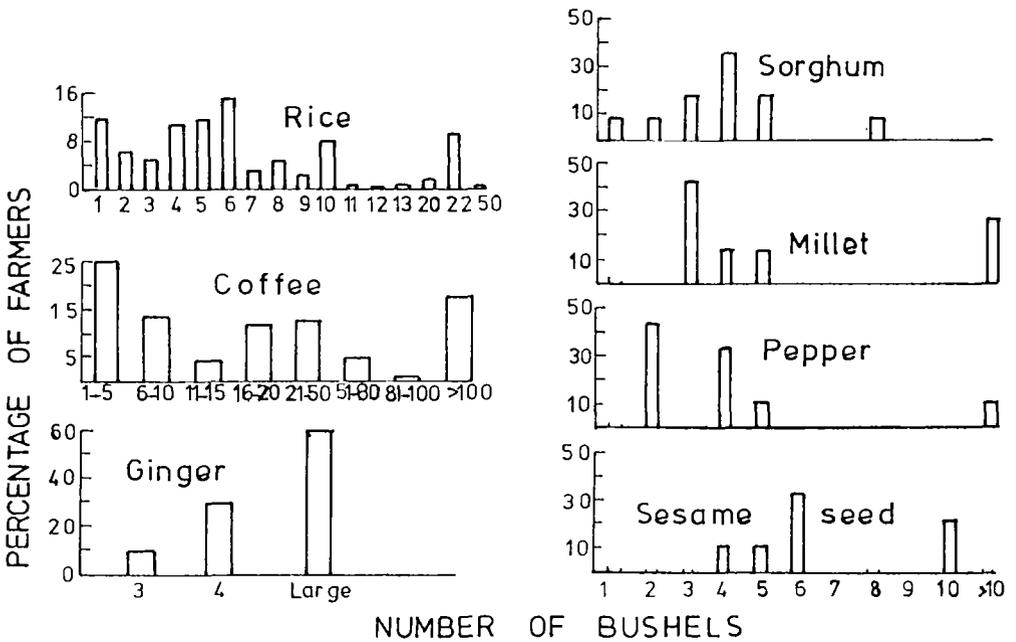


Figure 5. Pourcentage de fermiers, par rapport au total pour chaque culture, pratiquant le séchage de différentes quantités en même temps.

séchage varie considérablement selon les fermiers et c'est également un facteur intéressant (figure 6). Pour une culture donnée en effet, les différences dans la durée de séchage s'expliquent en partie par les différences dans les méthodes de culture et de traitement après récolte. Par exemple, dans le cas du riz, certains fermiers ne le récoltent pas tout de suite afin de pro-

Besoins en séchage

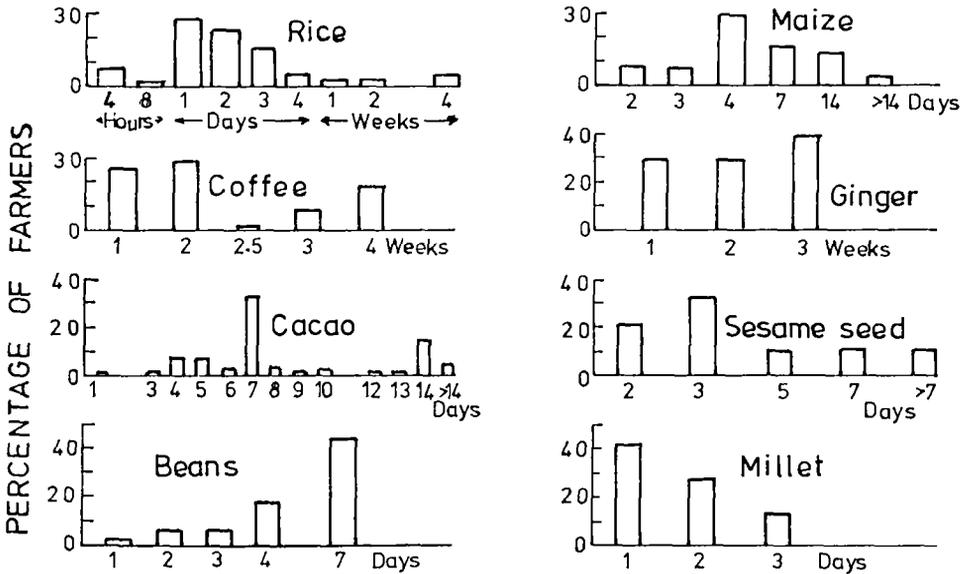


Figure 6. Pourcentage de fermiers, par rapport au total pour chaque culture, indiquant la durée du séchage.

céder à un séchage partiel, puis disposent le riz, une fois récolté, en piles dans la rizière pendant plusieurs jours pour poursuivre le séchage. D'autres pratiquent la récolte plus tôt et font sécher le riz après battage à l'air libre ou le stockent avant battage dans le grenier pour lui permettre de sécher plus longtemps. Chaque fermier a donc une perception différente de la durée de séchage.

Ces résultats indiquent les difficultés rencontrées lorsque l'on essaye d'améliorer le séchage en se fondant sur les informations obtenues par le biais d'enquêtes. Dans la pratique, une compréhension de la situation réelle et de l'opinion personnelle des fermiers est indispensable. Bien que leur interprétation d'une situation donnée puisse ne pas être toujours juste, il est néanmoins nécessaire de comprendre leur point de vue afin de leur fournir des informations précises permettant d'influencer leurs conclusions sur l'efficacité d'un système de séchage amélioré par rapport à ceux qu'ils utilisent traditionnellement. On ne doit donc procéder à une comparaison des systèmes de séchage traditionnels et améliorés qu'après avoir défini clairement l'état physique de la récolte (maturité et taux d'humidité) afin de posséder un point de départ commun. Les fermiers risquent de devoir modifier leurs méthodes d'exploitation afin d'utiliser avec efficacité les systèmes améliorés conseillés. (La majorité des fermiers est disposée à modifier ses pratiques de récolte, si cela permet de réduire les pertes).

Avantages et inconvénients des méthodes de séchage traditionnelles

Les points de vue des fermiers concernant les avantages et les inconvénients du séchage à l'air libre et au-dessus d'un feu figurent dans les Tableaux II et III, lorsque les fermiers n'étaient pas sûrs de la réponse ou quand la question n'était pas pertinente dans leur cas, un espace a été laissé en blanc.

Tableau II. Pourcentage de fermiers, pour chaque récolte, exprimant les avantages et les inconvénients du séchage à l'air libre

Crop	ADVANTAGES					DISADVANTAGES				
	Fast Drying	Good Quality	Dry large Quantities	Cost Low	Insect Infestation	Rain, Wind Animal Losses	Mold Losses	Long Drying Period	Crop Burns	High Cost
Rice	19	25	20	0	4	5	4	9	18	15
Coffee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Groundnuts	17	27	30	7	3	7	3	20	40	7
Sorghum	0	3	10	10	10	3	10	7	13	13
Beans	27	8	8	-	12	4	4	8	4	4
Maize	4	12	-	-	16	12	4	28	20	16
Pepper	11	-	11	-	-	11	11	33	11	-
Sesame Seeds	55	0	0	-	-	-	-	-	55	0
Ginger	-	20	-	-	10	-	-	-	20	-
Millet	-	14	14	-	14	14	0	14	14	14

Tableau III. Pourcentage de fermiers, pour chaque récolte, exprimant les avantages et les inconvénients du séchage au-dessus d'un feu

Crop	ADVANTAGES					DISADVANTAGES				
	Fast Drying	Good Quality	Dry Larger Quantities	Cost Low	Insect Infestation	Rain, Wind Animal Losses	Mold Losses	Long Drying Period	High Cost	
Rice	17	83	83	79	54	78	48	74	0	
Coffee	4	90	79	22	63	65	68	92	18	
Cacao	15	90	92	53	70	78	68	88	4	
Groundnuts	10	97	87	23	43	60	40	70	13	
Sorghum	7	33	7	37	27	37	3	27	7	
Beans	23	89	62	42	89	89	85	85	12	
Maize	24	80	68	4	84	88	76	60	24	
Sesame Seeds	0	55	81	73	36	82	46	72	0	
Ginger	-	90	80	60	100	80	90	80	10	
Pepper	-	56	44	-	77	56	44	100	-	
Millet	-	100	43	14	86	100	71	57	29	

Les fermiers qui pratiquent le séchage en plein air (Tableau II) estiment en général que ce n'est pas une méthode suffisamment rapide. Cependant, ils jugent que la qualité de la récolte séchée est satisfaisante et que ce procédé permet le séchage de grandes quantités. Il est difficile de conclure si les fermiers estiment qu'il s'agit d'une pratique peu onéreuse ou non. L'auteur, pour sa part, pense que les fermiers ne sont pas en mesure d'avoir un jugement exact sur le coût du séchage traditionnel étant donné qu'ils ne peuvent le comparer avec aucune autre méthode.

La majorité des fermiers estime que le séchage traditionnel présente des inconvénients (Tableau II) : pertes dues aux insectes, au vent, à la pluie, à la formation de moisissures, et exigence d'un temps de séchage long. On a remarqué que bien qu'une récolte puisse être de mauvaise qualité en raison de certains des facteurs mentionnés ci-dessus, les fermiers peuvent en être satisfaits tout de même.

Les fermiers estiment en général que le séchage «au-dessus d'un feu» n'est pas avantageux. Il s'agit d'un processus lent et on ne peut pas stocker de grandes quantités dans les greniers en raison de leur architecture qui n'est pas appropriée. Ils considèrent par contre que les inconvénients sont faibles car les récoltes sont protégées de la pluie, de la poussière, du vent et des animaux; de plus, la fumée et la chaleur les maintiennent à un taux d'humidité qui réduit les dommages causés par les insectes. Cependant, les rongeurs sont à l'origine de pertes importantes dans cette formule de stockage. Les récoltes ne risquent d'être brûlées qu'avec le procédé qui consiste à les faire sécher dans des réceptacles au-dessus d'un feu.

Pertes encourues pendant le séchage

Les pertes maximales dues au séchage selon l'évaluation des fermiers, sont indiquées dans la figure 7. Bien que ces chiffres ne correspondent pas toujours à la valeur exacte des pertes, ils reflètent l'opinion des fermiers et indiquent au moins l'importance attachée à ces pertes pour chaque culture. Etant donné la petite superficie des surfaces cultivées, ces pertes sont importantes. Par rapport à la totalité des récoltes, les pertes perçues comme les plus fortes concernent le riz. Cette culture particulièrement importante est séchée dans les rizières et près de la ferme. Les résultats d'une étude en cours en Sierra Leone montrent que des pertes allant jusqu'à 10 % peuvent se produire pendant le séchage traditionnel [2]. Les pertes dont il a été fait

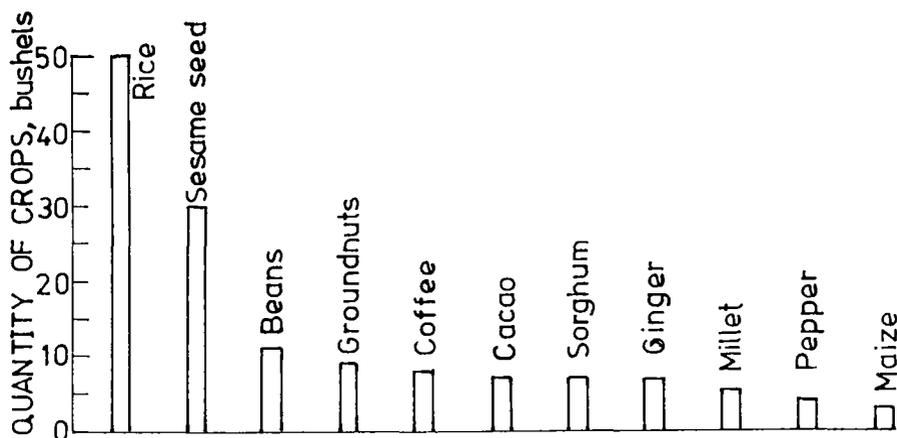


Figure 7. Pertes maximales au cours du séchage après la récolte, évaluées par les fermiers.

état pour les autres récoltes reflètent probablement la réalité mais doivent être confirmées par une évaluation plus précise.

Volonté d'investir dans des systèmes de séchage améliorés

Bien que les fermiers estiment que leurs méthodes de séchage actuelles sont satisfaisantes, ils souhaitent les améliorer et, en majorité (80 %), sont prêts à en subir les frais (fig. 8 et 9). Il convient de signaler qu'en raison de la situation économique prévalant en Sierra Leone, les coûts ont été augmentés d'un facteur 10 environ, ce qui implique que les sommes mentionnées ne correspondent probablement plus à la réalité. Elles indiquent cependant les investissements que les fermiers sont prêts à réaliser en termes relatifs. Les différences entre les sommes que les paysans, pour chaque récolte, envisageraient de déboursier pour l'acquisition d'un séchoir (fig. 8) résultent de la variété de la taille des exploitations et des écarts de revenu qu'implique cette variabilité. Environ 50 % des fermiers prêts à consacrer une certaine somme à des améliorations sont en mesure de réaliser un investissement réaliste (plus de 50 leones au moment de l'enquête) leur permettant d'acquérir un séchoir (fig. 9).

Le nombre de fermiers qui n'ont pas réussi à évaluer avec précision la somme qu'ils seraient en mesure d'investir dans un séchoir (fig. 8) est important pour chaque récolte, et a été considéré comme un refus de payer pour l'acquisition d'un système amélioré. Il s'agit des fermiers ayant les niveaux de production les plus bas. La majeure partie de leurs cultures est vivrière (plus de 40 % des fermiers pour chaque culture, Tableau IV) et ils n'estiment probablement pas nécessaire d'investir leurs faibles ressources dans un système de séchage amélioré. Dans le cas du gingembre, les fortes hésitations des fermiers sur ce point sont

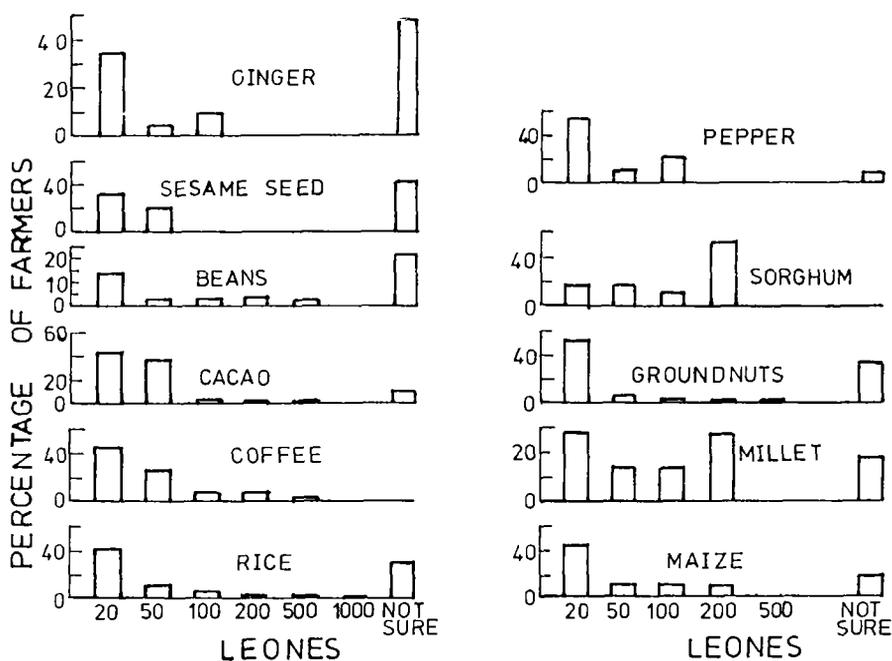


Figure 8. Pourcentage de fermiers, par rapport au total pour chaque culture, disposé à investir certaines sommes dans un séchoir.

Besoins en séchage

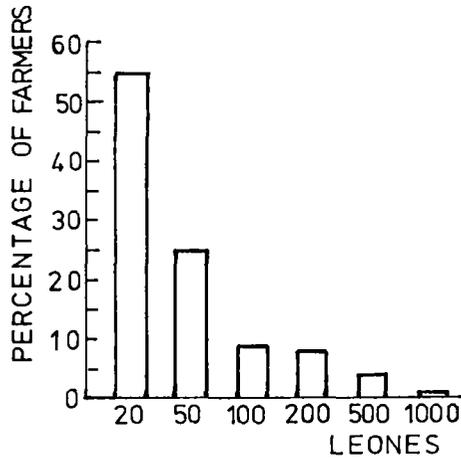


Figure 9. Pourcentage de fermiers, pour toutes les récoltes, disposés à investir certaines sommes dans un séchoir.

probablement dues au fait que le séchage du gingembre n'est pas considéré comme un problème important.

Tableau IV. Pourcentage de cultures vivrières et commerciales.

Cultures	Consommation	Vente
Riz	66	33
Café	12	88
Cacao	5	95
Haricots	41	59
Graines de sésame	50	50
Gingembre	9	91
Poivre	47	53
Sorgho	50	50
Arachides	39	61
Mil	50	50
Mais	44	51

Importance des résultats pour le développement de systèmes de séchage améliorés

Les résultats de cette étude montrent que les fermiers souhaitent en général améliorer les systèmes traditionnels afin de traiter de plus grandes quantités et de réduire les pertes. Le riz est la culture la plus importante nécessitant un séchage mais d'autres cultures pourraient avoir un rôle important dans la viabilité économique d'un système de séchage amélioré, car bien souvent la même exploitation pratique des cultures multiples. Des cultures de rente comme le riz, le cacao, le café, le gingembre, les arachides, le poivre et les haricots pourraient intervenir dans le choix de l'utilisation d'un séchoir. Les séchoirs mis au point devraient pouvoir être utilisés, en raison de la diversité des cultures, pour plusieurs d'entre elles et devraient être directs ou indirects étant donné les différentes température requises selon le type de culture.

Etant donné le faible revenu des fermiers et l'absence d'électricité pour alimenter des ventilateurs, il doit s'agir de séchoirs à flux naturel. Il faut qu'ils supportent un taux d'humidité semblable à celui qui prévaut pendant la saison des pluies. De plus, ils doivent être construits dans des matériaux locaux et bon marché et il faut que les fermiers soient en mesure de les construire et de les réparer. La diversité des quantités à sécher rend souhaitable l'introduction de séchoirs modulables afin de satisfaire les besoins d'une grande variété d'utilisateurs.

Les séchoirs solaires doivent concurrencer de façon efficace les méthodes de séchage traditionnelles. Il faudra convaincre les fermiers de l'amélioration du temps de séchage réel des cultures parvenues à maturité après la récolte. Il sera nécessaire de comparer la durée du séchage avec les deux méthodes et montrer les avantages, par exemple, d'une récolte anticipée et de l'utilisation du séchoir pour diminuer les pertes et améliorer la qualité.

Conclusions

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de cette étude :

- Le séchage traditionnel à l'air libre est la méthode dominante de séchage des cultures en Sierra Leone.
- Parmi les cultures qui nécessitent un séchage figurent le riz, le café, le cacao, les arachides, le sorgho, les haricots, le maïs, le gingembre, les graines de sésame et le poivre.
- Un nombre important de cultures est séché pendant la saison des pluies à un moment où existe un risque élevé de pertes substantielles.
- Les quantités séchées varient énormément et dépendent du niveau de revenu du fermier.
- Les séchoirs améliorés, étant donné les quantités et types de cultures différents, devraient donc être modulables et à convection naturelle directe ou indirecte.
- Tous les fermiers souhaitent effectivement améliorer leurs méthodes de séchage, de façon à en réduire la durée, à diminuer les pertes et à traiter des quantités plus importantes.
- 80 % des fermiers sont disposés à investir dans des systèmes de séchage améliorés mais seulement 45 % environ de ces derniers ont les moyens d'acquérir un séchoir solaire.
- Il faudra convaincre les fermiers de l'efficacité des méthodes de séchage améliorées, étant donné que certaines de leurs opinions concernant le séchage, comme par exemple sa durée, sont assez subjectives.
- Les séchoirs solaires destinés aux zones rurales devraient être construits dans des matériaux locaux bon marché mais durables afin de minimiser leur coût et d'en augmenter les chances d'acceptation.

Remerciements. Le présent travail a bénéficié des fonds destinés à la recherche du Centre de Recherche pour le Développement International (Canada) et a été réalisé à l'Université de Sierra Leone. Nous remercions tout particulièrement Mr Sullay Kamara et ses élèves de leurs efforts pour rassembler les données utilisées dans cette étude.

Références

1. Bassey MW. (1982). Potential use and performance of indirect free convective solar crop dryers in Sierra Leone. Final Report, IDRC Research Project No. 3-P-78-0113, Department of Mechanical Engineering, University of Sierra Leone.
2. Koroma EY. (1987). Communication on on-going pre-storage loss assessment studies. Rice Research Station, Sierra Leone.

8

Innovations dans les technologies de séchage des grains

Y.W. JEON, S.L. HALOS, A.R. ELEPANO

Agricultural Engineering Department, International Rice Research Institute (IRRI), PO Box 933, Manila, Philippines

Résumé

Cette communication présente un tour d'horizon des recherches sur le séchage et son développement dans le Sud et le Sud-Est Asiatique.

En dépit du fait que de nombreux types de séchoirs mécaniques aient été introduits récemment sur le marché, aucun n'est populaire chez les producteurs de Riz. Le séchage au soleil prévaut dans la plus grande partie de l'Asie.

Le département Ingénierie Agricole de l'Institut International de Recherche sur le Riz, chargé du développement des séchoirs, a établi des critères de construction pour ceux-ci et a développé des systèmes appropriés pour une utilisation dans les pays en voie de développement.

Basé sur des expériences, un ensemble de critères de construction a été établi en fonction des capacités des fermiers et des nécessités du séchage. Les séchoirs devraient dès lors avoir les caractéristiques suivantes : multi-fonction, capacité de séchage facilement ajustable, utilisation de sources d'énergie non conventionnelles et de matériaux de construction locaux, maniement et maintenance simples et devront enfin être d'un coût économiquement abordable pour les fermiers.

Deux options pratiques utilisables pour le séchage dans les pays en voie de développement sont les séchoirs de type magasin à convection naturelle et les séchoirs rotatifs à flux continu par conduction de l'IRRI.

Introduction

La croissance de la capacité de production de riz dans les pays du Sud et du Sud-Est Asiatique a soulevé le problème important des pertes après récolte. Plusieurs experts ont estimé que ces pertes se situaient aux alentours de pourcentages allant jusqu'à 40 % (FAO, 1978). Le séchage est à l'origine de jusqu'à 5 % de ces pertes (Tableau I), car il est effectué trop tard et de façon inadéquate.

Afin de diminuer ces pertes après la récolte, la mise au point de techniques de séchage des grains a fait l'objet de nombreuses études au cours des deux dernières décennies. Cette recherche s'est orientée sur deux voies différentes : les techniques traditionnelles (séchage au soleil) et les techniques scientifiques (séchage artificiel ou mécanique).

La technologie traditionnelle est basée sur de nombreuses années d'expérience et comme il s'agit justement de «traditions», il est difficile de les adapter au processus de mécanisation. Il s'agit de techniques courantes dans les pays en voie de développement. Par ailleurs, si la technologie scientifique se fonde sur des théories établies, elle est par conséquent facile à modifier pour s'adapter à une situation «idéale». Cette technologie donne de bons résultats dans les pays développés.

La situation dans les pays en voie de développement ne permet pas l'adoption immédiate de séchoirs mécaniques. Le fossé technologique qui sépare pays en voie de développement et pays développés devra être comblé avant que l'introduction de ces techniques puisse être couronnée de succès.

Les séchoirs mécaniques, pour la plupart, nécessitent un investissement important et leur coût élevé d'utilisation est devenu prohibitif. Des compétences techniques sont également nécessaires pour permettre la réussite de l'introduction de cette technologie. Ces compétences n'existent pas dans les pays en voie de développement.

Bien qu'il existe déjà de nombreuses techniques de séchage, il est cependant nécessaire de mettre au point des séchoirs mieux adaptés à la situation prévalant dans les pays en voie de développement.

Systèmes et techniques de séchage des grains

Séchage au soleil

Le séchage au soleil des grains est pratiqué depuis quasiment aussi longtemps que l'on cultive des céréales pour l'alimentation. Les grains sont disposés sur des surfaces plates et sèches en fines couches, sous le soleil, et remués ou ratissés occasionnellement jusqu'à ce qu'ils sèchent. Le riz non décortiqué est parfois mis à sécher en piles dans les rizières.

Le séchage au soleil demande un investissement foncier. Cependant, aux Philippines, les cours des écoles, les trottoirs et les routes bétonnées sont couramment utilisés de telle sorte que les coûts du séchage se limitent aux frais directs de main-d'œuvre.

Les pertes quantitatives se produisant pendant le séchage au soleil sont dues aux animaux, aux oiseaux et à de mauvaises manipulations. Cependant, des pertes plus graves sont provoquées par la production de grains cassés après mouture. Etant donné que le séchage dépend fortement des conditions météorologiques, la qualité du riz non décortiqué y est également

soumise. Les grains risquent d'être fractionnés en raison de la ré-humidification et du re-séchage causés par une brusque chute de pluie.

En dépit de ses lacunes, le séchage au soleil est le plus courant et continuera de l'être dans l'industrie céréalière pendant encore longtemps, car il est considéré comme une technique de «faible» coût par rapport aux séchoirs mécaniques existant à l'heure actuelle. On se préoccupe également d'améliorer les techniques de séchage au soleil.

Séchage artificiel

Il s'agit en fait de séchage mécanique. Il est recommandé de le substituer au séchage au soleil surtout dans les régions où la récolte des céréales coïncide avec la saison des pluies. Les séchoirs mécaniques consistent essentiellement en un équipement permettant de chauffer l'air pour augmenter sa capacité de réduction de l'humidité, de rassembler la masse de grains et de souffler de l'air dans cette masse.

Les séchoirs les plus populaires comprennent les séchoirs «batch», les séchoirs à recirculation et les séchoirs à flux continu [5].

Séchoirs «batch»

Le *séchoir à fond plat de type courant* (fig. 1) possède une structure à casiers avec un double fond perforé et surélevé dans lequel les grains sont chargés jusqu'à hauteur de 46 cm (la capacité totale est en général de 1 à 2 tonnes). De l'air chaud est soufflé dans une chambre de répartition d'air puis dans la masse de grains. Le séchage continue jusqu'à réduction du taux d'humidité à environ 14 %.

Le *séchoir «batch» à casier vertical* (fig. 2) a une capacité de 2 tonnes et a été mis au point par l'IRRI en 1978. Il fonctionne de façon plus efficace que le précédent. Le casier est divisé par des lucarnes en trois compartiments verticaux, le compartiment central étant la chambre de répartition d'air et les deux autres servant à contenir les grains.

Séchoirs «batch» à recirculation

On charge le séchoir (fig. 3) d'un lot de riz non décortiqué mouillé qui circule pendant toute la durée du séchage.

Ce séchoir nécessite un taux de circulation de l'air élevé et celui-ci doit être d'une température plus élevée (60 à 80°C). Il permet un séchage rapide et son efficacité est due au mouvement perpétuel du riz. La capacité de séchage est également plus élevée mais il demande un investissement beaucoup plus important. Le coût de fonctionnement est également plus élevé car il possède beaucoup de pièces en mouvement et nécessite du matériel de transfert.

Séchoirs à flux continu

Ils possèdent un casier dans la partie supérieure et une haute section de séchage. Les mécanismes de chauffage et de soufflerie conduisent l'air chaud à travers la masse de riz dans la section de séchage.

Ces séchoirs ont la plus grande capacité de séchage. Ils ne peuvent cependant être utilisés que conjointement avec du matériel de transfert, ce qui implique la manipulation et le stockage de grandes quantités de riz. On les classe en général en deux catégories : type sans mélange et type à mélange.

Séchoir sans mélange. La figure 4 représente la coupe transversale d'un tel type de séchoir. Le séchage s'effectue entre deux parois parallèles séparées par 15 à 25 cm. Le modèle Shanzer est l'exemple typique de ce genre de séchoirs.

Séchoir à mélange. Un exemple de séchoir à mélange à déflecteur est représenté dans la figure 5. La disposition des déflecteurs alternés permet au riz de se mélanger tandis qu'il circule vers le bas. C'est un procédé couramment utilisé dans les systèmes de séchage intermittents. Il existe également des modèles équipés d'une colonne en zig-zag enserrée dans des parois de chaque côté pour permettre au mélange de s'effectuer pendant le séchage.

L'Université de l'Etat de Louisiane (LSU) a mis au point un séchoir qui est représenté dans la figure 6 et constitue le séchoir à flux continu le plus populaire. Il est composé de compartiments verticaux possédant des rangées de canaux d'air dont la forme est celle d'un V à l'envers. Dans ces rangées, les arrivées d'air alternent avec les sorties, espacées pour permettre le mélange. Au fur et à mesure que la céréale descend dans le séchoir, elle est fortement mélangée.

Les séchoirs à mélange utilisent en général un air à température plus élevée et à vitesse moins grande que les séchoirs sans mélange.

Stratégies de l'IRRI

La préoccupation principale des spécialistes de la mise au point de technique de séchage est de fournir un matériel qui diminuera les risques dus au séchage du riz. De tels spécialistes, dans le cas des pays en voie de développement, doivent être sensibles aux besoins de la région et à ses caractéristiques économiques, sociales et politiques qui influencent directement ou indirectement l'adoption du système. Il s'agit donc d'un processus purement empirique, qui demande du temps. Les techniques traditionnelles se développent en général de cette façon. La base théorique de ces techniques est faible et celles-ci doivent donc s'intégrer à un ensemble de recherche et de développement.

Le Service d'Ingénierie Agricole de l'IRRI essaie de mettre au point du matériel agricole de petite taille pour les fermiers, par le biais d'une démarche de participation à la recherche et au développement technologiques. Les expériences passées ont montré que les techniques potentielles sont mises au point grâce à une collaboration entre l'utilisateur final (le fermier) et le chercheur.

Le concept de démarche «holiste» permet également de mettre au point des techniques dont l'impact sur le système social peut être mieux évalué. La mise au point des séchoirs, au sein du service, fait partie de tout un programme concernant la mise au point de techniques intervenant après la récolte.

Dans ce contexte, plusieurs facteurs ou critères ont été considérés afin de mettre au point un système de séchage approprié, en particulier pour les pays en voie de développement. Ces critères ont été définis grâce à des échanges avec des fermiers de régions rurales qui ont permis de connaître leurs besoins en matière de séchage.

Critère de conception des séchoirs de l'IRRI

Comme il a été dit plus haut, la conception de séchoirs destinés aux exploitations agricoles rurales dans les pays en voie de développement est purement empirique mais doit néanmoins

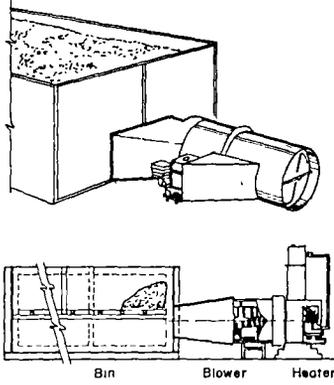


Figure 1. Séchoir «batch» à fond plat.

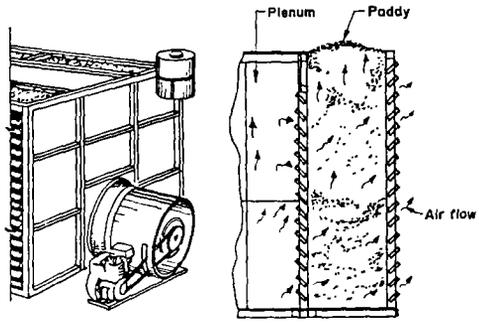


Figure 2. Séchoir «batch» à casier vertical.

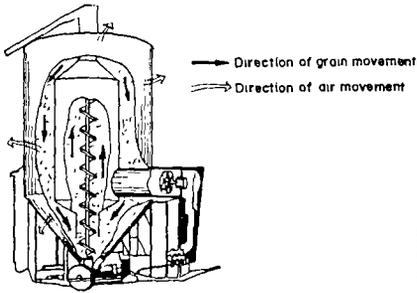


Figure 3. Séchoir à recirculation.

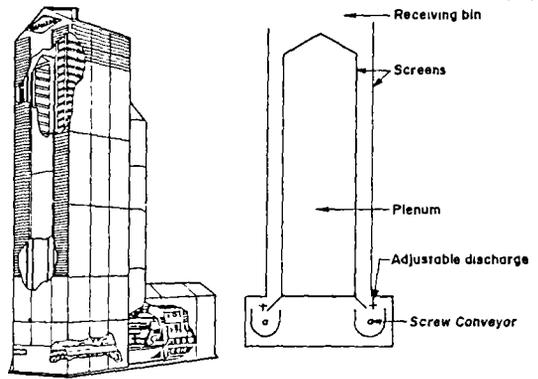


Figure 4. Séchoir à flux continu sans mélange.

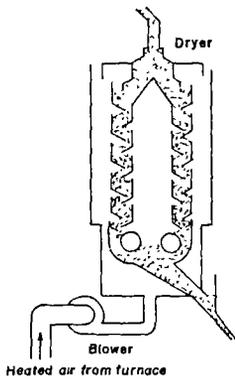


Figure 5. Séchoir à flux continu à défecteur.

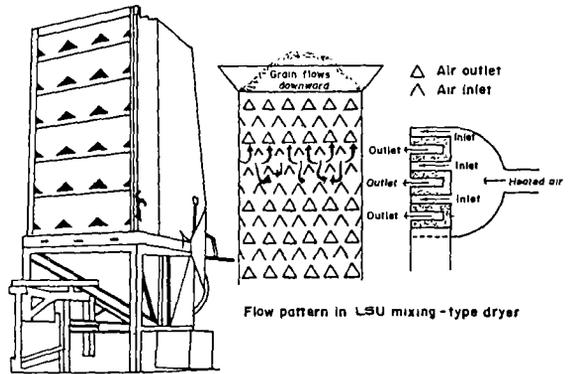


Figure 6. Séchoir à flux continu type LSU.

être corroborée par une recherche appliquée. En se fondant sur l'expérience, les critères avancés pour la conception de séchoirs se limitent essentiellement aux capacités de l'exploitation et les besoins de séchage.

Type de séchoir

Un système de séchage qui permettra de conserver le produit pendant un certain temps, jusqu'à ce que son prix augmente, constitue bien entendu une solution plus séduisante pour le fermier. C'est pour cette raison que des séchoirs polyvalents sont proposés. Les fermiers ont la possibilité de sécher et de stocker leurs produits soit individuellement, soit en groupe, le séchoir est également conçu pour accueillir différents types de denrées dans un même lot.

Echelle de modèles

Elle doit correspondre au volume de riz non décortiqué fourni par l'exploitation individuelle. Bien qu'il y ait un plus grand volume de riz disponible collectivement, le problème de le collecter dans un même temps et sans délai mérite la plus grande attention. Lorsque la diminution des pertes et l'amélioration de la qualité sont les considérations les plus importantes, alors il est préférable que le séchage s'effectue individuellement au sein de l'exploitation. Bien que la taille des communautés et les conditions géographiques ne soient pas uniformes, la solution la plus pratique, à l'heure actuelle, consiste à construire des unités de petite et moyenne taille. On ne peut envisager de modèles de grande échelle dès maintenant en raison de l'infrastructure routière et du capital dont peuvent disposer les utilisateurs potentiels.

Capacité des séchoirs

Bien qu'il existe un marché pour le riz non décortiqué mouillé aux Philippines et dans d'autres régions du Sud et du Sud-Est Asiatique, la qualité et la quantité de riz non décortiqué produit par chaque exploitation varient (taux d'humidité, variété, pureté, etc.). Ceci pose un problème pour l'utilisation d'un système de séchage à grande échelle. Par conséquent, les séchoirs ayant une capacité adéquate à l'utilisation individuelle constituent, pour l'heure, la meilleure solution. Pour déterminer cette capacité, il faut se fonder sur la production moyenne mais aussi tenir compte des fluctuations susceptibles de se produire.

Combustibles et sources d'alimentation

Compte tenu de l'augmentation vertigineuse du prix des hydrocarbures, surtout dans la plupart des pays en voie de développement qui importent ce type d'énergie, il faut inévitablement s'orienter vers des sources d'énergie non conventionnelles tels que les déchets agricoles et l'énergie éolienne. Elles existent en quantités abondantes dans toute l'Asie; elles sont des sources d'énergie tout à fait fiables pour toute application, pourvu que les techniques d'exploitation soient fournies. Par conséquent, la recherche s'est concentrée sur la mise au point de systèmes de conversion des déchets agricoles en énergie de chauffage et de conversion de l'énergie éolienne en énergie mécanique. Ces deux innovations ont énormément contribué à la mise au point de séchoirs utilisant des sources d'énergie non conventionnelles.

Matériaux de construction

On peut trouver de nombreux matériaux de construction locaux dans les communautés rurales. Les techniques utilisant ces matériaux et la créativité des fermiers ne sont pas onéreuses.

Les matériaux disponibles sont le bambou, les enveloppes et la paille de riz, la partie centrale des noix de coco, etc. Les briques utilisées pour les chaudières par exemple, peuvent être fabriquées en mélangeant de la terre ordinaire avec des enveloppes de riz réduites en cendres; le système d'isolation du séchoir peut consister en un plâtre obtenu en mélangeant de la boue et de la paille tandis que les plateaux de séchage peuvent être constitués par du bambou tressé ou de la noix de coco. Il faut donc rester modeste et étudier les systèmes de traitement actuels qui serviront de point de départ à un travail d'amélioration. Il serait en effet difficile d'importer des techniques qui en général demandent de très grandes compétences en matière de soudure ou de ferblanterie pour construire, modifier ou réparer les pièces. Les matériaux locaux, disponibles dans la région, offrent de nombreuses possibilités d'amélioration des systèmes par les fermiers eux-mêmes.

Main-d'œuvre

La main d'œuvre est particulièrement abondante et bon marché dans les zones rurales. Il ne convient pas d'introduire des techniques permettant de réduire la main-d'œuvre dans ces régions, à moins de pouvoir la réaffecter à d'autres tâches. A l'heure actuelle, les techniques qui nécessitent l'emploi de beaucoup d'ouvriers sont à conseiller pour les régions où l'offre d'emploi est faible.

Environnement socio-culturel

La technologie représente beaucoup plus qu'une simple ressource ou connaissance. Elle inclut tout le système technique, économique, institutionnel, social et politique qui est à la base d'une société. Donc toute tentative de développement d'un système de séchage doit s'adapter à l'environnement socio-politique pour que l'introduction en soit réussie. Celle-ci doit être perçue comme un encouragement au développement rural. Elle ne doit en aucun cas diviser la population sur la question de savoir qui va en bénéficier ou non. Les critères de conception d'un séchoir décrits ci-dessus peuvent donc être résumés de la façon suivante.

Le séchoir doit :

1. Être polyvalent; il doit être en mesure de sécher différents produits séparément dans un seul lot et les stocker après séchage.
2. S'adapter aux différentes capacités en tenant compte des variations du volume et de la qualité de la production.
3. Utiliser des sources d'énergie non conventionnelles telles que les déchets agricoles et l'énergie éolienne, étant donné le manque d'hydrocarbures et la mauvaise fiabilité de l'alimentation en électricité dans les exploitations les plus isolées.
4. Être simple afin de pouvoir être construit à partir de matériaux locaux par les fermiers eux-mêmes ou dans de petites fonderies locales.
5. Utiliser beaucoup de main-d'œuvre de façon à procurer des emplois pour les travailleurs agricoles sans emploi.

6. Enfin, être viable du point de vue social, économique et technique, de façon à ce que les fermiers aient les moyens de réaliser l'investissement initial et les contributions techniques nécessaires à la réduction des pertes et à l'amélioration de la qualité.

Il est cependant difficile de concevoir un séchoir qui remplisse toutes ces conditions. On propose de choisir le type de séchoir le plus adéquat en fonction du critère central.

Tableau I. Pertes en riz après la récolte (FAO, 1978).

Région et pays	Pourcentage total, perte en poids	Commentaires
Afrique Occidentale	6-24	Séchage 1-2, stockage dans l'exploitation 2-10, ébullition 1-2, mouture 2-10
Sierra Leone	10	
Ouganda	11	
Rwanda	9	
Soudan	17	Stockage central
Egypte	2,5	
Bangladesh	7	
Inde	6	Stockage non précisé
	3-5,5	Stockage traditionnel amélioré
Indonésie	6-17	Séchage 2, stockage 2-5
Malaisie	17-25	Stockage central 6, battage 5-13 séchage 2, stockage dans l'exploitation 15, manipulation 6
Népal	4-22	Dans l'exploitation 3-4, stockage dans l'exploitation 15, central 1-3
Pakistan	7	Stockage non précisé 5
	2-6	Stockage non précisé 2
	5-10	Stockage non précisé 5-10
Philippines	9-34	Séchage 1-5, stockage non précisé 2-6, battage 2-6
	→30	Atelier de Malaisie
	3-10	Manipulation
Sri Lanka	13-40	Séchage 1-5, stockage central 6,5, battage 2-6
	6-18	Séchage 1-3, stockage dans l'exploitation 2-6, mouture 2-6, ébullition 1-3.
Thaïlande	8-14	Stockage dans l'exploitation 1,5-3,5, central 1,5-3,5
	12-25	Stockage dans l'exploitation 2-15, manipulation 10
Belize	20-30	Stockage dans l'exploitation
Bolivie	16	Dans l'exploitation 2, séchage 5, stockage non précisé 7
Brésil	1-30	Stockage non précisé 1-30
République Dominicaine	6,5	Stockage dans l'exploitation 3, stockage central 0,3

Innovation de l'IRRI en matière de séchage des grains

Les séchoirs mis au point par l'IRRI se caractérisent de la façon suivante : ils sont polyvalents et utilisent des sources d'énergie non conventionnelles. Le développement part de la conception d'une chaudière à tube central alimentée par des enveloppes de riz et capable par la suite d'être alimentée par d'autres formes de déchets agricoles. Ceci a été suivi d'une étude approfondie des principes aérodynamiques et de conception et du test d'une éolienne en vortex pour favoriser l'aération ou la ventilation de toute structure. Ceci a été estimé satisfaisant pour les séchoirs à convection naturelle, ce qui permet d'éliminer l'utilisation de souffleries mécaniques.

Le travail a ensuite consisté en la mise au point des plateaux recevant le produit; depuis des paniers plats et horizontaux jusqu'à des casiers verticaux équipés de lucarnes ajustables. Ceci a été réalisé en ayant à l'esprit toutes les possibilités pour que le séchoir soit ajustable et permette de traiter différents types de produits dans des lots séparés, dans un même batch. Ces composants ont été intégrés et l'on a abouti au système de séchage de type magasin dont le concept a été introduit en 1983 [2, 3].

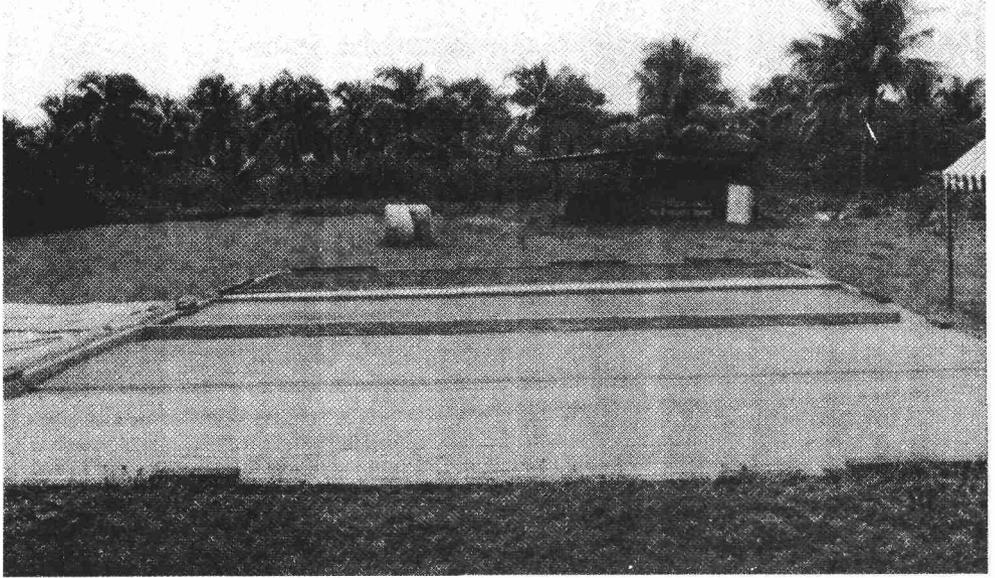
La recherche s'est alors orientée vers l'amélioration des systèmes de conversion de l'énergie : analyse du mécanisme éolien d'aération en vortex, recherche de la meilleure utilisation des matériaux de construction locaux et essais sur le terrain. La recherche en matière de séchage au soleil n'a pas été négligée non plus. Une étude sur son amélioration est en cours.

Divers autres séchoirs ont été mis au point pour s'adapter à plusieurs environnements représentatifs dans les communautés rurales et sont brièvement décrits dans l'annexe I avec les photographies correspondantes (page 80).

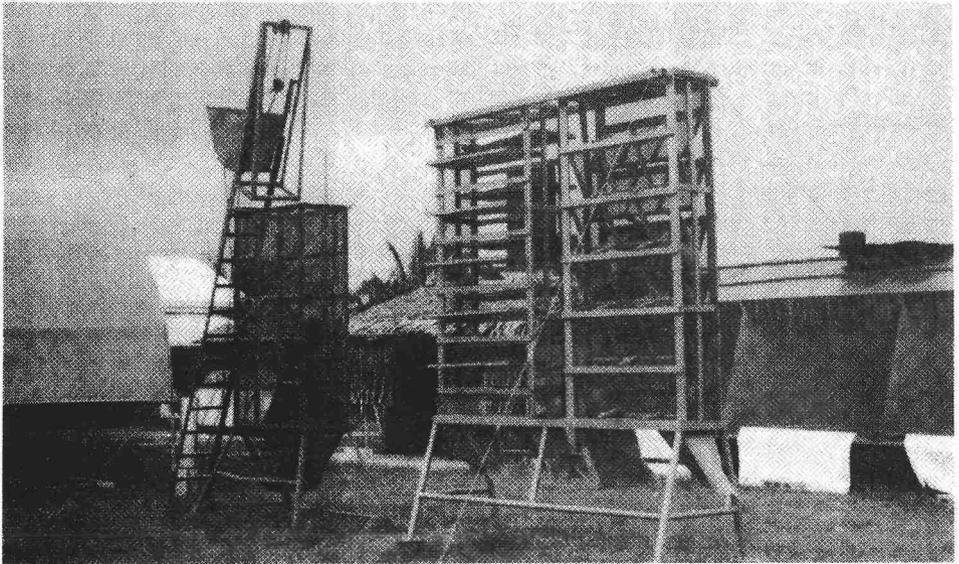
Références

1. Araullo EV, de Padua, DB, Graham M. (1976). Rice post-harvest technology. IDRC-053e. Canada.
2. Jeon YW, Halos LS, Bockhop CW. (1983). Design and performance of a multi-purpose dryer using non-conventional energy sources. 33rd Annual Convention of the Philippine Society of Agricultural Engineers. VISCA, Baybay, Leyte. 28-29 April.
3. Jeon YW, Halos LS, Bockhop CW (1984). A warehouse type dryer for drying and storing agricultural commodities. 10th international. Congress of Agricultural Engineering, International Commission of Agricultural Engineering. Budapest 3-7 September.
4. FAO. (1978). FAO Action program for the prevention of food losses : Guidelines and procedures. FAO Bulletin W/L 2783, Rome.
5. Wimberly JE. (1983). Technical handbook for paddy rice post-harvest industry in developing countries. IRRI, Los Raños, Laguna, Philippines.

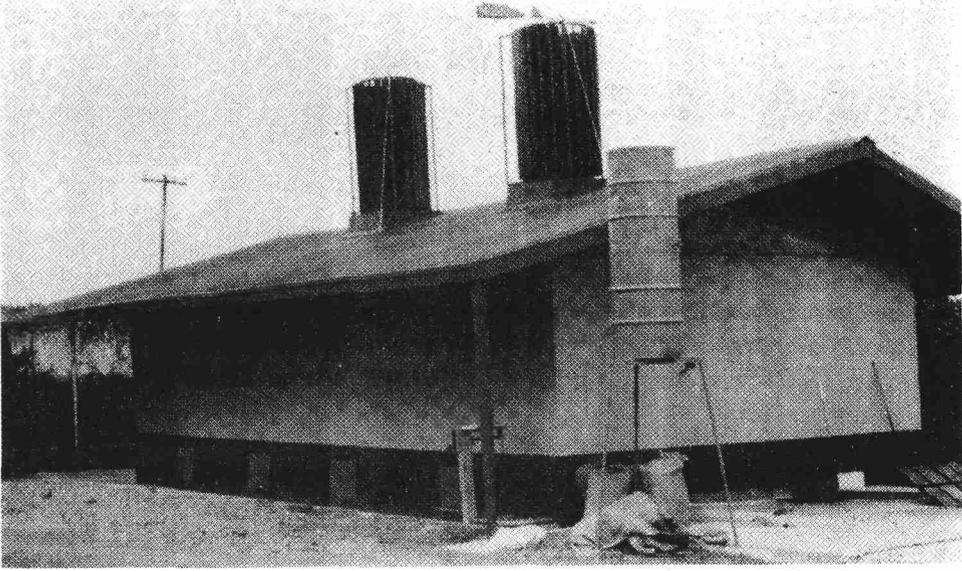
Annexe 1



A1. Amélioration des techniques de séchage solaire grâce à l'utilisation de différents matériaux pour la surface de séchage : béton, filet de plastique, toile, etc. La modulation des intervalles, de l'épaisseur de la couche de grain et de la durée du séchage fait également partie des études en cours au sein du service.



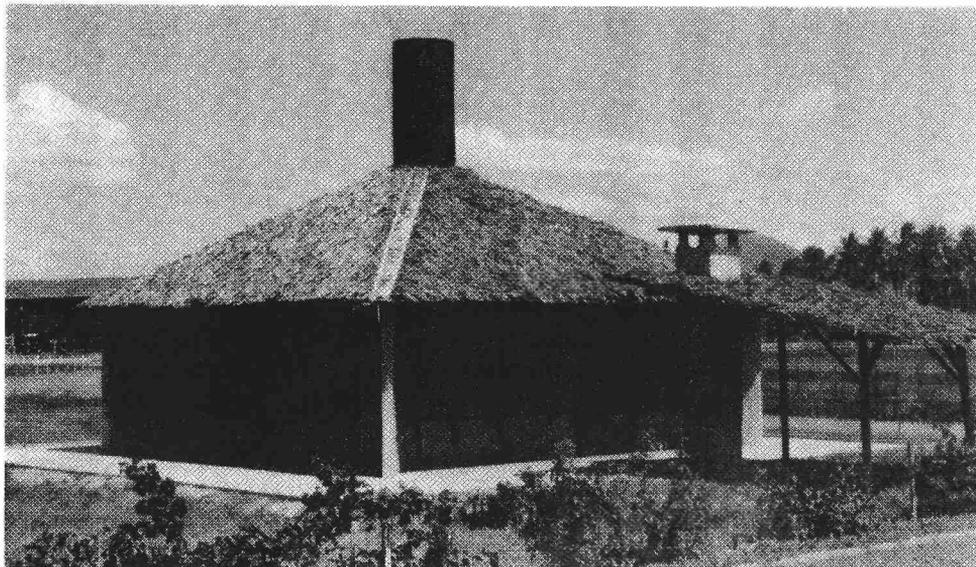
A2. Étude des composants du séchoir, pour en améliorer l'efficacité : ici, des plateaux verticaux destinés à recevoir le produit sont présentés; ils s'accompagnent d'une poulie permettant d'actionner manuellement un seau, ce qui augmente la capacité de séchage par rapport au séchage sur sol. Les plateaux verticaux peuvent être construits pour servir de plateaux de séchage solaire portables ou de composants dans un système de type magasin.



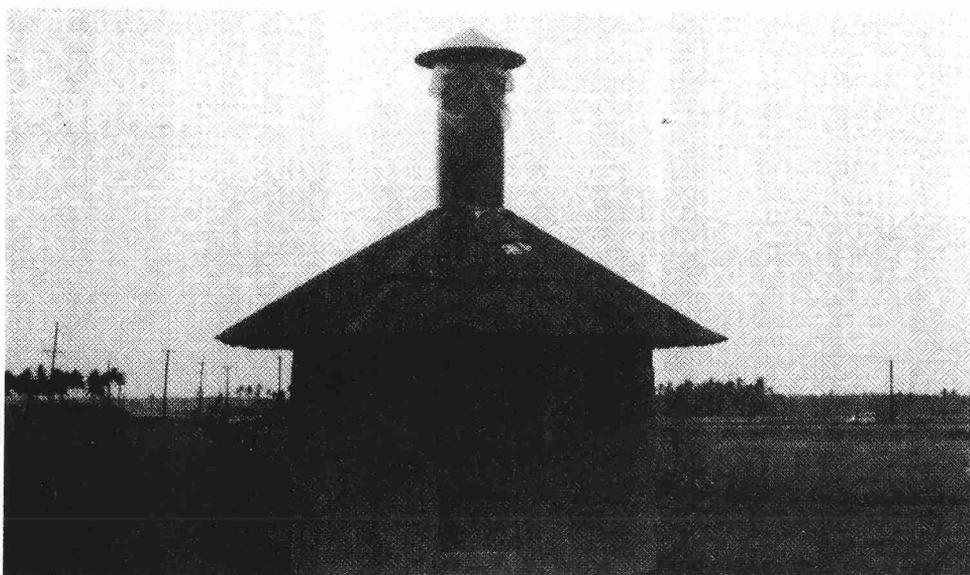
A3. Ce prototype de séchoir de type magasin de l'IRRI a une capacité de 8 tonnes et est équipé d'un mécanisme d'aération en vortex pour attirer l'air dans le magasin, d'une chaudière à tube central pour la chaleur et de plateaux disposés en deux rangées parallèles à l'intérieur. Cette unité convient pour une utilisation collective.



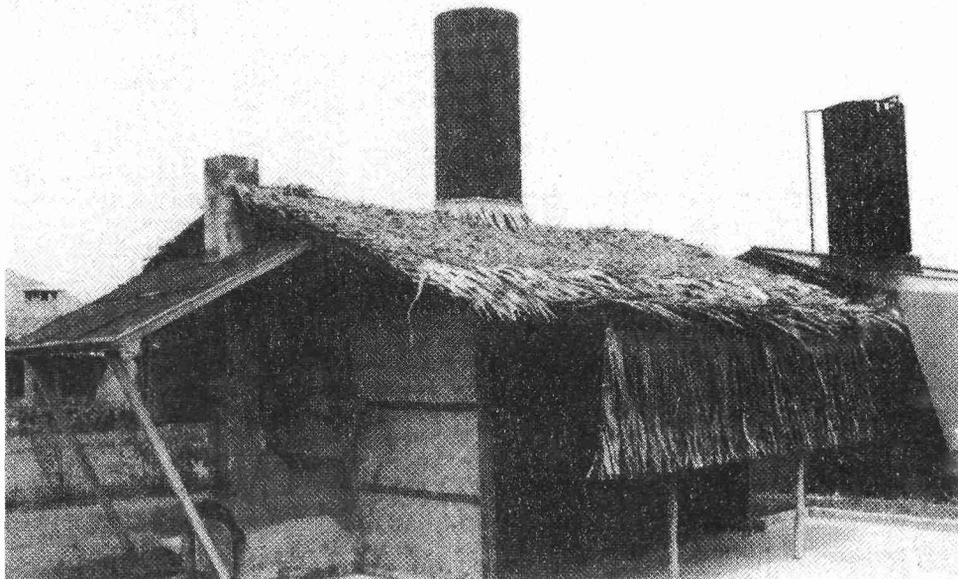
A4. Ce séchoir magasin de type «serre» possède un système de ventilation naturelle, un système de séchage solaire et artificiel avec une capacité accrue. Le toit peut être constitué par des feuilles de plastique transparentes ou des nattes de bambou («sawali») recouvertes d'asphalte si l'on veut qu'elles servent à capter l'énergie solaire. L'utilisation est bien adaptée aux conditions locales. Le combustible permettant le séchage artificiel est essentiellement à base de déchets agricoles et les matériaux de construction sont le bambou, le nipa et le bois existant dans la région.



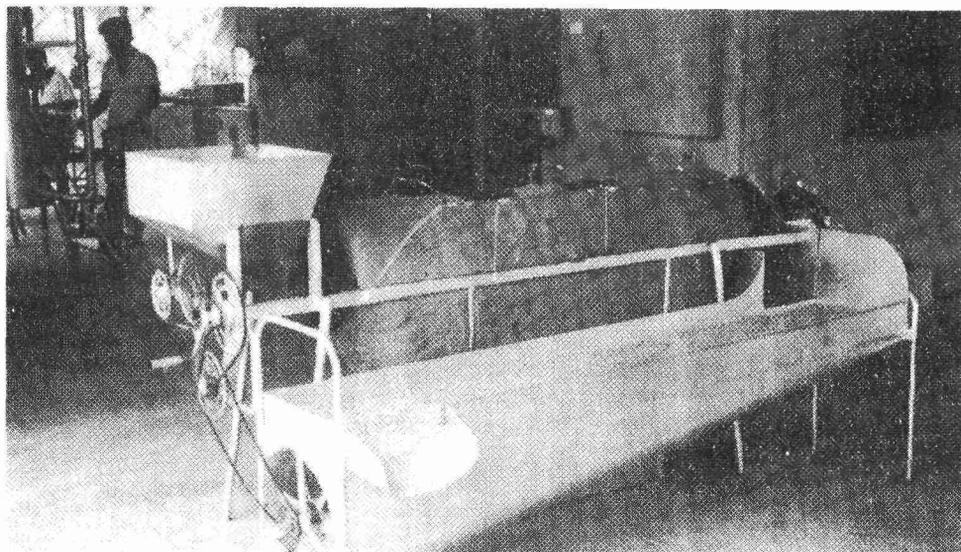
A5. Ce séchoir de type magasin «à ailes» permet de mieux sécher et stocker le produit grâce à son aération améliorée et à son espace de travail s'adaptant à toutes les conditions météorologiques. Les murs qui prolongent les quatre coins du magasin servent à capter l'énergie éolienne pour améliorer l'efficacité d'utilisation de ce type d'énergie.



A6. Un séchoir à silo modulable permettant de stocker les grains. La cheminée sert à évacuer l'air chaud pour éviter que les grains ne soient abîmés. Le double plancher est perforé de façon à ce que l'air chaud ou froid puisse être insufflé par en bas.



A7. Un séchoir de type magasin pour exploitation individuelle équipé du mécanisme d'aération en vortex, d'un cylindre de séchage rotatif qui permet à la fois de sécher et de stocker du riz non décortiqué, du blé, du manioc et d'autres produits. Il est chauffé par un four alimenté en briquettes de charbon d'enveloppes de riz.



A8. Ce séchoir rotatif à flux continu est équipé d'une section de refroidissement pour accroître la rapidité de la déshumidification. Le flux de produits sec est de 0,5 tonne de riz non décortiqué par heure. Le blé, les cacahuètes et les grains de café peuvent aussi être traités par ce séchoir. Cette toute dernière innovation permet de fournir une installation pour le séchage dans l'exploitation même. Elle met un frein au processus de dégradation du grain dans l'exploitation et est particulièrement adaptée aux régions tropicales.

9

Etat sanitaire des semences de blé et d'orge utilisées au Maroc

M. BESRI

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP 6202, Rabat, Maroc

Résumé

Le Maroc n'est pas autosuffisant en céréales. Il importe annuellement près de 40 % de ses besoins totaux, dont 25 % de sa consommation en blé tendre. La production actuelle moyenne est de 44 millions de quintaux, avec un rendement moyen de 10 q/ha. Le pays peut atteindre son autosuffisance si toutes les techniques agricoles modernes sont mises en œuvre.

La plupart des maladies des céréales (charbons, caries, helminthosporioses, fusarioses, septorioses, etc.) sont transmises par les semences. Au champ, celles-ci peuvent être à l'origine de développements de maladies extrêmement graves. L'utilisation de semences sélectionnées, indemnes de maladies, est donc indispensable pour réussir la culture et augmenter les rendements.

Au Maroc, la certification des semences ne se fait que sur la base, d'une part, d'une inspection des champs de production des semences, d'autre part, d'analyses au laboratoire ne portant que sur la pureté spécifique, le taux de germination et le niveau de contamination des semences par les mauvaises herbes. L'analyse de l'état phytosanitaire des semences n'est donc pas prise en considération dans le programme de certification. Or, des études ont montré que les semences certifiées ainsi que les semences non certifiées sont gravement infectées par de nombreux agents pathogènes. Cependant, le taux d'infection des semences communes non certifiées est nettement supérieur à celui des semences certifiées. La qualité des semences utilisées se reflète sur l'incidence de nombreuses maladies au champ. Par conséquent, l'introduction des analyses sanitaires au laboratoire est fortement recommandée. L'état sanitaire des semences doit également être pris en considération lors de la certification des semences.

Introduction

Au Maroc, la population double tous les 20 ans : elle était de 9 millions d'habitants en 1956, elle est de 25 millions actuellement. Les céréales occupent 4,5 millions d'ha, soit 85 % des terres cultivées. La production actuelle moyenne est de 44 millions de quintaux avec un rendement moyen de 19q/ha [12]. Les céréales constituent l'aliment de base de la population et fournissent 67 % des apports glucidiques et 75 % des apports protéiques. La production nationale en céréales ne couvre pas les besoins du pays et les importations s'accroissent d'année en année. En effet, le Maroc qui était exportateur jusqu'en 1960 est devenu, en l'espace de deux décennies, importateur de céréales, principalement de blé tendre, les importations de cette denrée représentant 25 millions de q, soit près de 75 % des besoins [22]. Les rendements restent très faibles par rapport aux potentialités de cette culture. Des études ont montré que le potentiel de production mobilisable pour les quatre principales céréales (blé dur, blé tendre, orge et maïs) est de 74 millions de quintaux, au lieu des 44 millions produits actuellement [12]. La demande en céréales pour l'an 2000 a été estimée à 73 millions de quintaux. Le pays peut atteindre son autosuffisance si toutes les techniques modernes agricoles (pratiques culturales, semences, variétés, lutte chimique, etc.) sont mises en œuvre. L'amélioration de la qualité des semences, et particulièrement celle de leur état sanitaire, est un des facteurs pouvant contribuer à la réalisation de cet objectif.

Pathologie des semences et autosuffisance

Un mauvais état sanitaire se traduit par la présence, sur ou dans les semences, d'organes de multiplication de champignons (conidies ou fragments mycéliens), de bactéries, de virus ou de nématodes. Parmi les champignons, des saprophytes (*Penicillium* spp, *Aspergillus* spp) peuvent provoquer la stérilisation des semences. Des parasites peuvent occasionner la formation de germes anormaux, la mort des jeunes plantes, réduire l'énergie germinative des semences ou être à l'origine de développements de maladies épidémiques [13, 31]. L'utilisation de semences infectées réduit par conséquent le rendement potentiel des cultures. Elle peut également transmettre de nombreuses maladies aux plantes et contaminer des zones de cultures jusque là indemnes [31]. Même si le niveau d'inoculum initial est faible, le taux de développement de la maladie peut être très élevé si les conditions de l'environnement sont favorables [31].

Les champignons se développant sur les semences sont traditionnellement divisés en deux catégories : les champignons qui attaquent les plantes et infectent les semences en plein champ, et les champignons qui ne contaminent les graines qu'au cours de la conservation [31, 41]. La première catégorie de champignons envahit les graines avant la moisson et le battage. Leur développement nécessite la présence d'eau et une humidité relative proche de la saturation. Les champignons responsables de la détérioration des semences stockées appartiennent pour la plupart aux genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Bothrytis*. Ces champignons sont capables de se développer même lorsque la teneur en eau des tissus est relativement basse, mais elle doit être au-dessus d'un seuil de 14 % environ [31].

Production des semences certifiées au Maroc

Les semences certifiées sont produites à partir de semences de base. Celles-ci sont obtenues et fournies par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Les semences de base sont mises à la disposition de la Société nationale de commercialisation des semences (SONACOS) qui les met en multiplication sous contrat chez des agriculteurs. La récolte de cette semence, appelée semence certifiée de 1^{ère} génération (R1), est ensuite confiée à d'autres agriculteurs afin de produire les semences certifiées de 2^e génération qui sont alors vendues aux agriculteurs pour la production du blé de consommation [5, 40].

Les champs de production de semences certifiées (1^{ère} et 2^e génération) sont contrôlés par les inspecteurs de la Direction de la Protection des Végétaux, du Contrôle Technique et de la Répression des Fraudes. Ces contrôles au champ portent essentiellement sur le respect des pratiques culturales (mode de semis, précédent cultural, isolement de la parcelle), sur l'identité variétale et l'état phytosanitaire. Dans ce dernier type de contrôle, trois maladies importantes sont prises en considération. La carie du blé (*Tilletia caries* et *T. foetida*), les charbons de l'orge (*Ustilago nuda* et *H. hordei*) et la maladie striée de l'orge (*Helminthosporium gramineum* ou *Dreischlera graminea*). Les tolérances au champ pour ces maladies toutes confondues figurent au Tableau I. Les champs répondant aux normes de certification sont alors acceptés, les autres sont refusés.

Tableau I. Tolérance au champ de quelques maladies importantes de l'orge et du blé (charbons, caries, helminthosporioses) (d'après [5]).

Semences	Tolérance (%)
Semences de base	0,02
Semences certifiées de 1 ^{ère} génération	0,05
Semences certifiées de 2 ^{ème} génération	0,1

Après la récolte, les semences provenant de champs de multiplication sont analysées au laboratoire pour déterminer leur pureté spécifique, leur taux de germination et leur niveau de contamination par les mauvaises herbes. Les lots de semences ne répondant pas aux normes sont alors rejetés. Aucune analyse sanitaire des semences n'étant effectuée au laboratoire, ce critère n'est pas pris en considération pour la certification des semences. C'est ainsi qu'un lot de semences répondant aux normes de pureté, de germination, et du niveau de contamination par les semences de mauvaises herbes, *mais infecté par des agents pathogènes*, peut être certifié.

Principales maladies fongiques transmises par les semences certifiées et non certifiées de blé et d'orge

Une semence de céréale peut héberger et transmettre ensuite de nombreux agents pathogènes. Certains, responsables de fontes de semis, (*F. roseum*, *Septoria nodorum*) peuvent occasionner soit une destruction du grain ou des déformations au niveau du coléoptile et des racines,

soit des nécroses plus ou moins importantes sur les coléoptiles, entraînant un affaiblissement des plantes et constituant, si les conditions climatiques ultérieures sont favorables, une source d'inoculum pour des infections sur les feuilles et les épis.

Après la levée, d'autres champignons transmis également par les semences apparaissent et peuvent entraîner des dégâts importants au niveau des feuilles comme au niveau des épis. Au niveau des feuilles, ce sont par exemple les helminthosporioses (*H. gramineum*, *H. teres* et *H. sativum*) qui provoquent une destruction totale ou partielle des feuillage mais également, si les conditions de l'environnement sont favorable, un échaudage de l'épi. Au niveau de l'épi, la carie du blé (*T. caries*) et les charbons nus de blé et de l'orge (*Ustilago tritici* et *U. nuda*) causent une destruction des grains.

Maladies transmises par les semences d'orge

L'orge occupe environ 50 % de la surface cultivée en céréales (2,2 millions d'ha environ). Seuls les orges à six rangs sont actuellement cultivés, à l'exception de quelques exploitations qui cultivent les orges à 2 rangs destinés généralement aux brasseries. L'orge se rencontre généralement dans des régions peu favorables. Les rendements sont par conséquent faibles (10 q/ha) comparativement aux rendements européens (30 q/ha) et mondiaux (1,7 T/ha) [25]. L'orge est destiné à l'alimentation humaine et animale.

Parmi les principales maladies importantes de l'orge transmises par les semences, citons la maladie striée (*H. gramineum*), le charbon ouvert (*U. hordei*) et le charbon nu (*U. nuda*) [8].

Maladie striée de l'orge

La maladie striée de l'orge causée par *D. graminea* est une des maladies les plus destructives pour lui. Elle est largement distribuée dans le monde [1, 14, 18, 39]. Boulif [14] a montré que 50 % des champs visités présentent de l'helminthosporiose et que l'incidence de cette maladie varie, suivant les parcelles, de 0,5 à 20 %. Les pertes de rendement dues à cet agent pathogène peuvent atteindre 55 % sur les variétés sensibles [35, 36]. Lyamani [28] a rapporté que 47 % des échantillons de semences collectées à travers le pays sont infectés par le parasite. Ce champignon a été mis en évidence dans 39 % des échantillons de semences certifiées et dans 61 % des échantillons qui ne le sont pas.

Charbon nu de l'orge

Le charbon nu de l'orge (*U. nuda*), maladie transmise uniquement par les semences, est extrêmement fréquent et important au Maroc. Le parasite se conserve sous forme de mycélium dans les embryons des semences. Tous les champs d'orge observés présentent une infection par *U. nuda* (Tableau II). Les taux d'infection de 40 % des parcelles observées varient entre 0,3 % et 2 %, taux qui sont nettement supérieurs aux tolérances établies (Tableau I) pour les semences certifiées de 2^e génération. Par conséquent, l'incidence de *U. nuda* est extrêmement importante non seulement sur les pertes de rendement qui peuvent atteindre 3 % (Tableau II) mais également sur les conséquences qui peuvent résulter de l'utilisation des semences produites.

La lutte contre *U. nuda* par traitement des semences avec de la carboxine (1 kg/M.A./T) a donné d'excellents résultats. L'incidence de la maladie a été réduite de 95 % [4, 35].

L'analyse sanitaire de 29 échantillons de semences certifiées et non certifiées a montré des taux d'infection respectifs de 55,6 % et de 75 % [28] (Tableau III). Ce niveau d'infection des

Tableau II. Incidence du charbon nu de l'orge dans 225 champs observés au Maroc (d'après [4]).

Incidence (%)	Pourcentage de champs à chaque niveau de maladie
$2 < x \leq 3$	6
$0,3 < x \leq 2$	40
$x \leq 0,3$	54

Tableau III. Pourcentage d'échantillons de semences certifiées et non certifiées infectées par *U. nuda* (d'après [28]).

Semences	Nombres d'échantillons	Pourcentage d'embryons infectés (x)					
		x=0	0<x≤0,2	0,2<x≤0,4	0,4<x≤0,6	0,6<x≤0,8	0,8<x≤1,1
Certifiées	9	44,4	0	22,2	0	11,1	22,2
Non certifiées	20	25	5	20	40	0	10

semences non certifiées est cependant supérieur à celui des semences certifiées : 50 % des échantillons de la première catégorie de semences a un niveau d'infection supérieur à 0,4 % contre seulement 33,3 % pour la seconde.

Akaaboune [3] a rapporté que 12 % du total des échantillons de semences non certifiées sont infectés par le champignon. Cet auteur ne l'a pas détecté dans les semences certifiées.

Charbon couvert de l'orge

Le charbon couvert de l'orge (*U. hordei*) peut être considéré comme étant l'une des principales maladies de cette culture au Maroc. Cette maladie, transmise par les semences, a été rapportée dans toutes les régions où l'orge est cultivé [4, 14]. L'incidence de la maladie varie entre 0,3 et 20 % (Tableau IV).

Tableau IV. Incidence du charbon couvert de l'orge (*U. hordei*) dans 225 champs d'orge au Maroc (d'après [4]).

Incidence (%)	Pourcentage de champs à chaque niveau de maladie
$5 < x < 20$	1
$2 < x < 5$	11
$0,3 < x < 2$	52
$x=0,3$	36

La production annuelle moyenne d'orge est de 21 millions de qx environ [9]. Les pertes dues au charbon couvert de l'orge peuvent varier entre 63 000 qx et 4 200 000 qx. Si nous considérons que le rendement moyen est de 10 qx/ha, ces pertes représenteraient respectivement la production de 6 300 ha à 420 000 ha.

Lyamani [28] et Akaaboune [3] ont effectué des analyses de semences certifiées et non certifiées provenant de différentes régions. Les résultats obtenus par ces auteurs ont montré que les deux types de semences sont contaminés par les spores de *U. hordei* (Tableau V). Le nombre maximum de spores rencontrées par semence non certifiée est nettement plus élevé que celui observé sur semence certifiée. Lyamani [28] a rapporté que seulement 38 % des échantillons de semences certifiées sont contaminés par le champignon. Par contre,

Tableau V. Importance de la contamination des semences d'orge certifiées et non certifiées par *U. hordei* (d'après [3,28]).

Semences certifiées	Pourcentage d'échantillons infectés	38	100
	Nombre maximum de spores/semence	10 000	9 800
Semences non certifiées	Pourcentage d'échantillons infectés	100	100
	Nombre maximum de spores/semence	80 000	250 000

Akaaboune [3] a mis en évidence le champignon dans la totalité des échantillons analysés. Le traitement des semences diminue considérablement l'incidence de la maladie au champ [4].

Maladies transmises par les semences de blé

Le blé dur et le blé tendre occupent respectivement 27,1 % et 10,8 % des 4,5 millions d'ha cultivés en céréales [9]. La production annuelle des deux cultures est de 18 360 000 qx, soit un rendement moyen de 10 à 11 qx à l'ha.

Tous les ans, le Maroc importe près de 25 % de sa consommation de blé, ce qui représente près de 192 millions de dollars [22, 29]. La faible productivité du blé, comme d'ailleurs celle des autres céréales, est principalement due au climat, aux pratiques culturales et à la qualité de semences [29].

Le blé est attaqué par plusieurs agents pathogènes [17, 31, 37]. Parmi les maladies importantes transmises par les semences citons les caries (*Tilletia* spp.), le charbon nu du blé (*U. tritici*) et la septoriose (*S. nodorum*).

Les caries

Tillet, en 1875, (cité par [2]) a été le premier à démontrer que les spores de caries, remplaçant la masse amylacée du grain, étaient responsables de la maladie. En plus des pertes de rendement, les caries diminuent la qualité de la farine et celle des semences [17].

Les dégâts dus aux caries peuvent être aussi importants dans les pays développés que dans ceux en voie de développement. En 1976, les pertes dues à *T. contraversa* dans 7 états de l'Ouest américain ont été estimées à 3,3 millions de dollars [23]. En URSS, les pertes dues aux caries sont également très importantes dans certaines régions [21].

Dans les pays en voie de développement, les caries peuvent entraîner des dégâts considérables sur le blé. Parlak [33] a rapporté qu'en Turquie les pertes dues à *T. caries* peuvent atteindre 15 % dans les parcelles semées avec des semences traitées et 90 % dans celles qui ont été semées avec des semences non traitées. Dans ce même pays, la carie naine du blé (*T. foetida*) diminue le rendement de près de 80 % dans certaines parcelles. Neergaard [31] a rapporté que les pertes dues au charbon et aux caries peuvent atteindre 40 % dans certaines régions de l'Inde.

Au Maroc, les deux espèces de *Tilletia* (*T. foetida* et *T. caries*) sont présentes [34]. Cependant, l'importance relative de chacune des deux espèces est méconnue. Dans certaines parcelles de blé, l'incidence de la maladie peut atteindre 20 % (Besri, résultats non publiés). Aucune prospection à l'échelle du pays n'a encore été effectuée pour étudier la distribution de la maladie et son impact sur le rendement. Des semences de la variété de blé dur 2 777 ont été contaminées avec 500 à 1 500 spores de carie par semence, puis semées dans deux sta-

tions expérimentales. Les pourcentages d'épis cariés estimés au niveau de chaque station ont été respectivement de 0,5 % et de 21 %. Ces résultats montrent clairement que le développement de la carie dépend des conditions de l'environnement [4].

L'analyse sanitaire de lots de semences certifiées et non certifiées a montré que les deux catégories de semences sont contaminées par les spores du champignon [4, 28, 35]. Cependant, le niveau de contamination des semences certifiées est plus faible que celui des semences non certifiées (Tableau VI). D'après Neergaard [31], une semence contaminée par plus de 20 spores ne peut être utilisée qu'après traitement. Or, certains échantillons de semences certifiées sont contaminés par plus de 20 spores-semence. Par conséquent, même les semences certifiées doivent subir un traitement contre la carie.

Tableau VI. Pourcentage d'échantillons de semences de blé infectées par *Tilletia* spp* (d'après [4]).

Semences	Nombre (x) de spores de <i>Tilletia</i> /semence ($\times 10^3$)					
	$0 < x \leq 0,1$	$0,1 < x \leq 0,2$	$0,2 < x \leq 1$	$1 < x < 5$	$5 < x \leq 10$	$10 < x$
Certifiées	85	15	0	0	0	0
Non certifiées	0	0	13	18	25	44

* Nombre d'échantillons analysés par catégorie : 30.

Le charbon nu du blé

Le charbon nu du blé (*Ustilago tritici*) est largement distribué dans le pays [28]. L'analyse de 32 échantillons de semences certifiées et de 21 échantillons de semences non certifiées a montré que respectivement 31,3 % et 33,4 % sont infectés par le champignon (Tableau VII). Aussi, nous pouvons conclure avec Neergaard [30] que le programme de certification actuellement en cours au Maroc n'a aucun effet appréciable sur la réduction du charbon nu du blé.

Tableau VII. Pourcentage d'échantillons de semences de blé infectées par *U. tritici** (d'après [28])

Semences	Nombre (x) d'embryons infectés/1000 semences				
	$x = 0$	$0 < x \leq 2$	$2 < x \leq 4$	$4 < x \leq 6$	$6 < x$
Certifiées	68,7	15,6	6,2	6,2	3,1
Non certifiées	66,6	9,5	9,5	9,5	4,1

* 32 échantillons de semences certifiées et 21 échantillons de semences non certifiées ont été analysés

Les septorioses

Nelson *et al.* [32] ont rapporté qu'en 1972-1973, *Septoria nodorum* a entraîné en Géorgie des pertes de rendement estimées à 20 %. Lorsque les conditions sont favorables, les pertes provoquées par ce champignon transmis par les semences peuvent être plus élevées [19]. Un faible pourcentage d'infection des plantules (0,016 %) dans un champ peut entraîner un

développement épidémique de la maladie [16]. En 1968-1969, une épidémie sévère de *Sep-toria* a réduit le rendement du blé de près de 20 % [37]. La maladie a été également très sévère au Nebraska en 1982 [10].

Schluter et Janati [38] ont rapporté que *S. nodorum* est peu fréquent au Maroc. Cependant, Lyamani, en 1976, a rencontré ce champignon dans 20 % des lots de semences non certifiées, avec un pourcentage moyen d'infection de 1 %. Jusqu'à présent, aucune étude n'a été conduite pour déterminer le niveau d'infection des semences certifiées ni les pertes entraînées par le champignon.

Conclusion

Des études ont été effectuées dans plusieurs pays afin de déterminer la qualité des semences des céréales utilisées par les agriculteurs. Au Kansas, il a été rapporté que 77 % des producteurs utilisent leurs propres semences, 18 % les semences du voisin et seulement 5 % des semences certifiées [24]. Dans la province de l'Ontario, Kinsbury [26, 27] a rapporté que 38 % de semences de blé et d'orge utilisées par les agriculteurs sont de mauvaise qualité. Des résultats d'enquêtes et d'analyses similaires ont été rapportés dans d'autres pays [6, 7]. Par conséquent, le mauvais état sanitaire des semences utilisées n'est pas propre au Maroc, mais se rencontre également dans d'autres pays aussi bien développés qu'en voie de développement.

Neergaard [30] a montré que l'inspection au champ constitue une étape importante dans tout programme de certification. Cependant, cette inspection doit être complétée par des analyses sanitaires au laboratoire. Au Maroc, actuellement, les analyses de la pureté spécifique, de la faculté germinative, etc. sont entrées dans la routine et constituent des critères importants pour la certification [7]. Pour cette dernière, l'état sanitaire n'est pas pris en considération. Cette situation explique pourquoi des lots de semences certifiées sont parfois fortement infectés par de nombreux champignons phytopathogènes. Aussi, l'introduction des analyses sanitaires au laboratoire est-elle fortement recommandée afin d'améliorer la qualité des semences et, par conséquent, d'augmenter le rendement des cultures en évitant la dispersion des maladies [15].

Références

1. Abu M, Mahmood M. (1973). Résistance to *Helminthosporium stripe* in Barley cultivars in India. *Plant Dis*; 57 : 495-499.
2. Agrios GN (1978). *Plant Pathology*. Academic Press, London, New York, 703 p.
3. Akaaboune A. (1981). Etude de la qualité des semences non certifiées de blé dur, d'orge, de pois chiche et de fève utilisées dans quelques régions du Maroc. Mémoire de 3^e cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
4. Anonyme (1976). Maladies et ravageurs des plantes cultivées au Maroc. Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, Direction de la Recherche Agronomique.
5. Anonyme (1977). Arrêté du Ministre de l'Agriculture et de la Réforme Agraire n° 860/75 du 22 septembre 1977 portant homologation du règlement technique relatif à la production, au contrôle, au conditionnement et à la certification des semences de blé, orge, avoine et riz.
6. Anonyme (1978). Les semences certifiées des céréales. Un trésor est caché dedans. Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plants (GNIS). Document 73, juillet 1978.

7. Anonyme (1980). Les graines de mauvaises herbes dans les semences de céréales produites à la ferme. Une des raisons parmi d'autres pour préférer les semences sélectionnées. Groupement National Interprofessionnel des Semences et Plants (GNIS). Document 79, janvier 1980.
8. Anonyme (1981). The Moroccan Barley improvement program and disease problems. Proceedings of barley diseases and associated breeding methodology workshop, Rabat-Morocco, 20-30 avril 1981.
9. Anonyme (1982). *Le message, vulgarisation agricole*. Division de la vulgarisation et de la coopération agricole.
10. Anonyme (1982 b). The latest in Plant Pathology and nematology, Plant Dis; 66 : 762.
11. Anonyme (1985 a). *Statistiques agricoles*. Ministère de l'agriculture et de la Réforme Agraire.
12. Anonyme (1985 b). Compte-rendu des journées céréalières organisées à l'intention des responsables de l'opération intensification du blé tendre. Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, Direction de la Production Végétale, 16 pp.
13. Anselme C. (1981). Assessment of crop losses caused by seed borne pathogens. In : Chiarappa C, éd. *Crop loss assessment methods*. Supplément 3. Rome, FAO, pp. 97-101.
14. Boulif M. (1975). Contribution à l'étude des Helminthosporioses de l'orge au Maroc. Mémoire de 3^e cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
15. Chiarappa L, Gambogi P. (1986). *Seed Pathology and Food Production*. FAO, Bulletin Phytosanitaire; 34 : 166-185.
16. Cunfer BM, Johnson JW. (1981). Relationship of glume blotch symptoms on wheat heads to seed infection by *Septoria nodoreum* Trans Br Mycol Soc; 76 : 205-211.
17. Dickson JC. (1956). *Diseases of field crops*. McGraw Hill, New York.
18. Ech-Chaabi M. (1977). La maladie striée de l'orge (*Helminthosporium gramineum*). Influence sur les rendements. mémoire de fin d'études présenté à l'Ecole d'Agriculture de Meknès.
19. Eyal Z. (1981). Integrated control of Septoria diseases. Plant Dis; 65 : 763-768.
20. FAO (1981). *Production yearbook*, Vol. 34, Rome, 296 pp.
21. Falina TE. (1981). General protection of seeds. Zashch Rast (Moscow); 3 : 28-29 (en russe) (Abstr Rev Plant Pathol; 61 : 159).
22. Hammami W. (1986). Commercialisation, transformation et utilisation des céréales au Maroc. In : *Céréales et produits céréaliers en méditerranée*. Option méditerranéenne. Institut Agronomique Méditerranéen, Montpellier, 67-69.
23. Hoffman JA. (1976). Cereal diseases research. Utah Sci; 37 : 103-106 (Abstr Rev Plant Pathology; 59 : 2681).
24. Jacque RM, Burchett LA, Vanderlip RL. (1976). *Quality of wheat in Kansas drill box seeds*. Bulletin of the Agricultural Experimental Station, 599.
25. Kamel AH. (1981). Barley diseases in the dry areas. Proceedings of barley diseases and associated breeding methodology workshop. Rabat, Morocco 20-23 April 1981.
26. Kingsbury CH. (1956). 1955 seed drill survey. Ontario soil and crop improvement association, 71-72.
27. Kingsbury CH. (1957). 1956 seed drill survey. Results and comments on how they were used. Canadian national weed committee; 10 : 56-60.
28. Lyamani A. (1975). Etude de la composition fongique associée aux semences de blé et d'orge au Maroc. Mémoire 3^e cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
29. Mouhcine A. (1982). Production et utilisation des semences certifiées dans la région de Rommani. Mémoire de 3^e cycle, Institut Agronomique et Vétérinaire, Hassan II.
30. Neergaard P. (1975). Detection and control of seed borne diseases in Morocco. Report based on observations and discussions during a visit to Morocco. 20th to 25th July, 1975. Danish Government Institute of seed pathology for developing countries, Copenhagen (Denmark).
31. Neergaard P. (1977). *Seed Pathology*. McMillan Press, London.
32. Nelson LR, Morey DD, Brown AR. (1974). Wheat cultivar responses to severe glume blotch in Georgia. Plant Dis Rep; 58 : 21-23.
33. Parlak Y. (1981). Seed borne pathogens on wheat (particularly smuts) in Turkey. EPP0 Bull; 11 / 83-66.
34. Rieuf P. (1960). Les cahiers de la Recherche Agronomique; 9, 359 pp..

35. Rolli K. (1977). Maladies transmises par les semences des céréales. Résultats de trois années d'expérience. Bulletin de protection des cultures; 2 : 3-10.
36. Rolli K, Lyamani A, Moujane L. (1977). Maladies de l'orge transmises par les semences. Importance économique et influence d'un traitement chimique des semences sur les rendements. Bulletin de protection des cultures; 1 : 3-8.
37. Saari EE, Wilcoxson RD. (1974). Plant disease situation of high-yielding Dwarf in Asia and Africa.. Ann Rev Phytopathol; 12 : 49-68.
38. Schluter K, Janati A. (1976). Les septorioses du blé au Maroc. Phytopathologia mediterranea; 15 : 7-13.
39. Teviotdale BL, Hall DH. (1976). Factors affecting inoculum developement and seed transmission of *Helminthosporium gramineum*. Phytopathology; 66 : 295-301.
40. Tourkmani M. (1980). Les semences sélectionnées. Préparation du plan quinquenal 1980-1985. Service du contrôle et de la multiplication des semences et plants, Rabat.
41. Williams RJ, McDonal D. (1983). Grain Molds in the tropics : Problems and importance. Ann Rev Phytopathol; 21 : 153-178.

PARTIE II

Dégradations en cours de stockage et moyens de préservation

Président de séance : N. NKOUKA

1

Evolution des pertes en matière sèche des grains dues à un ravageur secondaire : *Tribolium castaneum* (Herbst), coléoptère Tenebrionidae, lors de la conservation des céréales

K. BEKON*, F. FLEURAT LESSARD**

* *Laboratoire de recherche sur les insectes des denrées, ENSA 08, BP 35, Abidjan, Côte d'Ivoire*

** *Laboratoire de recherche sur les insectes des denrées, INRA, La Grande Ferrade, 33140 Pont de La Maye, France*

Résumé

Deux types d'insectes attaquent les grains et graines lors de leur stockage et de leur conservation en région tropicale :

1. Les ravageurs primaires, capables de s'attaquer à des grains sains et entiers. De nombreux travaux leur ont été consacrés. Ils ont abouti quelquefois à des formules permettant d'estimer les pertes en matière sèche. Ainsi les dégâts causés par *Sitophilus oryzae* et *Rizopertha dominica* ont pu être quantifiés.

2. Les ravageurs secondaires ne peuvent déprécier les grains qu'à partir des entrées ou trous faits par les ravageurs primaires. La perte en matière sèche due aux attaques de ces ravageurs secondaires peut être difficilement estimée. Les références bibliographiques sont rares à leur sujet et souvent imprécises.

L'objet de notre étude est de rechercher une technique fiable d'estimation des pertes des grains dues à un ravageur secondaire, *Tribolium castaneum*, à la suite d'attaques de *S. oryzae* (ravageur primaire). Ces deux insectes sont présents dans les diverses régions chaudes et humides d'Afrique.

L'étude a consisté à réaliser en conditions contrôlées une infestation primaire dans quatre lots de 200 g de blé par un nombre de couples variables de *S. oryzae* (6 à 48 couples).

Au bout d'un mois nous avons tamisé les grains pour ressortir tous les insectes et procédé à une désinsectisation par fumigation au bromure de méthyle pour tuer toutes les formes cachées.

Après cette attaque primaire, dont le but essentiel est de trouver les grains, les lots ont été uniformément réinfestés par 20 couples de *T. castaneum* pour une durée d'un mois.

Les résultats obtenus nous ont montré que contrairement à la perte globale en matière sèche, il existe une bonne corrélation positive entre les quantités de frass(*) dégagées par *T. castaneum* (Y) et les dégâts causés par les insectes primaires qui ont vécu sur ce même milieu (X), l'équation de la régression est :

$$Y = 0,0452X - 0,113$$

Ainsi nous pensons qu'une simple pesée des quantités de frass dégagées par une espèce de ravageurs secondaires s'alimentant seule sur des grains préalablement troués, peut être utilisée comme une technique fiable d'estimation des pertes de grains.

(*) Frass : mot anglo-saxon désignant les particules pulvérulentes résultant de l'activité alimentaire des insectes dans les grains.

Introduction

Les grains et graines subissent de multiples agressions de la part des insectes lors du stockage et de la conservation [4, 7, 8]. Ces insectes nuisibles peuvent être répartis en deux groupes :

— les ravageurs primaires, capables de s'attaquer à des grains intacts; de nombreux travaux ont été consacrés à ce type de ravageur [6, 11]. Certains de ces travaux ont abouti à des formules permettant d'estimer les pertes en matière sèche des grains. Ainsi les dégâts causés par *Sitophilus oryzae* et *Rhizopertha dominica* ont pu être quantifiés par certains auteurs [3]

— les ravageurs secondaires ne peuvent déprécier les grains qu'à partir des ouvertures leur servant de voies d'accès, occasionnées par les ravageurs primaires [1, 2]. Les pertes en matière sèche dues aux attaques de ces ravageurs sont difficilement estimables, et n'ont fait l'objet que de rares travaux.

Le but de cette étude est donc de rechercher une technique fiable d'estimation des pertes dues à *Tribolium castaneum* (ravageur secondaire) à la suite d'attaques de *S. oryzae* (ravageur primaire). Ces deux insectes sont souvent présents dans un même biotope dans diverses régions chaudes et humides d'Afrique.

Matériels et méthodes

Matériels

Matériels biologiques. Des jeunes adultes âgés de 10 jours d'une souche de laboratoire de *T. castaneum* et de *S. oryzae*, élevés depuis au moins 10 générations, ont été utilisés.

Chambre de fumigation. Une salle spécialement aménagée pour la fumigation au bromure de méthyle a servi de cadre pour la désinsectisation des milieux.

Milieux alimentaires. Les grains de blé tendre (variété TOP) originaire de la région bordelaise, donnant des résultats plus homogènes que le maïs, ont servi de milieu nutritif.

Méthodes

Après contrôle de leur teneur en eau, quatre lots de 200 g de blé sont infestés par un nombre croissant de *S. oryzae* (6, 12, 24 et 48 couples) en 5 répétitions.

Après 14 jours de ponte, les grains sont tamisés pour éliminer les parents du milieu. A la fin du cycle de développement de la 1^{ère} génération fille, le «frass*» est pesé, et la perte en matière sèche des grains ayant servi de milieu alimentaire aux insectes est déterminée.

Ces différents lots de grains de blé sont ensuite désinsectisés par fumigation au bromure de méthyle à la dose de 32 g/m³ pendant 24 heures [5, 9]. Cette opération vise à tuer les adultes qui n'auraient pas pu être séparés des grains par simple tamisage, ainsi que toutes les formes juvéniles cachées de la 2^e génération. Quarante-huit heures après la fumigation, les grains sont tamisés à nouveau et les teneurs en eau mesurées. Les lots de grains ayant subi l'attaque du ravageur primaire sont réinfestés uniformément par 20 couples de *T. castaneum* pour une durée de 40 jours (la durée d'un cycle complet de développement) sur les grains.

La perte due à *T. castaneum* est estimée comme étant la différence de masse de matière sèche avant et après l'infestation par l'insecte et par comparaison au témoin non infesté.

La perte en gramme est exprimée par la formule suivante

$$PS_1 - PS_2$$

avec $PS = \frac{100 - te}{100} \times M$

te₁ ou te₂ = teneurs en eau (%) de l'échantillon témoin (1), infesté (2)

M₁ ou M₂ = masses en grammes de l'échantillon témoin (1), infesté (2)

PS₁ = masse de matière sèche dans le lot témoin

PS₂ = masse de matière sèche dans le lot infesté par l'insecte (*Sitophilus* ou *Tribolium*).

Résultats

S. oryzae

Les pertes globales en matière sèche dues à ce ravageur primaire en fonction des taux d'infestation (6 à 48 couples) passent en moyenne de 7,98 à 34,51 g (Tableau I).

Tableau I. Pertes globales en grammes de matière sèche occasionnées par *S. oryzae* au bout d'un cycle de développement sur 200 g de blé à 30° C et 70 % H.R.

Répétitions Taux d'infestation	1	2	3	4	5	Moyenne x	Intervalle de confiance au seuil de 5 %
6 couples	9,74	7,38	6,5	10,9	5,4	7,98	± 2,87
12 couples	12,31	9,86	10,8	13,53	11,8	11,66	± 1,74
24 couples	20,64	18,98	19,26	20,41	21,41	20,14	± 1,25
48 couples	36,63	33,92	29,85	33,03	37,51	34,18	± 3,79

(*) Frass : mot anglo-saxon désignant les particules pulvérulentes résultant de l'activité alimentaire des insectes dans les grains.

Le test non paramétrique de Kruskal Wallis donne $\chi^2 = 17,33$ avec 3 degrés de liberté, ce qui indique l'existence de différences significatives entre les traitements.

Nous observons également une très bonne corrélation positive entre le nombre d'insectes et la perte globale en matière sèche; l'équation de la régression linéaire (fig. 1) calculée est la suivante :

$$y = 0,6259 X + 4,4095$$

X = nombre d'insectes

y = pertes en matière sèche/200 g.

Le coefficient de corrélation $\gamma = 0,98$ (xxx) est hautement significatif à 18 degrés de liberté (fig. 1). Il existe également une très bonne corrélation entre le nombre d'insectes et le poids du «frass». L'équation de la régression est la suivante :

$$y = 0,0614 X - 0,0035$$

X = nombre d'insectes

Y = le poids du «frass» en g/200 g de blé.

Le coefficient de corrélation $\gamma = 0,983$ (xxx) est très hautement significatif à 18 degrés de liberté (voir Tableau II).

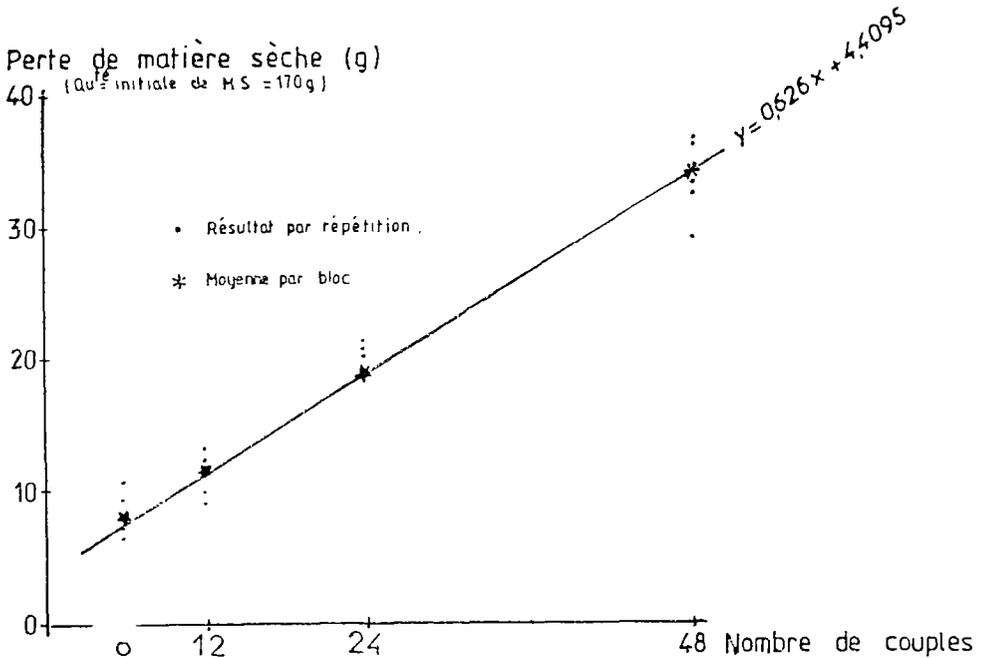


Figure 1. Relation entre le taux d'infestation par *S. oryzae* de 200 g de blé et la perte en matière sèche après une génération.

T. castaneum

Les masses de grains de blé varient entre 159 et 194 g par lot, après le développement de *S. oryzae*. Les pertes globales en matière sèche causées par *T. castaneum* varient en moyenne de 0,080 à 2,24 g (Tableau III).

Pertes en matière sèche des grains dues à un coléoptère

Tableau II. Pertes en matière sèche causées par *S. oryzae* et exprimées à partir de la masse (g) de «frass» dégagée.

Répétitions Taux d'infestation	1	2	3	4	5	Moyenne	Intervalle de confiance au seuil de 5 %
6 couples	0,5	0,3	0,3	0,4	0,15	0,33	± 0,16
12 couples	0,8	0,7	0,6	1,0	0,6	0,74	± 0,20
24 couples	1,4	1,4	1,5	1,5	1,8	1,52	± 0,20
48 couples	3,1	2,7	2,5	3,1	3,2	2,92	± 0,37

Tableau III. Pertes globales en grammes de matière sèche occasionnées par 20 couples de *T. castaneum* au bout d'un cycle de développement et sur du blé préalablement infesté par *S. oryzae*.

Répétitions Taux d'infestation	1	2	3	4	5	Moyenne	Intervalle de confiance au seuil de 5 %
6 couples	0,10	0,02	0,04	0,22	0,03	0,08	± 0,10
12 couples	0,12	0,02	0,25	0,28	0,28	0,19	± 0,14
24 couples	0,05	0,25	0,31	0,59	0,03	0,24	± 0,28
48 couples	2,54	2,13	2,65	2,42	1,48	2,24	± 0,58

Dans nos conditions expérimentales, les pertes en matière sèche dues à *T. castaneum* ne sont sensibles que sur les lots de grains préalablement infestés par 48 couples de *S. oryzae* (ce qui représente un taux d'infestation important : environ 4 g de grains/couples d'insectes primaire). Le poids du «frass» après infestation de *T. castaneum* varie en moyenne entre 0,16 et 2,11 g (Tableau IV).

Tableau IV. Pertes en matière sèche, exprimées à partir de la masse (g) de «frass» dégagée, à la suite d'une infestation uniforme de 20 couples de *T. castaneum* au bout d'un cycle de développement et sur du blé préalablement infesté par *S. oryzae*.

Répétitions Taux d'infestation	1	2	3	4	5	Moyenne	Intervalle de confiance au seuil de 5 %
6 couples	0,25	0,15	0,10	0,20	0,10	0,16	± 0,8
12 couples	0,35	0,50	0,40	0,80	0,60	0,53	± 0,22
24 couples	0,90	0,55	0,45	1,30	0,90	0,82	± 0,41
48 couples	2,20	1,85	2,50	2,30	1,70	2,11	± 0,40

Les quantités de «frass» sont proportionnelles au nombre de couples qui ont vécu préalablement dans le milieu. Il existe une bonne corrélation entre le taux d'infestation et la quantité de «frass». L'équation de la régression (fig. 2) est la suivante :

$$Y = 0,0452 X - 0,113$$

$$Y = \text{Masses de «frass»}$$

$$X = \text{Taux d'infestation initiale.}$$

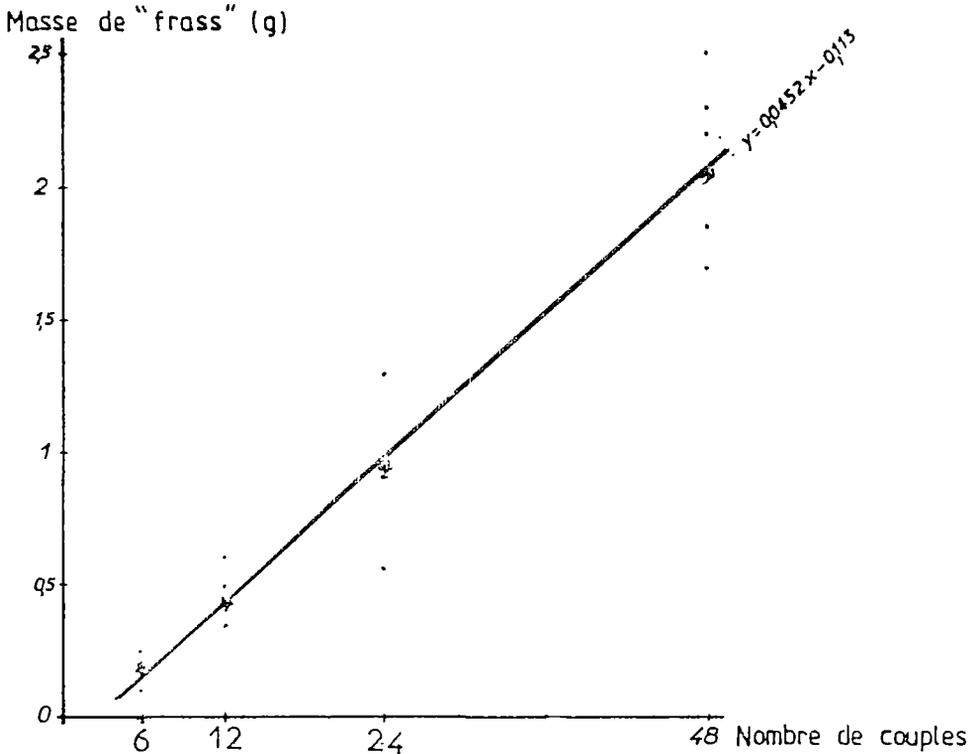


Figure 2. Masse de «frass» produite par 20 couples de *T. castaneum*, souche Abj, dans des lots de blé de 175 g environ préalablement infestés par *S. oryzae* pendant une génération.

Le coefficient de corrélation $\gamma = 0,947$ (xxx) est très hautement significatif à 18 degrés de liberté (fig. 2).

Discussion

Les pertes en matière sèche causées par *S. oryzae* sont élevées. En effet, pour une infestation initiale de 6 à 48 couples (ce qui correspond à environ 1 couple pour 4 à 34 g de blé) et pour seulement une durée d'un cycle de développement, ces pertes varient entre 7,98 et 34,51 g. Cela laisse envisager également qu'au bout de plusieurs générations successives elles seront encore plus importantes.

Si l'on considère la valeur de la perte moyenne la plus élevée qui est de l'ordre de 34,51 g, nous constatons que cette perte est de 17 % de la masse de 200 g de blé infesté. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Campbell et Sinha, qui rapportaient en 1976 qu'après un cycle de développement de *S. oryzae*, les grains de blé subissaient une perte pondérale de 17 %. Par ailleurs de nombreux spécialistes de la FAO, notamment Schulten et Adams [11]; ont estimé la perte pondérale due à l'alimentation des larves et des adultes de cet insecte. Selon Ratcliffe [10], *S. oryzae* adulte consomme par semaine un poids de blé égal à son propre poids, alors que *R. dominica* (autre ravageur primaire partageant souvent le même biotope) consomme par semaine une quantité 5 à 6 fois supérieure à son poids.

S'il est vrai que beaucoup de travaux ont été consacrés à l'estimation des pertes pondérales des grains par des ravageurs primaires (*S. oryzae*, *R. dominica*, etc.) ce n'est pas encore le cas pour les ravageurs dits secondaires. Chez ces derniers, nous avons montré que les dégâts ne sont possibles que sur les grains brisés ou entiers préalablement troués par des ravageurs primaires [1].

Ainsi les résultats présents, qui montrent que la perte en matière sèche est proportionnelle aux taux d'infestation primaire, confirment les résultats obtenus en 1984. Toutefois ces pertes sont faibles pour le ravageur secondaire dans les conditions expérimentales actuelles (durée du cycle de développement, taux d'infestation relativement peu important).

Compte tenu des pertes qualitatives causées par l'insecte (présence d'exuvies, de reste du corps dans le milieu, sécrétion d'une persistante odeur nauséabonde, etc.) [12], pertes pouvant s'amplifier sur une longue période, et de l'ampleur des dégâts quantitatifs, il faut considérer *T. castaneum* comme un insecte véritablement nuisible qui doit faire l'objet d'une lutte rationnelle pour protéger les grains lors du stockage et de la conservation.

Conclusion

Tribolium castaneum, déprédateur secondaire dans la succession des insectes ravageurs des denrées stockées, ne peut s'attaquer qu'à des grains préalablement troués. Dès lors, il est difficile d'estimer les dégâts causés par cet insecte. Le présent travail, mettant en relief l'importance des masses de «frass» dégagées par le ravageur secondaire dans le milieu infesté, contribue à l'approche de cette estimation.

Cette méthode expérimentale reste néanmoins à éprouver dans le cas d'infestation due à d'autres ravageurs secondaires.

Références

1. Bekon K. (1984). Biologie du développement et comportement alimentaire de *Tribolium castaneum* (Herbst) (*Coleoptera tenebrionidae*) sur les semences des céréales. Thèse de Doctorat-ingénieur ENSA de Rennes. Université de Rennes I, 167 p.
2. Bekon K. (1986). Contribution à la connaissance de quelques insectes ennemis des grains et graines cultivés en Basse Côte d'Ivoire. Rapport atelier régional-recherche entomologique dans les écosystèmes forestiers africains. 61-64.
3. Campbell A, Sinha RN. (1976). Damage of wheat by feeding of some stored product beetles. *J. Econ Entomol*; 69, 1 : 11-13.
4. Campbell A, Sinha RN. (1978). Bioenergetics of graminivorous beetles, *Cryptolestes ferruginens* and *Rhizopertha dominica* (*Coleoptera : cucujidae* and *bostrychidae*). *Can J Zool*; 56 : 624-633.
5. Ducom P. (1978). Traitement par fumigation. In : Scotti G. *Les insectes et les acariens des céréales*, Coéd AFNOR-ITCF, 138-168.
6. Farjan MA. (1983). Biodynamique en laboratoire de 2 espèces ravageurs du blé dur : le charançon du Riz : *Sitophilus oryzae* L. (*Coleoptera curculionidae*) et le capucin des grains (*Rhizopertha dominica* (*Coleoptera-Bostrychidae*) avec application aux conditions de conservation en Afrique du Nord. Mémoire ingénieur Agronome Institut Agronomique Vétérinaire Hassan II, Rabat, 99 p.
7. Fleurat Lessard F. (1982). Les insectes et les acariens. In : Multon JL, *Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés*. Ed. Lavoisier, Paris, Vol. 1, 394-436;
8. Jacobson RJ, Thomas KP. (1981). *Rhizopertha dominica* (F) (*Coleoptera : Bostrychidae*) in stored home-grown barley. *Plant Pathol*; 30 : 54-55.

9. Monro HAU. (1970). La fumigation en tant que traitement insecticide. Et Agr FAO Rome; 19 : 2, 398 p.
10. Ratcliffe FN. (1941). The importance of *Rhyzopertha dominica* as a pest of wheat under wartime storages conditions. J Council Sci Res Aust; 14 : 143-180.
11. Schulten GM, Adams JM. (1978). Losses caused by insects, mites and microorganisms 83-93. In : *Postharvest grain loss assesment methods..* AACC St Paul Minnesota USA, 193 p.
12. Sokoloff A. (1974). The biology of *Tribolium*. Oxford University Press, London, 610 p.

2

Conservation des céréales humides sous atmosphère contrôlée. Limites théoriques et pratiques

B. DIAWARA, D. RICHARD-MOLARD, B. CAHAGNIER

INRA, Laboratoire de Microbiologie et Technologie Céréalières, rue de la Géraudière,
44072 Nantes Cedex, France

Résumé

Dans leur très grande majorité, les processus d'altération qui provoquent la dégradation des grains et graines pendant le stockage font intervenir l'oxygène de l'air. Qu'il s'agisse d'attaque par les insectes sur grains secs ou de développement des microorganismes sur grains récoltés plus humides, le stockage sous atmosphère anoxique doit par conséquent améliorer la conservation.

Des résultats d'expériences récentes réalisées en semi-grandeur sur grains humides (maïs, riz), sont présentés et discutés dans la perspective d'applications à plus grande échelle.

Les limites théoriques du principe de la conservation sous gaz neutre sont précisées, notamment vis-à-vis des microorganismes des grains et l'effet inhibiteur du gaz carbonique est analysé : au-delà de teneurs en eau correspondant à des activités thermodynamiques de l'eau (a_w) de l'ordre de a_w 0,90, des processus microbiens de fermentation apparaissent, fermentation alcoolique par des levures appartenant aux genres notamment *Hyphopichia*, *Candida* ou fermentation lactique par des *Lactobacillus*. Les modifications biochimiques et technologiques qui en résultent sont d'autant plus intenses (ou se produisent d'autant plus rapidement) que la teneur en eau est plus élevée.

Après quelques années (suivant la température moyenne de stockage) les modifications sont irréversibles mais l'acidification du grain n'exclut pas l'utilisation en alimentation humaine. Il est cependant nécessaire de se situer dans une optique « produits nouveaux » qui sous-entend des adaptations des technologies de transformation et une approche nouvelle du consommateur.

L'application dans le domaine de l'alimentation des animaux est déjà une réalité en Europe de l'Ouest, et des résultats obtenus en silos métalliques et en silos plastiques sont comparés.

Introduction

Quelques que soient les zones géographiques de production et les conditions climatiques avant et pendant la récolte, les grains et graines sont toujours porteurs de nombreux microorganismes très divers, bactéries, levures et moisissures [4, 13] dont l'activité dépend essentiellement de l'humidité du grain et, dans une moindre mesure, de la température si l'on considère les méthodes de conservation habituelles en silos non étanches, sous atmosphère non contrôlée.

La conservation des grains secs en silos souterrains étanches à l'abri de l'air et de la vapeur d'eau est une technique de stockage qui remonte à la plus haute antiquité [12]. La réalisation technique de structures effectivement étanches présente des difficultés considérables et ce n'est en fait que depuis la seconde moitié du 19^e siècle que sont réalisées dans le monde, des expérimentations à caractères scientifiques sur la conservation des grains secs et surtout humides [8, 13, 17].

D'une manière générale, la plupart des auteurs s'accorde à reconnaître un effet dépressif des atmosphères appauvries en oxygène, d'une part sur les insectes infestant habituellement les grains stockés et d'autre part sur les microorganismes, et notamment les moisissures qui se développent aux dépens des produits stockés. Si jamais le CO₂ peut être stabilisant vis-à-vis des microorganismes, Calderon, Banks [1], Paster *et al.* indiquent que les concentrations nécessaires seraient en tout état de cause considérablement plus élevées que celles qui permettent une inhibition satisfaisante des populations d'insectes.

Les indications recueillies quant à l'amplitude des phénomènes et les limites théoriques et pratiques du procédé pour des conservations à plus ou moins long terme et à différentes humidités, varient considérablement suivant les auteurs. Ces divergences de point de vue peuvent s'expliquer par exemple par des différences au niveau des critères de qualité testés sur les grains stockés et qui varient selon les pays et les coutumes, mais aussi au niveau des méthodes d'analyses mises en œuvre.

Au cours de l'étude présentée ici, des essais préliminaires réalisés au niveau laboratoire en cellule strictement étanches, sur des grains de riz paddy à différentes humidités sont comparés aux essais réalisés en semi-grandeur en cellules métalliques contenant du maïs à 21 % H₂O s.h. . Les résultats obtenus permettent de préciser les limites du système et de définir les quantités critiques d'oxygène pour la croissance des micromycètes.

Matériels et méthodes

Protocoles expérimentaux

Conservation en cellules étanches de 10 litres

Des grains de riz paddy sont réhumidifiés par addition des quantités d'eau nécessaires pour l'obtention de différentes activités d'eau (0,76; 0,86; 0,90 et 0,95) puis mises en équilibre pendant 5 jours à 5 °C. Les lots sont répartis en fonction des activités de l'eau dans 5 cellules en altuglass de 10 litres à raison de 6,2 kg de grains par cellule. Elles sont ensuite fermées

* s.h. : substance humide

hermétiquement puis placées dans une chambre thermostatée à 25 °C. Les grains sont au préalable surcontaminés artificiellement par une souche d'*Aspergillus flavus* toxigène afin de tester la biosynthèse possible d'aflatoxine B₁ sous de telles conditions.

L'évolution des concentrations d'O₂ et de CO₂ dans l'atmosphère intergranulaire est suivie afin d'effectuer un prélèvement (correspondant à l'ouverture d'une cellule) au moment précis où la pression artérielle de l'O₂ s'annule dans les cellules. Ceci est mis en évidence à l'aide d'un mesureur de type para-magnétique préalablement étalonné sur l'air ambiant et sur de l'azote pur. Les mesures du CO₂ sont effectuées avec un appareil à absorption infra-rouge, de type L.H. La fréquence des mesures effectuées est d'autant plus grande que l'activité de l'eau est élevée.

Stockage en cellules étanches de 1,5 m³

Une série de 5 silos étanches d'une capacité de 1,5 m³ chacun a été spécialement réalisée pour cette étude. Les silos sont équipés de capteurs de température et de pression et comportent des prises d'air permettant la mesure des pressions résiduelles d'O₂ et de CO₂.

Les silos sont remplis avec des grains de maïs à 21 % s.h. de teneur en eau, à raison de 1,3 m³ de grains par silo, puis fermés par un couvercle équipé d'un joint souple, boulonné sur le silo. L'orifice de vidange, ou bas des silos, est obturé de la même manière. Les 5 silos sont placés à l'abri du soleil, dans un hangar, où la température évolue dans une fourchette se situant entre 10 et 25 °C, durant l'expérimentation.

Des prélèvements sont effectués à cinq reprises correspondant chacune à l'ouverture d'un silo, respectivement après 1, 3, 5, 9 et 11 mois de stockage. Des analyses de laboratoire sont réalisées sur chaque prélèvement comme dans les essais en cellule de 10 litres.

Réalisation d'atmosphères contrôlées

Le confinement est obtenu par fermeture hermétique de 5 micro-silos contenant des grains de riz humides ($a_w = 0,95$) ou par balayage avec du CO₂ (100 %).

Les atmosphères expérimentales réalisées visent à préciser d'une part le comportement de la microflore des grains conservés au laboratoire vis-à-vis de l'O₂ et, d'autre part, le rôle éventuel du CO₂ sur l'écosystème.

Dans les micro-silos (5 par série d'essai) étanches d'une capacité de 10 litres, des quantités d'O₂ exactement connues sont journellement introduites dans les cellules en mélangeant des gaz (H.P.) en proportions convenables et en purgeant chacune des cellules avec ces mélanges par un balayage de quelques minutes (2 à 3 minutes). Selon les essais, l'O₂ est accompagné d'une forte proportion soit de CO₂, soit de N₂.

La figure 1 représente le schéma expérimental pour les différents essais réalisés.

Méthodes d'analyses

Teneur en eau des grains

Le dosage de l'eau est effectué selon la norme française AFNOR NF VO3-707 par séchage à l'étuve à 130 °C de 5 g de grains pendant 2 heures pour le riz paddy broyé et pendant 4 heures pour le maïs broyé.

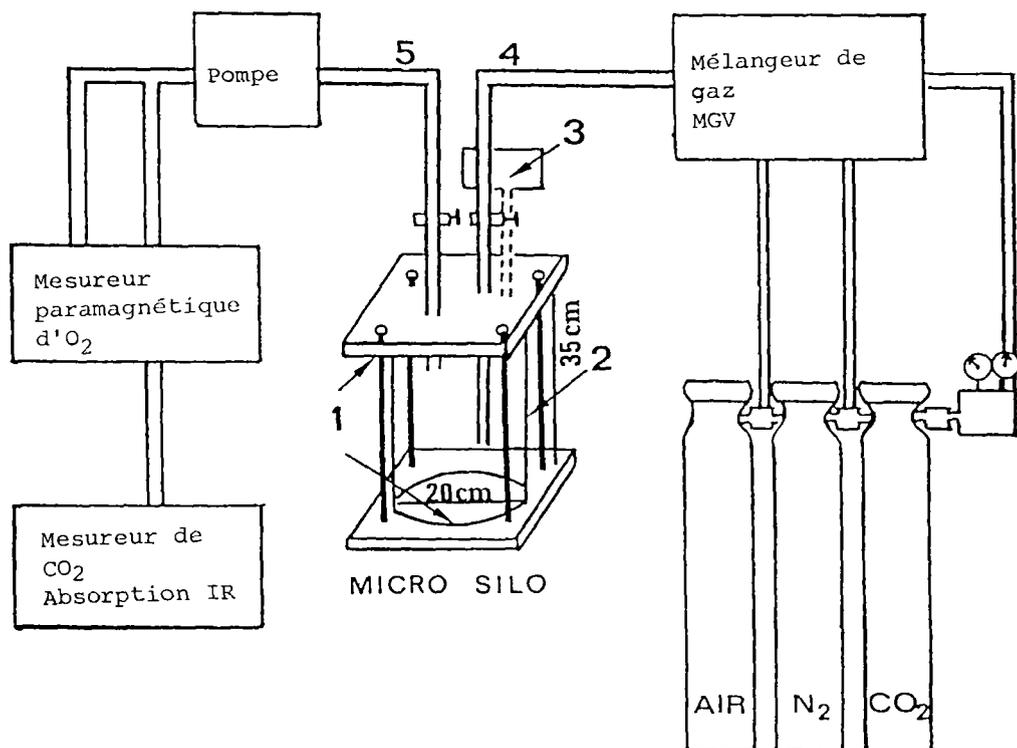


Figure 1. Représentation schématique du dispositif expérimental

1. joint vitron O-Ring; 2. altuglass (paroi transparente du micro-silo); 3. manomètre; 4. entrée de mélanges gazeux expérimentaux; 5. sortie de mélanges gazeux expérimentaux.

Analyses microbiologiques : dénombrement des bactéries et des micromycètes

Les dénombrements sont faits par la méthode des suspensions-dilutions, à partir de 100 g de grains broyés dans 400 ml de diluant à l'aide d'un mixer Waring-Blendor d'un litre en suivant les modes opératoires recommandés par les normes AFNOR VO8-201 et V18-301.

Les lactobacillus sont dénombrés sur milieu de Rogosa, Mitchell et Wiseman; les bactéries mésophiles aéro-anaérobies facultatives sur gélose numération (PCA).

Les micromycètes (levures et moisissures) sont dénombrés sur deux milieux gélosés. L'un à 20 g d'extrait de malt par litre, le second à 50 g d'extrait de malt et 50 g de chlorure de sodium par litre, ce dernier favorisant la mise en évidence d'espèces xérotolérantes; 0,1 g de chloramphénicol sont ajoutés à ces milieux de culture afin d'éliminer le développement des bactéries.

Dosages de l'ergostérol et de l'aflatoxine B₁

Dosage de l'ergostérol dans les grains

Le dosage de l'ergostérol a été pratiqué systématiquement suivant une technique d'extraction et de dosage par chromatographie liquide haute performance et adaptée par Cahagnier *et al.* [4]. Il permet une approche quantitative intéressante de la croissance mycélienne.

L'ergostérol est extrait par 200 ml de méthanol [3]; à partir de 50 g de grains broyés, saponifiés par la potasse alcoolique, puis extraits du mélange par l'éther de pétrole (60-80 °C), purifiés et analysés par HPLC.

Dosage de l'aflatoxine B₁.

La technique d'extraction et de purification employée est celle décrite par la norme AFNOR V18-200. Le dosage est effectué par HPLC et par détection en fluorescence à 362 nm.

Résultats et discussions

Influence de l'activité de l'eau des grains sur la vitesse de consommation de l'oxygène intergranulaire

La figure 2 montre les résultats obtenus sur le riz paddy en micro-silos. La vitesse de disparition de l'oxygène intergranulaire dépend très largement de l'humidité des grains et si une anoxie totale est obtenue en quelques heures à a_w 0,95 (25 % H₂O/substance humide), il faut trois jours pour atteindre cet état à a_w 0,90 (20 % H₂O s.h.). A a_w 0,86 (17 % H₂O s.h.) l'a-naérobiose est effective après 9 jours tandis que pour des grains secs à a_w 0,70 (14,5 % H₂O/s.h.), seule une faible diminution de la pression partielle d'oxygène est observée après trois mois.

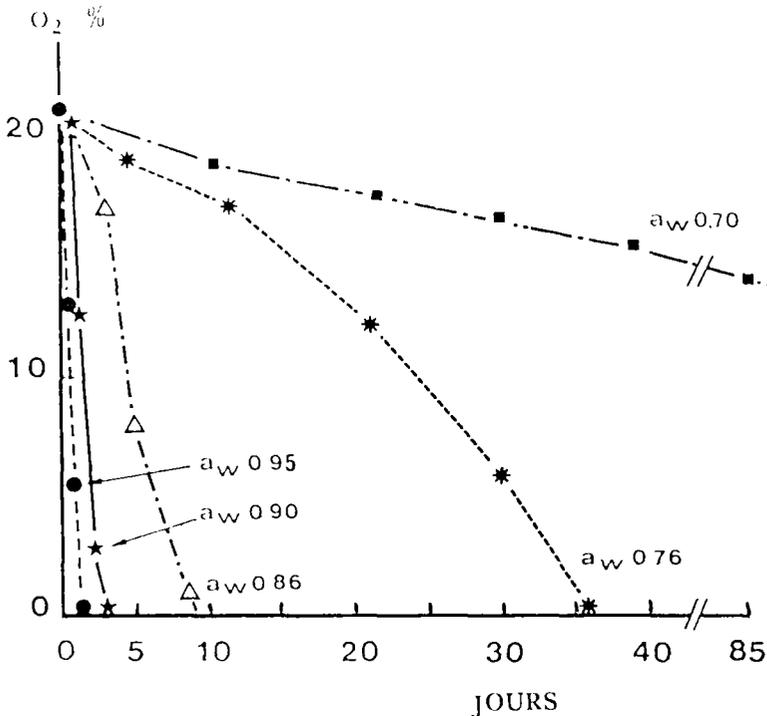


Figure 2. Vitesse de consommation de l'O₂ en fonction de l'a_w des grains de riz.

La figure 3 montre la production de CO₂ observée au cours de ces essais dans les cellules contenant des grains à a_w supérieure à 0,90 montrent l'existence de processus fermentaires dégageant du CO₂ en excès par rapport aux concentrations attendues de la respiration de l'O₂ intergranulaire. On sait qu'une proportion non négligeable du CO₂ produit peut s'adsorber sur les grains suivant l'état physique et l'environnement gazeux mais ces phénomènes, non étudiés ici, ne peuvent conduire qu'à une sous-estimation des fermentations.

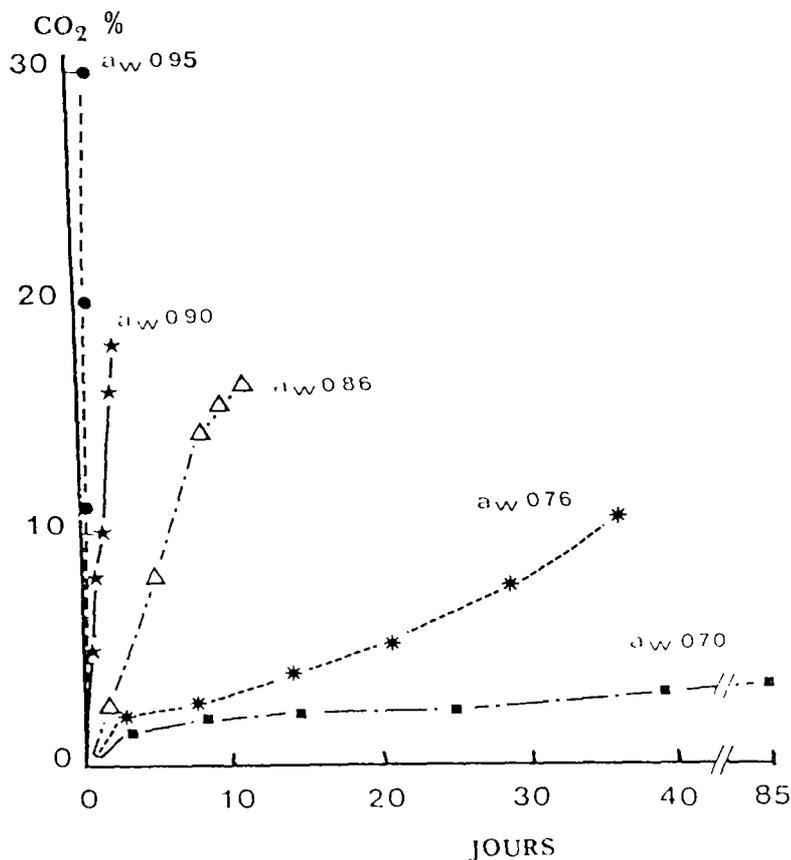


Figure 3. Production du CO₂ en fonction de l'a_w des grains de riz.

Sur le plan microbiologique, seule une multiplication significative des bactéries lactiques sur les grains les plus humides a été observée, la population globale passant de 10⁵ à 10⁷ en une vingtaine d'heures. Aucune autre activité microbienne et notamment aucune formation de mycotoxine n'a été observée, quelle qu'ait été la cinétique de consommation de l'oxygène.

En remettant à l'air libre les micro-silos à a_w comprise entre 0,85 et 0,95, on observe à nouveau une remise en anoxie aux vitesses décrites par la figure 1 et toujours sans conséquences microbiologiques. La conclusion, à ce stade, est que tant que l'oxygène se réduit à celui initialement contenu dans le silo, le grain est préservé des moisissures et des levures et quelques ouvertures du silo en début de stockage restent sans conséquence.

Evolution de la microflore des grains humides conservés en atmosphère confinée à a_w 0,90

Tenant compte des données de la littérature qui fixe à a_w 0,90 environ la limite inférieure pour le développement des bactéries lactiques [13] (Leistner, 1976), et considérant les moisissures comme des aérobies stricts, nous avons réalisé une conservation en anoxie à a_w 0,90 avec du maïs, pour vérifier la faisabilité du procédé. Mené en semi-grandeur sur des silos métalliques de 1,5 m³ de capacité, l'expérience s'est déroulée sur 11 mois et a donné les résultats microbiologiques résumés par la figure 4.

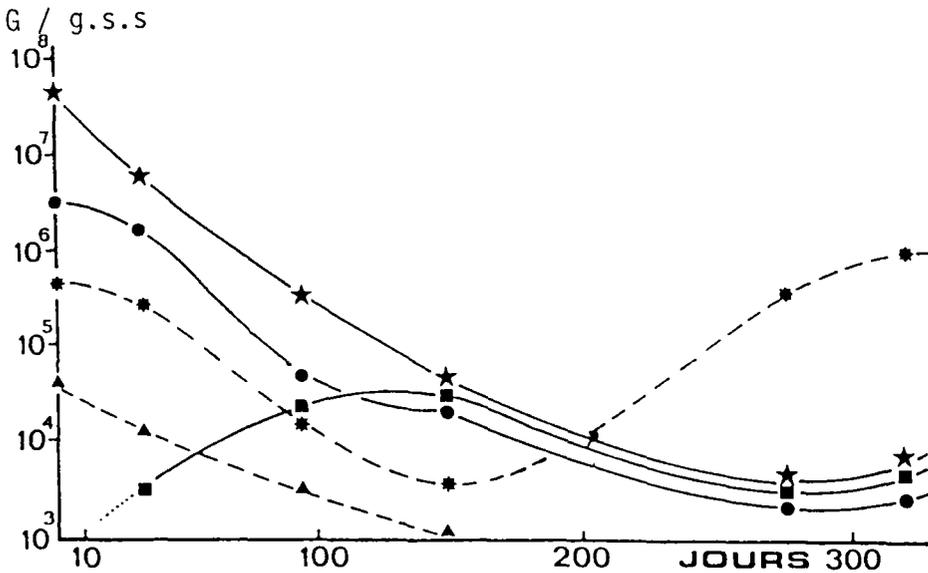


Figure 4. Evolutions microbiologiques du maïs conservé en silos métalliques étanches à a_w 0,90. (★) Bactéries mésophiles. (●) Anaérobies facultatives. (✱) Levures. (■) Bactéries lactiques. (▲) Moisissures.

Comme attendu, l'anoxie est établie dans chacun des silos en 3 à 4 jours, ce qui montre que d'une céréale à l'autre et d'une échelle à l'autre (fig. 2), les cinétiques sont tout à fait comparables.

Les populations de bactéries mésophiles diminuent comme celles des levures et des moisissures et après 150 jours de conservation à l'abri de l'oxygène, les moisissures ne sont plus dénombrables. On notera un léger développement des *Lactobacillus* au cours des 3 premiers mois, développement qui, ajouté à l'inévitable période de fermentation alcoolique se produisant pendant les premiers jours, communique aux grains une odeur agréable de fermenté, odeur d'ailleurs en grande partie perdue si l'on sèche le grain par la suite.

Après 150 jours, à 17 °C de température, les populations microbiennes sont très réduites, la «demande microbologique en oxygène» également (le pouvoir germinatif des grains est perdu et les germes ne respirent plus). On observe alors un phénomène inattendu qui est celui du développement de populations de levures appartenant vraisemblablement au genre

Candida et qui paraissent remarquablement adaptées à l'écosystème très particulier que constituent les grains humides stockés en anaérobiose [9, 19]. Ces observations posent évidemment la question de la tolérance de ces genres et espèces à l'anoxie et aux activités de l'eau réduites, et les résultats qui ont été obtenus dans cette direction sont exposés ci-après.

Il faut cependant noter que sur ces grains une évaluation de la qualité nutritionnelle a été réalisée sur poulets, lors d'essais conduits pendant 4 semaines en utilisant comme témoin le même grain de maïs maïs séché à 15 % H₂O s.h. dès la récolte.

Ainsi que le montre le Tableau I, la valeur nutritionnelle du grain conservé 5 mois sous atmosphère anoxique à a_w 0,90 serait légèrement supérieure à celle du témoin. Après 11 mois de conservation, le grain conservé humide montre toujours une efficacité alimentaire satisfaisante.

Tableau I. Mesure de la valeur nutritionnelle des grains. Essais sur poulet.

Régime	Stockage 5 mois		Stockage 11 mois	
	T	E	T	E
Matière sèche ingérée (g.M.S.)	2 092,1 (± 39,4)	2 179,6 (± 31,6)	1 988,3 (± 40,4)	1 907,9 (± 44,9)
Gain de poids (g)	1 016,7 (± 21,2)	1 119,5 (± 17,1)	1 022,5 (± 28,4)	1 011,2 (± 26,2)
Efficacité alimentaire	0,496 (± 0,004)	0,514 (± 0,003)	0,514 (± 0,001)	0,530 (± 0,047)

Evolutions microbiologiques de grains humides en présence de traces d'oxygène ou sous anaérobiose stricte

Les essais en anaérobiose stricte ont été conduits sur riz à a_w 0,95, soit en atmosphère simplement confinée, soit sous CO₂ pur en micro-cellules de 10 litres dont l'étanchéité à l'oxygène est vérifiée au préalable. Les essais dans lesquels des traces d'oxygène sont volontairement introduites pour simuler une fuite dans des silos hermétiques ont été conduits à a_w 0,95 et 0,87. La quantité minimale d'oxygène qui peut être introduite quotidiennement par la méthode de purge employée est de 5 µg d'O₂ par gramme de grain. Pour comparaison un essai parallèle a été conduit avec 10 µg O₂/gramme/24 heures. La figure 5 montre les effets de ces traces d'oxygène combinées à l'a_w des grains. Sur grains très humides, une multiplication très importante des *Lactobacillus* est obtenue, alors que ces bactéries ne peuvent se développer à a_w 0,87. A a_w 0,95, comme dans l'essai sur maïs maïs beaucoup plus rapidement, des levures se multiplient activement sur les grains. Trois espèces ont été identifiées : *Cryptococcus hungaricus* (Zsolt) Phaff et Fell, *Candida sp* d'une part (dénommées «autres levures» sur les figures) et *Hyphopichia burtonii* (Boidin) Von Arx, d'autre part. A une a_w de 0,87, les deux premières espèces ne sont plus capables de se maintenir et seule *Hyphopichia burtonii* qui manifeste donc une tendance à la xérotolérance se multiplie significativement.

La figure 6 obtenue en anaérobiose totale à a_w 0,95 démontre la dépendance des levures vis-à-vis de l'oxygène et confirme celle des moisissures. La stabilité des teneurs en ergostérol confirme l'absence de croissance de micromycètes dans ces conditions et, au passage, on

Conservation des céréales humides sous atmosphère contrôlée

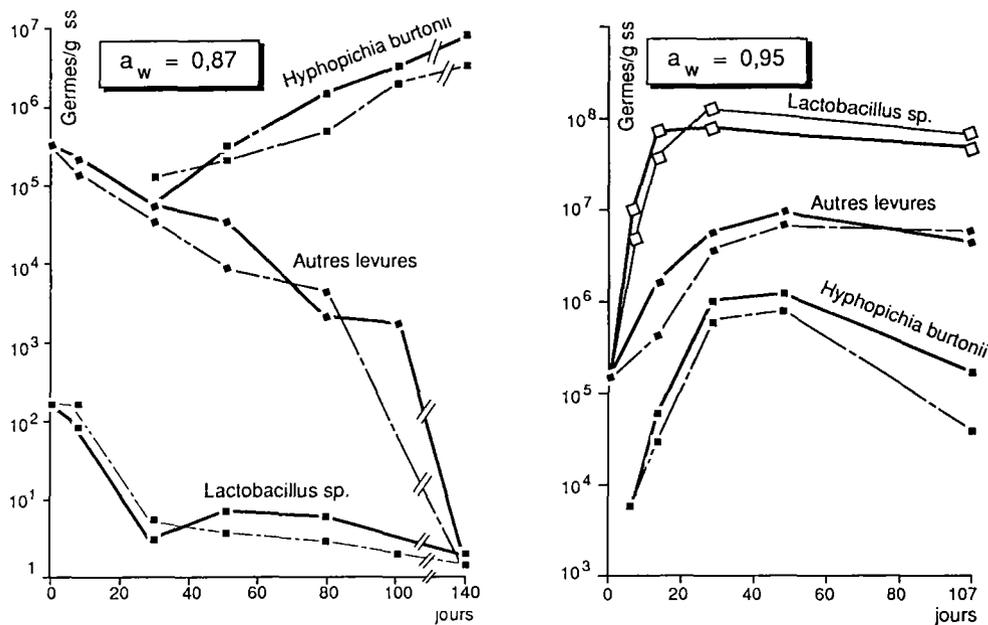


Figure 5

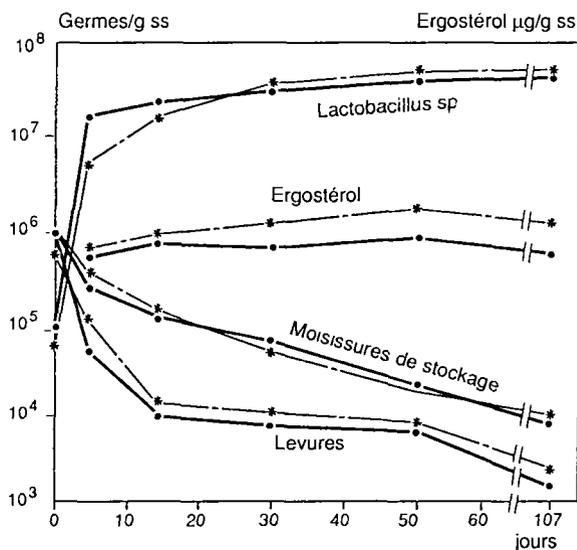


Figure 6

peut noter l'intérêt du dosage *a posteriori* de ce composé qui prouve une infection passée même lorsque tout germe revivifiable a disparu.

Cette expérience qui ne montre pas d'influence particulière des atmosphères de CO_2 pur sur la vitesse de régression des micromycètes, démontre le caractère aérobic strict des levures,

que nous qualifions ici de «levures de stockage», mais souligne le fait que des quantités d'O₂ extrêmement faibles suffisent à leur développement. Il est probable que l'émergence de ces levures dans l'essai sur maïs en semi-grandeur, après 5 mois de conservation (fig. 4) tient plus au fait qu'à ce stade, la plupart des consommateurs d'oxygène (germes, microorganismes divers) ont disparu et que les faibles quantités (non mesurables) qui pénètrent inévitablement sont entièrement disponibles pour ces populations remarquablement adaptées.

Effet de l'introduction des quantités croissantes d'O₂ sur l'évolution des populations microbiennes

Si le rôle que peut jouer le gaz carbonique quant à la conservation des grains humides reste incertain, l'influence déterminante de l'oxygène paraît clairement démontrée et il n'est pas certain que dans l'état actuel des technologies, il soit possible de construire des silos ayant un degré d'étanchéité suffisant.

Pour examiner l'influence qu'aurait l'introduction de quantités d'oxygène plus importantes, une conservation a été réalisée sur riz paddy à a_w 0,90 (élimination du développement des bactéries lactiques) avec des introductions journalières d'oxygène de 5, 10, 40 et 60 µg d'O₂/g respectivement.

Les figure 7 montre l'évolution des conidies de moisissures et d'*Hyphopichia burtonii* sous ces régimes gazeux.

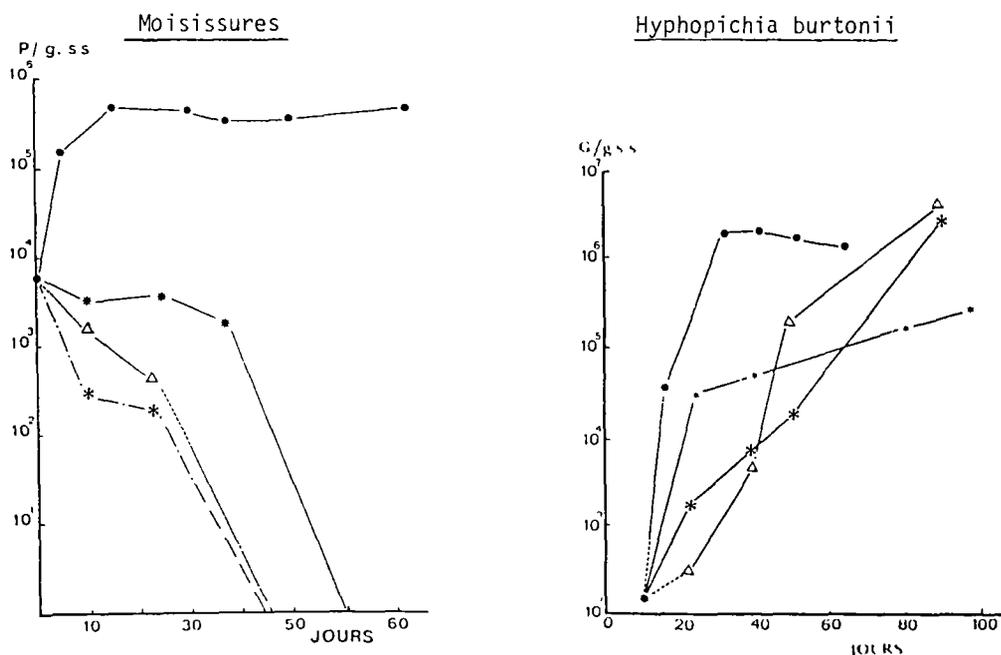


Figure 7. Evolution des micromycètes sur riz à 0,90 sous différentes quantités d'oxygène.

(●) = 60 µg d'O₂/g s/j (*) = 40 µg d'O₂/g s/j
 (Δ) = 10 µg d'O₂/g s/j (*) = 5 µg d'O₂/g s/j

Comme précédemment, *Hyphopichia* forme des blastospores dans tous les essais et d'autant plus vite et plus intensément que l'oxygène est plus disponible. Les moisissures en compétition restent par contre incapables d'assurer une conidiogenèse suffisante à moins de 40-60 µg d'oxygène par gramme de grain et par jour. A 60 µg O₂/g, un développement rapide de la sporulation est observé en début de stockage puis un régime stationnaire est atteint à 5.10⁵ conidies par gramme, régime qui traduit certainement la compétition entre levures et moisissures vis-à-vis de l'oxygène dans ces conditions. A ce stade, l'altération microbiologique reste faible si l'on en juge par les teneurs en ergostérol, mais est déjà visible. Cette quantité de 60 µg d'oxygène/g et par jour est donc sans doute déjà supérieure à ce qu'on pourra tolérer, à cette activité de l'eau, pour des conservations de ce type. On notera cependant que la souche d'*Aspergillus flavus* artificiellement introduite n'a produit aucune trace d'aflatoxine B₁ au seuil de 60 µg d'O₂/g/jour.

Conclusion

L'expérimentation à l'échelle pilote a montré la faisabilité du procédé à moyenne hydratation en prouvant la bonne qualité microbiologique, technologique et nutritionnelle des grains malgré un faible développement de levures de stockage imputable aux fuites du silo.

Jusqu'à des a_w 0,90 (ou plus si on envisage des conservations plus courtes), le procédé peut concurrencer très valablement les techniques utilisant des acides organiques ou le séchage, au moins pour certaines utilisations. La condition d'étanchéité est évidemment de toute première importance et la valeur de 40-50 µg d'O₂/g/jour ne doit pas être dépassée si l'on se contente d'une stabilisation des moisissures. Une étanchéité totale est nécessaire si l'on veut aussi bloquer le développement des levures «microaérotolérantes». A l'heure actuelle, il reste difficile de préciser si ces espèces peuvent ou non être utilisées pour créer, par fermentations contrôlées, des caractères organoleptiques nouveaux. Des tentatives récentes dans ce domaine (Flores-Galarza, 1985) permettent d'imaginer que, dans un avenir proche, l'industrie agro-alimentaire saura de mieux en mieux utiliser des grains conservés humides et ayant subi des fermentations contrôlées, pour créer des produits alimentaires nouveaux pour l'homme comme pour les animaux.

Références

1. Banks HJ. (1981). Effect of controlled atmosphere storage on grain quality. A review. *Food Technol*; 33 : 7, 335-340.
2. Banks HJ, Annio PC. (1980). Conversion of existing grain storage structures for modified atmosphere use. In : Shejbal J, ed. *Controlled Atmosphere Storage of Grain*. Elsevier Amsterdam, 461-473.
3. Cahagnier B. (1984). Contribution à l'étude de la sporulation, de la croissance mycélienne et de la biosynthèse d'ergostérol chez les moisissures des grains et graines au cours de la conservation. Thèse 3^e cycle. Université de Nantes.
4. Cahagnier B, Richard-Molard D, Poisson J, Desserme C. (1983). Evolution de la teneur en ergostérol des grains au cours de la conservation. Une possibilité d'évaluation quantitative et rapide de leur mycoflore. *Sci Aliments*; 3 : 219-244.
5. Christensen CH, Kaufmann HH. (1974). Microflora. In : Christensen CM, ed. *Storage of cereal grains and their products*. AACC, St Paul, Minnesota, pp. 159-192.

6. Forbes TJ. (1964). Some observations on the hermetic storage of undried barley and its use in pig feeding. *Agric Prog*; 40 : 55-67.
7. Gonen H, Calderon M. (1968). Changes in the microfloral composition of moist sorghum stored under hermetic conditions. *Trop Sci*; 10 : 2, 107-114.
8. Hyde MB, Oxley TA. (1960). Experiments on the airtight storage of damp grain : introduction, effect on the grain and the intergranular atmosphere. *Ann Appl Biol*; 48 : 4, 687-710.
9. Hyde MB. (1974). Airtight storage. In : *Storage of Cereal Grains*. AACC, St Paul, Minnesota, pp. 383-419.
10. Landers KE, Davis ND, Diener UL. (1967). Influence of atmospheric gases on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in peanuts. *Phytopathology*; 57 : 10, 1086-1090.
11. Multon JL, Sigaut F. (1982). Historique et prospective des technologies de stockage et de conservation des grains et graines. *Ind Agric Alim*; 9 : 1057-1171.
12. Poisson J. (1960). Conservation du grain en silos étanches. Introduction et étude historique. *Ann Technol*; 2 : 117-137.
13. Richard-Molard D. (1985). Stockage du maïs en atmosphère contrôlée. *Ind Agric Alim*; 5 : 435-411.
14. Richard-Molard D, Cahagnier B, Multon J.L. (1984). Pilot scale experiments on half-wet maize storage under airtight conditions : microbiological and technological aspects, In : Ripp BE ed. *Controlled atmosphere and fumigation in grain storage*. Elsevier, Amsterdam.
15. Richard-Molard D, Cahagnier B, Poisson J. (1980). Wet grains storage under modified atmospheres. Microbiological aspects. In : Shejbal J, ed. *Controlled atmosphere storage of grains*. Elsevier, Amsterdam, 173-182.
16. Rolando AFG, Glatz BA, Bern CJ, Van Fossen LD. (1985). Preservation of high-moisture corn microbial fermentation. *J. Food Prot*; 48 : 5, 407-411.
17. Shejbal J. (1979). Preservation of cereal grains in nitrogen atmosphere. *Res Recov Conservation*; 4 : 13-29.
18. Shejbal J, De Bois Lambert JN. (1982). Le stockage en atmosphère modifiée. In : Multon JL, Ed. *Conservation et stockage des grains et graines*. Lavoisier, Paris, pp. 772-800.
19. Teunisson DJ. (1954b). Yeasts from freshly combined rough rice stored in a sealed bin. *Appl Microbiol*; 2 : 215-220.

3

Les microorganismes fongiques saprophytes du maïs au cours de la conservation au Congo

C. MAKAMBILA

Département de Biologie et Physiologie Végétales. Faculté des Sciences. Université Marien Ngouabi, BP 69, Brazzaville, République Populaire du Congo

Résumé

Les dégâts enregistrés au cours de la conservation du maïs en République Populaire du Congo, sont principalement dus à deux types d'agents : les ravageurs, notamment les charençons, et secondairement, les microorganismes fongiques. Des isollements ont été réalisés sur un milieu de culture, à partir d'échantillons de grains de maïs prélevés dans les structures de stockage. Ces isollements ont permis d'identifier des champignons appartenant aux Ascomycètes (*Penicillium* et *Aspergillus*), aux Zygomycètes (mucorales) et aux Adélomycètes. Les facteurs favorisant le développement des microorganismes au cours de la conservation, aussi bien chez les paysans qu'à l'usine d'aliments du bétail, ont été étudiés. Ces facteurs sont en général : la température, l'humidité relative, l'absence d'un traitement phytosanitaire, l'état de propreté des structures de conservation...

L'action des microorganismes fongiques conduit à une dégradation qualitative du maïs destiné à la production d'un aliment du bétail. La qualité nutritive de celui-ci pose non seulement des problèmes au niveau des utilisateurs, mais elle contribue aussi à une réduction de l'activité d'élevage. Des améliorations devraient être apportées afin de réduire partiellement l'action des microorganismes fongiques au cours de la conservation. Celles-ci pourraient résulter d'une étude centrée sur une bonne connaissance des facteurs favorisant la propagation et le développement des microorganismes cités.

Introduction

Le maïs est une céréale dont la culture est très répandue en République Populaire du Congo. Sa transformation conduit à deux principaux produits qui interviennent dans l'alimentation humaine et animale. Il s'agit d'une pâte blanche obtenue à partir de grains de maïs écrasés au moulin après hydratation. Cette pâte entre dans l'alimentation humaine, principalement celle des nourrissons. Les autres produits obtenus après transformation sont utilisés dans l'alimentation animale.

Dans le premier cas, le maïs transformé provient directement des paysans, juste après la récolte ou après conservation dans les structures paysannes, notamment les claies et les paniers. Au contraire, le maïs dont la transformation conduit aux produits destinés aux animaux est conservé dans les silos. C'est au cours de cette conservation, et principalement dans les silos, que les agents fongiques saprophytes se développent et dégradent le maïs.

Nous nous sommes proposés en considérant les structures de conservation du maïs au Congo, notamment les silos de conservation :

- d'isoler et d'identifier les microorganismes fongiques saprophytes du maïs, présents dans les silos,
- et, secondairement, d'analyser les facteurs qui favorisent la propagation de ces microorganismes dans les structures de conservation du maïs.

Méthodes de conservation du maïs au Congo

Plusieurs méthodes de conservation sont couramment utilisées en milieu paysan. Le maïs est conservé principalement dans des paniers ou sur des claies (sortes d'étagères) installés dans les maisons, à côté ou au-dessus du feu qui en assure la dessiccation.

Paniers et claies sont construits à partir d'éclats de pétioles et de rachis du palmier à huile ou du palmier à raphia. Ces deux structures sont aussi dans d'autres régions préparées à partir des rotins obtenus des plantes appartenant au genre *Eremospatha*. Là encore, la dessiccation des grains est assurée par le feu.

Ces deux types de structures ne permettent de stocker que de faibles quantités de maïs.

Actuellement, de nouvelles mesures tendant à améliorer cette conservation ont vu le jour. Celles-ci se traduisent par l'installation de silos de conservation dans les chefs-lieux des régions productrices de maïs.

Les différentes méthodes qui viennent d'être citées et principalement les silos présentent un certain nombre de défauts qui de temps à autre favorisent le développement des microorganismes fongiques au cours de cette conservation. Ce sont : le taux d'humidité relative élevé de l'air présent dans les silos, la mauvaise ventilation du gaz carbonique à l'intérieur des silos et enfin le mauvais entretien de ces structures.

Méthodes de conservation. Pollution du maïs par les champignons

Les taux de pollution observés à partir de grains de maïs, conservés dans les trois structures citées ci-dessus, diffèrent selon le mode de conservation.

Les grains prélevés dans les claies et ensemencés sur un milieu de culture présentent de très faibles taux de pollution par les microorganismes fongiques. Les ensemencements réalisés à partir des grains de maïs provenant des paniers installés au-dessus des foyers ne permettent pas d'obtenir des champignons en culture, et mettent donc en évidence une absence de pollution des grains par les microorganismes fongiques.

C'est au contraire à partir des grains prélevés dans les silos que de nombreux champignons ont été isolés. Les résultats obtenus à partir des cultures réalisées montrent que le mode de conservation du maïs a une influence sur la pollution des grains par les microorganismes fongiques.

Identification des microorganismes fongiques

Méthode d'isolement

Les microorganismes sont isolés à partir de grains de maïs prélevés dans les silos. Les grains prélevés sont par la suite ensemencés dans des boîtes de Petri, à raison de 3 grains par boîte. Les boîtes contiennent un milieu de culture composé de cristomalt (10 g) de gélose ou Agar-Agar (15 g) et d'eau bidistillée (1 000 ml). Le milieu est autoclavé à 120 °C pendant 20 minutes puis réparti dans les boîtes de Petri, à raison de 20 ml par boîte. Avant que le milieu soit réparti dans les boîtes de Petri, 150 mg de streptomycine y sont ajoutés. Les boîtes de Petri ensemencées sont ensuite incubées à 28 °C dans l'obscurité pendant cinq jours, et les thalles différenciés sur le milieu sont observés au microscope.

Caractéristiques des thalles isolés

Trois groupes de thalles isolés. Ce sont :

— Des thalles appartenant à la classe des Ascomycètes et au genre *Aspergillus*. Ces thalles sont caractérisés par un mycélium filamenteux, ramifié et cloisonné. L'appareil de reproduction asexuée est constitué par des rameaux de conidiophores. Chaque conidiophore se termine par une tête globuleuse garnie de phialides qui portent chacune un chapelet de conidies pulvérulentes. Les différents thalles d'*Aspergillus* isolés diffèrent les uns des autres par la pigmentation des organes de reproduction asexuée qui sont colorés en noir, vert, jaune et brun. La grande majorité des thalles isolés sont représentés par le genre *Aspergillus*.

— Des thalles appartenant aux Siphomycètes et principalement à la sous-classe des Zygomycètes. Il s'agit du genre *Mucor*, caractérisé par un thalle filamenteux ramifié et non cloisonné. L'appareil de reproduction asexuée est constitué par des conidiocytes pédicellés qui produisent des conidies directes. Ce sont des vésicules sphériques formées au sommet des pédicelles appelées conidiophores ou sporocystophores. Les pédicelles sont constitués par des filaments dressés dont le sommet se renfle et devient un sporocyste ou conidiocyste.

— Quelques thalles appartenant aux Ascomycètes et principalement au genre *Penicillium*. Ces thalles ont un mycélium filamenteux cloisonné et ramifié et leur appareil de reproduction asexuée comprend des conidiophores porteurs de phialides. Les conidies sont disposées en chapelet aux apex des phialides.

— Le quatrième groupe de thalles obtenus est constitué par quelques champignons à filaments cloisonnés mais que nous n'avons pas pu identifier en raison de l'absence de fructifications asexuées ou sexuées.

Origine des microorganismes isolés

Les microorganismes isolés et décrits ci-dessus (genres *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium*) polluent le maïs soit avant la récolte dans les champs, soit au cours de sa dessiccation sur les claies, lorsqu'il est exposé à l'air. La présence dans de nombreux cas d'une humidité importante dans les grains de maïs permet un développement des microorganismes qui se poursuit plus tard dans les silos.

Facteurs favorisant le développement de microorganismes fongiques

L'étude des conditions dans lesquelles la conservation du maïs est réalisée a permis de reconnaître quelques facteurs responsables du développement des microorganismes dans les silos. Ce sont :

La température

Les valeurs de la température qui permettent un développement des *Aspergillus*, *Mucor* et *Penicillium* sont comprises entre 20 et 36 °C. L'intervalle de température favorable à un optimum de la croissance et de la différenciation des organes de reproduction asexuée se situe entre 24 et 28 °C. Ces températures sont couramment obtenues dans ces structures et expliquent le développement et la propagation de ces microorganismes.

L'humidité relative

L'humidité relative est un important facteur pour le développement des champignons. Elle intervient aussi bien pour le développement du thalle que pour la germination des organes de propagation cités ci-dessus. Les taux d'humidité relative de l'air présent dans les silos sont souvent supérieurs à 50% et permettent le développement des champignons. Ces valeurs élevées sont souvent obtenues dans les silos construits en tôle, par l'effet de la condensation, ou encore par une mauvaise étanchéité des joints qui laissent s'infiltrer les eaux de pluies à l'intérieur des silos.

Mauvais entretien des structures de conservation

Deux types de silos sont installés au Congo. Des silos en fer et d'autres en tôle ondulée. Pour le premier type, la ventilation est faite au gaz carbonique, et pour le second, à l'air. Dans certains cas, un mauvais entretien du système de ventilation favorise la propagation des microorganismes fongiques dans les silos.

Absence d'un traitement fongique avant la conservation du maïs

Au Congo, le maïs ne subit aucun traitement avant sa conservation aussi bien en milieu paysan que dans les silos. Ceci favorise une fois de plus le développement des microorganismes fongiques.

Conclusion

La conservation du maïs dans les silos pose actuellement des problèmes au Congo. En plus des dégâts dus aux Coléoptères, il faut ajouter ceux qui sont dus aux microorganismes fongiques. Toutes ces actions entraînent une dégradation du maïs et celle-ci a pour conséquence une baisse de la qualité des produits obtenus par la transformation des grains, aussi bien destinés à l'alimentation humaine qu'animale.

La production d'aliments pour les animaux d'une qualité correcte paraît être actuellement l'un des souhaits les plus exprimés par les éleveurs. L'obtention de cette qualité nécessite un certain nombre de mesures dont quelques-unes devraient consister à améliorer les conditions de conservation du maïs dans les silos.

4

Intérêt du mélange deltaméthrine + organo-phosphorés pour la protection des céréales stockées dans les pays tropicaux

J. DUGUET

Roussel UCLAF, 163, avenue Gambetta, 75020 Paris, France

Résumé

La deltaméthrine est un insecticide pyréthrinoïde utilisé seul ou synergisé, efficace contre les principaux ravageurs des grains. Ses caractéristiques sont différentes des insecticides déjà commercialisés pour la protection des grains.

— Elle a une activité résiduelle généralement supérieure à 1 an.

— Elle est très efficace sur *Rhizopertha dominica*, *Sitotroga cerealella*, *Corcyra cephalonica*, *Prostephanus truncatus*, *Trogoderma granarium*. Les charançons et, principalement, *Sitophilus zeamais*, réapparaissent les premiers dans les grains traités à la deltaméthrine.

— Elle est synergisée par le butoxyde de pipéronyl alors que dans l'association avec les organo-phosphorés ceux-ci ont leur activité retardée par le synergiste.

— On a remarqué que certaines espèces résistantes au malathion manifestaient une sensibilité accrue à la deltaméthrine.

Du fait des spectres d'activité complémentaires, le mélange deltaméthrine + organo-phosphorés présente certains avantages économiques. Selon les objectifs souhaités ce mélange peut avoir des proportions différentes mais, en général, ces proportions restent voisines de 0,5 ppm de deltaméthrine + 5 ppm de fenitrothion ou de chlorpyrifos méthyl ou de pirimiphos méthyl, pour une protection de 8-10 mois dans les pays chauds.

Introduction

Les pertes après récoltes préoccupent depuis très longtemps tous les pays tropicaux; leur importance est d'autant plus grande que les ravageurs impliqués se trouvent dans des conditions de développement optimales : 30 à 32 °C et 80 % d'humidité relative. Les fumigants utilisés avec succès ont une efficacité totale mais aucune rémanence. Les organo-phosphorés sont très efficaces contre certaines espèces, telles que les charançons du genre *Sitophilus*, mais se montrent insuffisants contre les capucins *Rhizopertha dominica* (F.) et *Prostephanus truncatus* (Horn). De plus leur activité est de courte durée sur *Sitotroga cerealella* (Oliv.), *Corcyra cephalonica* (Stn), *Trogoderma granarium* (Everts) et les bruches du genre *Callosobruchus*. Bien que *Sitophilus* sp soit le principal ravageur, les organo-phosphorés ne peuvent pas assurer la protection du maïs et du riz, principales céréales vivrières de la zone tropicale, plus de 6 mois dans les régions où prolifèrent ces ravageurs [1].

Les pyréthrinoïdes et, plus particulièrement la deltaméthrine (DTM) connue sous l'appellation K-Othrine grain, sont proposés dans de nombreux pays comme nouveaux insecticides pour la protection des denrées. La deltaméthrine est un insecticide complet à large spectre d'activité doté d'une activité résiduelle très longue, de plusieurs années dans certains cas. Mais ces deux qualités sont obtenues avec un prix de revient souvent plus élevé que celui des organo-phosphorés. Dans un but de compétitivité, on a recherché à développer l'association deltaméthrine + organo-phosphorés.

Caractéristiques comparées de la deltaméthrine et des organo-phosphorés

Spectre d'activité

La deltaméthrine est efficace à une dose inférieure à 1 mg/kg (ppm), sur *Callosobruchus maculatus* (F.) et *C. chinensis* (L), *S. cerealella*, *C. cephalonica*, *Cryptolestes* sp. *Carpophilus hemipterus* (F). Elle est très efficace contre *R. dominica*, *P. truncatus*. Parmi les autres ravageurs, la protection contre les attaques de *Sitophilus* sp. nécessite au minimum une dose d'application supérieure ou égale à 1 ppm, et dans les pays équatoriaux, *S. zeamais* est plus exigeant (fig. 1) : Von Berg et A. Biliwa [2] au Togo ont trouvé qu'il fallait 2 ppm pour obtenir une durée de protection supérieure à 10 mois.

Les ravageurs des grains ont une sensibilité aux organo-phosphorés différente selon l'espèce. Les charançons sont les plus sensibles. Le seuil d'efficacité est souvent inférieur à 1 ppm. *Oryzaephilus surinamensis* (L) est détruit avec des doses de l'ordre de 4 ppm, alors que *Tribolium* sp et *Callosobruchus* sp. nécessitent déjà des doses plus élevées si l'on veut maintenir pendant plusieurs mois l'efficacité insecticide. *S. cerealella* et *T. granarium* sont très tolérants et *R. dominica* et *P. truncatus* sont difficilement contrôlés aux doses utilisées, même les plus élevées.

Coulon [3] estimait qu'il fallait 5 à 6 fois plus de deltaméthrine ou de pirimiphos méthyl pour contrôler *T. confusum* (J. Duval) que *S. Granarius*. Si l'adulte de *T. confusum* est tolérant aux insecticides sa larve est plus sensible.

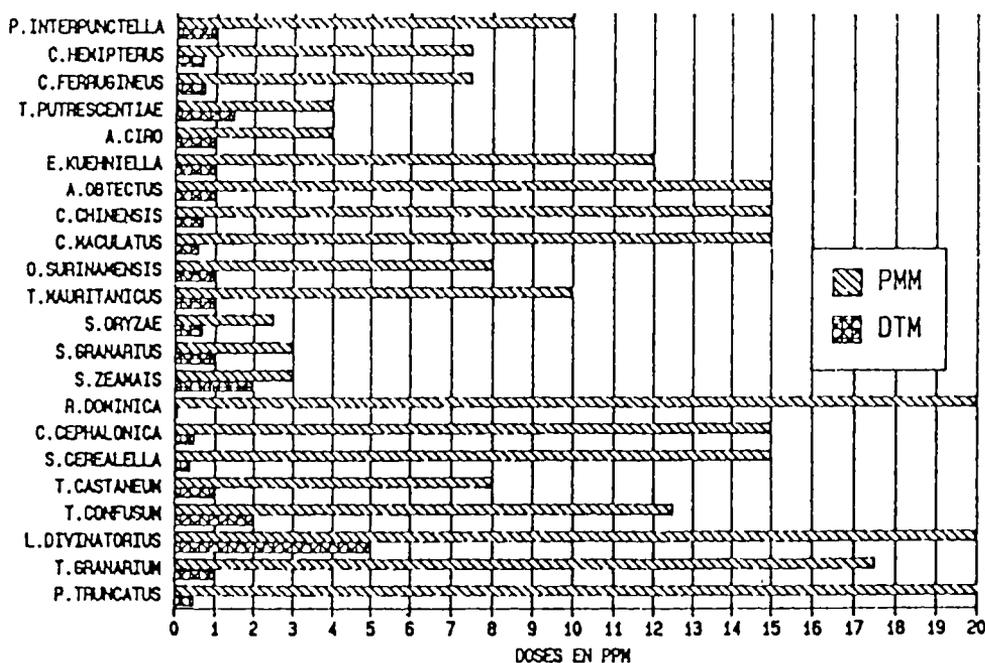


Figure 1. Doses en ppm qui assurent 100 % de contrôle pendant 6 à 8 mois dans les pays chauds.

Activité résiduelle et demi-vie

Les analyses d'insecticides en Australie sur blé tendre par Bengston [4], en Tanzanie sur maïs, par Mushi [5], en Zambie sur maïs par Mwiinga et Mainga [6] (fig. 2), etc., font apparaître, après les pertes normales au moment du traitement, une dégradation dans le temps très lente pour la deltaméthrine et variable pour les organo-phosphorés selon la température et la teneur en eau du grain.

Selon Noble [7], la demi-vie de la deltaméthrine est de 28 mois à 25 °C pour un blé à 12 % de teneur en eau du grain et 9 mois à 35 °C et 15 % de teneur en eau. En conséquence, la dose de deltaméthrine dans les pays équatoriaux chauds et humides est généralement fixée à un niveau plus élevé.

Caractéristiques propres à une association deltaméthrine + organo-phosphorés (OP)

Objectif technique de l'association

L'objectif est double :

1) associer à la deltaméthrine un organo-phosphoré à une dose suffisante pour détruire les charançons. Le seuil d'efficacité contre *Sitophilus* sp. du chlorpyrifos méthyl, du pirimiphos

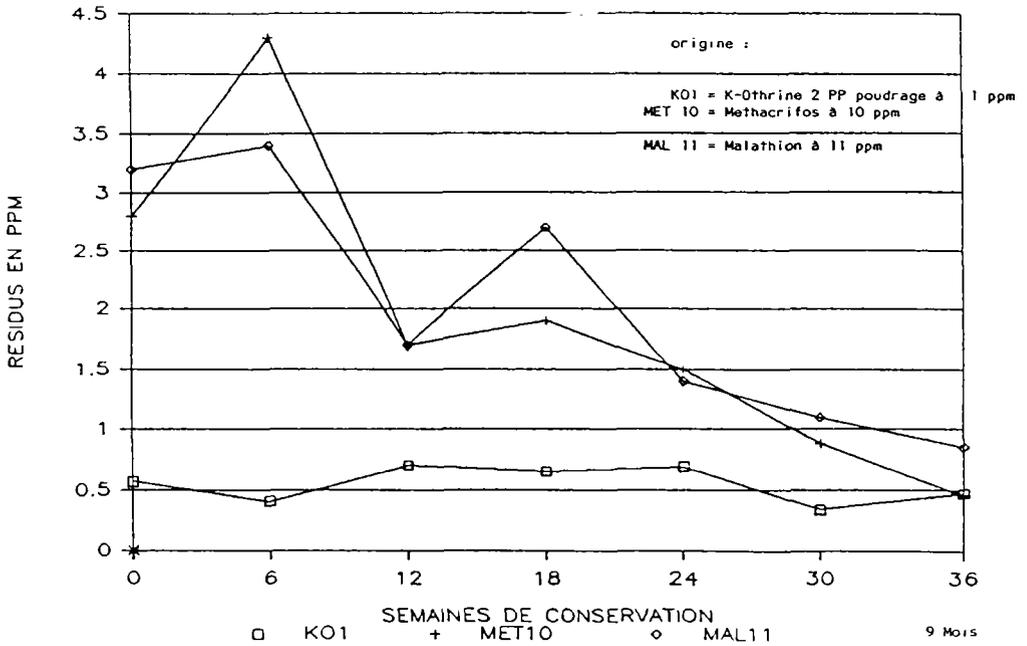


Figure 2. Résidus de deltaméthrine-malathion et méthacrifos sur maïs déspathé en Zambie en 1986.

méthyl, du fenitrothion et du malathion, est inférieur à 1 ppm, mais plus le temps de stockage est long, plus cette dose doit être augmentée.

2) maintenir une dose de deltaméthrine suffisante pour protéger la céréale contre la plus large gamme d'espèces de ravageurs potentiels, excepté *Sitophilus* sp. Cette dose oscille autour de 0,5 à 0,75 ppm.

Le choix du ratio DTM/OP est primordial pour couvrir pendant un temps déterminé un spectre de ravageurs variable selon les pays.

La résistance

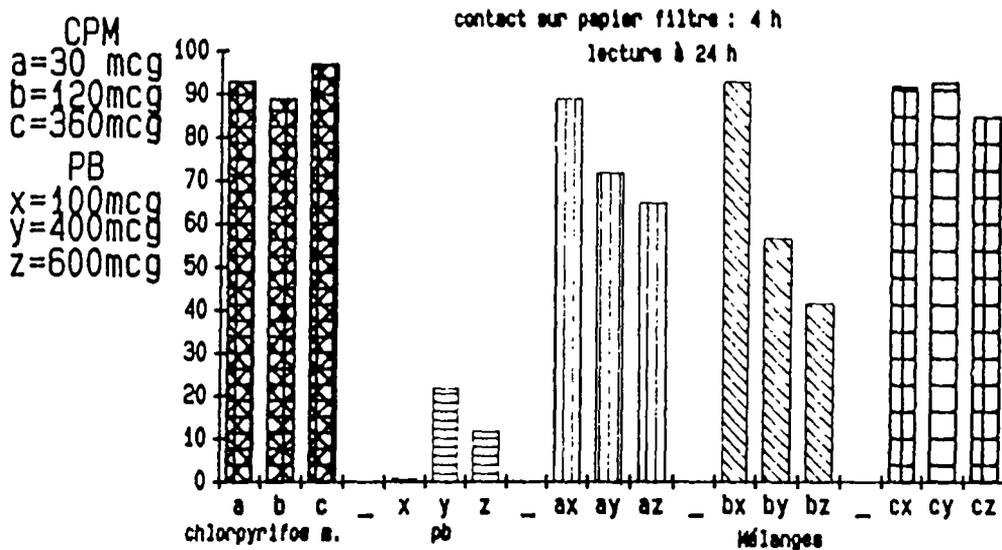
Bengston [4] a constaté en Australie que la résistance des souches locales de *S. oryzae*, *T. castaneum*, *R. dominica*, aux insecticides organo-phosphorés n'affectait pas les résultats de la deltaméthrine.

Picollo de Villar [8], en 1987, a trouvé en Argentine qu'une race locale de *T. castaneum* résistante au malathion était dix fois plus sensible à la deltaméthrine qu'une espèce non-résistante. L'association paraît garantir l'efficacité sur les ravageurs actuellement résistants aux OP.

Influence du butoxyde de pipéronyl sur le mélange deltaméthrine + organo-phosphorés

Fleurat Lessard [9], en laboratoire, sur papier filtre et avec *S. zeamais*, a montré que le butoxyde de pipéronyl a un effet retardateur sur les organo-phosphorés (fig. 3) dans les

Rôle du PB dans l'association PB + CPM.



Rôle du PB dans l'association PB + OP

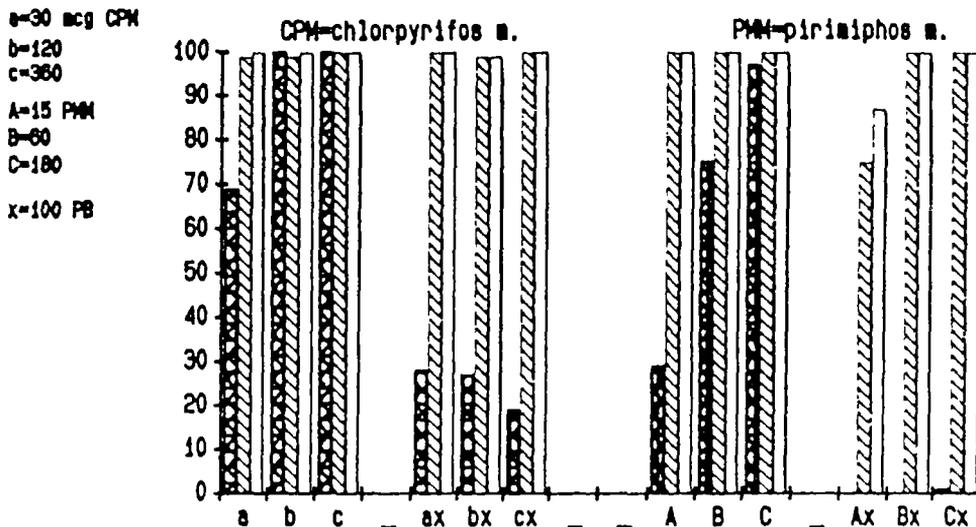


Figure 3. Effet retard du PB observé à 24 h sur chlorpyrifos méthyl (fig. du haut) et sur pirimiphos-méthyl (fig. du bas). L'effet retard disparaît aux doses de l'expérience dès le 4^e jour. Essai sur papier filtre.

comptages effectués 4 heures après le traitement. Cet effet retardateur disparaît dès le 4^e jour, durée à partir de laquelle les effets redeviennent comparables à ceux obtenus avec l'OP utilisé seul.

La synergie DTM/PB dans le rapport optimal 1/10 a été montrée par Coulon [10] sur *S. granarius*; il obtenait un coefficient multiplicateur de 4.

L'effet de synergie du butoxyde de pipéronyl avec la deltaméthrine et son effet retardateur sur les OP diminuent son intérêt dans l'association DTM et OP.

Le butoxyde de pipéronyl étant photolabile, son utilisation dans les poudres semble illusoire dans la mesure où le poudrage est effectué à l'air libre avant la mise en grenier.

Conclusion

La deltaméthrine est un insecticide qui a un spectre d'activité suffisamment large pour être utilisée seule. Toutefois, pour améliorer le prix de revient des traitements de protection des grains stockés, l'association avec un organo-phosphoré, pirimiphos méthyl ou chlorpyrifos méthyl ou même fenitrothion, apporte une amélioration à la lutte contre *Sitophilus* sp. due à l'OP principalement et une solution aux autres ravageurs et principalement, *R. dominica*, *P. truncatus*, *S. cerealella*, *C. cephalonica* avec la deltaméthrine. Le choix des doses de deltaméthrine et celle de l'OP dépend des ravageurs, du temps de protection demandé et des conditions climatiques des zones à traiter. Un dosage de l'association type : 0,5 ppm de deltaméthrine plus 5 ppm d'organo-phosphoré peut servir de base de départ. Des essais devront être entrepris dans chaque région pour déterminer les proportions les mieux adaptées aux exigences locales.

Références

1. Arcozzi L, Contessi A. (1986). Prova di efficacia di K-Othrine Grains CE (PA deltamethrin sinergizzato con piperonilbutossido) in confronto a malathion et pirimiphos-methyl su crumento tenero infestato da *Sitophilus granarius* L. e *Rhizopertha dominica* F. in nuove acquisizioni sulla protezione dei cereali immagazzinati. Incontro di aggiornamento tecnico, Bologna, 4 novembre 1986.
2. Von Berg A, Biliwa A. (1987). Lutte contre le grand capucin du maïs, *Prostephanus truncatus* Horn (Coleoptera Bostrichidae) dans les greniers traditionnels du Sud Togo sur maïs spathé. Service de la Protection des Végétaux, BP 1263 Lomé, Togo.
3. Coulon J. (1983). Sensibilité comparée de *Sitophilus granarius* et *Tribolium confusum* à diverses substances utilisables dans la désinsectisation de céréales stockées. In : *La conservation des céréales en France*. Les ATP de l'INRA; 1 : 35-147, INRA éd., Versailles.
4. Bengston M, Davies RAH, Desmarchelier JM, Henning R, Murray W, Simpson BW, Snelson JT, Sticka R, Wallbank BE. (1983). Organophosphorothioates and synergised synthetic pyrethroids as grain protectants on bulk wheat. *Pestic Sci*; 14 : 374-384.
5. Mushi AM, Nyakunga B, Marenga D. (1984). Field evaluation of different insecticides for control of the larger grain border, *Prostephanus truncatus* (Horn) under hot and humid conditions in eastern Tanzania. Ministry of Agriculture Pest Control Services, Arusha, Tanzania.
6. Mwiinga GM, Mainga A. (1986). Report on the "use of methacrifos and deltamethrin as storage insecticide" trial. MI ST, TTC Food Storage Officer Mt. Makulu.
7. Noble RM, Hamilton DJ, Osborne WJ. (1982). Stability of pyrethroids on wheat in storage. Australia. *Pestic Sci*; 13 : 246-252.

Protection des céréales stockées dans les pays tropicaux

8. Picollo de Villar MI, Wood E, Seccacini-Zerba E, Martelli E. (1987). Susceptibilidad exaltada a piretroides en una cepa de *Tribolium castaneum* resistente a malathion. Possible mecanismo. Centro de investigaciones de plagas et insecticidas. Zufriategui 4280 -U.
9. Fleurat-Lessard F, Serrano B. (1987). Effet retardateur du butoxyde de pipéronyl associé au CPM PMM et à l'etrimfos. (essai sur papier filtre). *Communication personnelle*.
10. Coulon J, Barres P. (1978). Résultats obtenus avec quelques pyrèthrinoïdes appliqués au charançon du blé. INRA Laboratoire de Phytopharmacie. Bull CILDA; 9 : 8-20.

5

Possibilités d'amélioration de la résistance variétale du riz aux insectes des stocks

B. SAUPHANOR

Institut des Savanes. BP 635, Bouaké, Côte d'Ivoire

Résumé

Des expérimentations sont conduites en Côte d'Ivoire pour établir la sensibilité de 80 variétés de riz, issues de différents groupes génétiques, à 3 ravageurs primaires des grains stockés : *Sitophilus zeamais*, *Rhyzoperta dominica* et *Sitotrogra cerealella*. Des relations sont recherchées entre la résistance à chacun de ces ravageurs et les caractéristiques des grains. Des échantillons de riz paddy et cargo sont constitués pour chaque variété et conditionnés en enceintes fermées pour être infestés artificiellement à partir de pontes ou d'adultes issus d'élevages de masse.

De fortes différences variétales sont observées sur le riz paddy pour la résistance à *S. zeamais* et à *R. dominica*, de nombreuses variétés étant exemptes d'attaque ou peu attaquées. Les différences sont plus faibles pour *S. cerealella* : aucune variété n'est exempte d'attaque et seules quelques-unes, essentiellement parmi les *O. glaberrima* et quelques variétés du groupe indica, présentent un bon niveau de résistance.

La résistance du riz paddy aux deux coléoptères est conditionnée essentiellement par le taux d'étanchéité des glumelles, la pénétration ne pouvant se faire qu'à la faveur de défauts de fermeture, soit cassure mécanique au moment du battage, soit mauvaise coaptation entre les deux parties de l'enveloppe. Ce caractère influe moins sur la résistance à *S. cerealella*, dont les larves ont la faculté de traverser des enveloppes intactes au niveau du pédoncule du grain. Une relation est observée entre la résistance à cet insecte et le taux d'égrenage, lui-même lié à la dureté du pédoncule.

Les caractéristiques du caryopse ont peu d'influence sur la résistance du riz à ces insectes. Il n'apparaît que peu de différences variétales pour la résistance du riz cargo aux trois insectes considérés. Comparativement au riz paddy, l'infestation par *S. zeamais* et *R. dominica* est très sévère, et l'infestation par *S. cerealella* est par contre modérée.

Introduction

Les premiers travaux d'amélioration variétale du riz pluvial conduits à Bouaké permirent l'obtention de cultivars de taille plus courte que les variétés traditionnelles, présentant une bonne productivité ainsi qu'une certaine rusticité. La vulgarisation de certaines d'entre elles se heurta cependant au refus des utilisateurs en raison des fortes pertes subies au stockage, ce qui désigna la résistance aux insectes des stocks comme critère à prendre en compte pour la sélection.

Les principaux ravageurs primaires des stocks de paddy en Côte d'Ivoire sont *Sitotroga cerealella* Ol., *Sitophilus oryzae* L., *Sitophilus zeamais* Mots. et *Rhyzoperta dominica* F. Conformément aux données fournies par la littérature, les variétés sans défauts de glumelles testées à Bouaké présentent un bon niveau de résistance à *Sitophilus* sp. Il apparaît plus difficile de relier la résistance à *S. cerealella* aux caractéristiques des grains. Nous conduisons dans ce but une série d'expérimentations où sont comparées des variétés issues de groupes génétiques différents. Pour chacune d'entre elles, les tests portent à la fois sur des échantillons de paddy et de riz décortiqué, afin de séparer les facteurs de résistance liés aux enveloppes des grains de ceux liés au caryopse.

Méthodes expérimentales

Matériel biologique

Variétés de riz. L'étude porte sur 84 variétés multipliées en culture pluviale à Bouaké. Pour 8 d'entre elles, on dispose également d'un échantillon multiplié à Bouaké en culture irriguée. Toutes sont testées sous forme de paddy mais seulement 60 d'entre elles sous forme de cargo, la quantité de grains disponibles pour les autres étant insuffisante. Après récolte et séchage, les échantillons sont ramenés à la teneur en eau de 13 % par addition d'eau (méthode définie par l'AFNOR), puis laissés pendant un mois en sachets ouverts dans la salle d'expérimentation pour qu'ils s'équilibrent avec l'air ambiant.

Insectes. Ils proviennent d'élevages de masse au laboratoire sur riz paddy.

Réalisation

Des échantillons de 20 g par variété, conditionnés en boîtes plastiques cylindriques, sont infestés avec 5 couples d'adultes, retirés au bout de 10 jours, pour *S. zeamais* et *R. dominica*, et avec une plaque de 20 œufs embryonnés pour *S. cerealella*. Trois répétitions sont réalisées dans chaque cas.

Observations

Sur les insectes. Elles portent sur le nombre et le poids des adultes au bout de 60 jours sur cargo et de 80 jours sur paddy pour les deux premières espèces, et, pour *S. cerealella*, sur le taux de survie de la première génération, donné par le rapport :

$$\frac{\text{nombre d'adultes de 1}^{\text{ère}} \text{ génération}}{\text{nombre d'œufs éclos}} \times 100$$

Sur les grains. Afin d'établir des relations avec la résistance aux insectes, différentes caractéristiques des grains font l'objet de mesures quantitatives.

Une partie d'entre elles est réalisée à Bouaké : taux de glumelles ouvertes ou cassées, taux d'égrenage à maturité, taux de paille, pilosité des glumelles, poids de 1 000 grains, longueur et largeur du caryopse, teneur en eau des grains avant infestation, étalement et gélification à la potasse.

Des échantillons sont envoyés aux laboratoires de technologie de l'IRAT et de l'IRRI, pour l'analyse de la composition biochimique des grains : teneur en amidon, taux d'amylose et d'amylopectine, protéines totales, teneur en lipides, taux de silice dans les glumelles.

Résultats

Des différences significatives de résistance variétale aux trois insectes considérés apparaissent au sein de l'échantillon, qu'il s'agisse du riz paddy ou du cargo (Tableaux I et II).

Les perturbations intervenues au niveau des salles d'élevage en fin d'expérimentation semblent avoir interrompu le développement des deux coléoptères sur paddy, se traduisant pour *S. zeamais* par l'absence de descendants sur de nombreuses variétés, et par un coefficient de variation supérieur à 50 % après transformation. On note cependant pour ces deux insectes la forte résistance des variétés du groupe G1 et de plusieurs variétés des groupes G4, G5 et type spécial. Le plus grand nombre de variétés sensibles se rencontre dans les groupes G2, périphériques de G3-G4, et «mal classés». Bien que la variabilité soit plus faible pour la résistance du paddy à *S. cerealella*, les variétés du groupe G1 et quelques variétés des groupes G4 et G5 sont les plus résistantes (Tableau I).

Bien qu'inférieures à celles observées sur paddy, les différences variétales sur riz décortiqué sont hautement significatives pour les trois insectes étudiés, différant en cela de la plupart des résultats cités dans la littérature. Les variétés du groupe G1 (*O. globerrima*) sont les moins sensibles (fig. 1, 2 et 3). Des variétés présentant un bon niveau de résistance sont rencontrées dans d'autres groupes variétaux mais, à l'état de cargo du moins, aucune n'est résistante aux trois insectes.

Le taux de développement de *S. zeamais* et de *R. dominica* est beaucoup plus élevé sur cargo que sur paddy, mais *S. cerealella* se développe mieux sur paddy que sur cargo. L'enveloppe n'étant pas consommée par cet insecte, on peut penser qu'elle sert d'appui aux larves pour pénétrer dans le caryopse.

Facteurs environnementaux

Pour quelques variétés, un échantillon supplémentaire provenant d'une multiplication en culture irriguée a été testé parallèlement aux échantillons pluviaux.

On constate que les échantillons de paddy provenant de la culture irriguée sont en moyenne deux fois infestés par *R. dominica* et *S. zeamais* que les échantillons pluviaux (fig. 4). Cet élément, déjà observé sur des expérimentations conduites à Bouaké, provient en partie du fait que le défaut de fermeture des glumelles, favorable à ces deux insectes, se manifeste surtout en culture pluviale. C'est particulièrement net pour IRAT 144 et IDSA 6, dont les taux de glumelles ouvertes sont respectivement de 20 et 12 % en culture irriguée, et de 44 et 58 % en culture pluviale (valeurs supérieures à celles enregistrées les années précédentes). Pour douardo précoce, c'est exceptionnellement l'échantillon irrigué, présentant un plus fort taux de

B. Sauphanor

Tableau I. Développement comparé de *S. cerealella* (% de survie de la première génération), *R. dominica* et *S. zeamais* (nombre d'adultes à 80 jours) sur différentes variétés de riz.

GROUPE	VARIETE	SITOTROGA		RHYZOPERTA		SITOPHILUS	
		PADDY	CARGO	PADDY	CARGO	PADDY	CARGO
G1 (<i>O. glaberrima</i>)	BG 35	12	19	3	78	0	107
	BG 136	26	23	0	69.8	0	53
	BG 141	8	12	1	85	0	29
	BG 187	44		10.3		0	
	YG 275	21	13	2.3	105	0	74
	CG 18	29		1.3		0	
	CG 18 (i)	12		3		0	
	ZAKPALE	15		2.3		0	
G2 (<i>Japonica</i>)	407 LUNG SHENG 1	83		72.3		26	
	482 CHIANAN 8	74		108.7		23	
	1141 TAINUNG CH 2			193.3		57.3	
	1144 KAOSHIUNG 66	75	68	5.7	195	0	143
	1158 OKAMINORI	78		63.7		1.3	
	1162 MIZUHATA-MOCHI	54		125.7		57	
	1778 NOIKU 1517	47		43		17.3	
	1779 NOIKU MOCHI	91		92.7		57.3	
G3 (<i>Pluviaux</i>)	120 MORBEREKAN	46	53	6.3	103	0	220
	120 MORBEREKAN (i)	46		1		0	
	208 KOTO DUROSI	67	44	2	141	1.7	128
	245 YANCAOUSSA	55		14		1.7	
	265 YABOA	65		23		6.3	
	284 YASSI	64		9.7		0	
	345 PATEBLANC	77		31.7	168	12.3	110
	897 PENDDK	81		12.3		0	
	997 TJEMPOVELUT	44	50	9	170	3	164
	4054 PLANTAISOLU	73	63	5.3	159	0	121
	4115 LEBAY	73		22.3		8	
	G4 (<i>Pluviaux</i>)	6 DS6	58	50	3.3	133	1
35 RT1031		36	37	11.3	119	0	103
84 GOUE		54	35	1.7	143	0.7	129
89 IGUAPE		54	59	9.3	117	0	106
89 IGUAPE (i)		67		3		0.7	
211 MALOKORD		68	60	7.7	140	0.7	108
322 PALAWAN		39	54	7	150	0	122
413 PRATAO		58	28	6.7	115	0	134
433 DS4		54	71	5.3	191	1	178
1772 PAYEIPATOSU		81	57	3.7	148	0.7	123
1880 CUTTACK 4		21	71	1	226	0	157
1926 DOURANODOSECO		12	57	6.3	228	1.7	212
2570 MED NOI		57		19.3		0	
4067 HOHONO		49	60	4	104	0	59
4075 BETE 3		67	26	14.7	140	0	159
6432 IRAT 13		51	63	1.7	156	0	141
6444 IRAT 112		54	53	11.3	184	2.7	122

64 (suite)	8326 IRAT 177	55	42	4	171	0	78
	8506 IAC 164	70		44		19.3	
	8693 IRAT 170	39	42	0	158	0	137
	8788 IDSA 5	63	54	7	95	0.7	214
	8791 IDSA 8	22	34	14	113	0	139
	8793 IDSA 10	68	44	9	202	4	129
	8794 IDSA 11	83	72	18	115	1.3	133
	8795 IDSA 12	65		22		1.3	
	8797 IDSA 14	68		17.7		0	
	8798 IDSA 15	53		1.7		0	
65 (Indica)	900 BASMATI 370	93	70	6.3	108	1	86
	935 CARREON	39	36	3.7	129	0	94
	1165 IR 5 (i)	48	57	16.3	23	0	122
	1167 JAYA	18	63	63.3	158	0	108
	1167 JAYA (i)	23	56	0.7	61	0	111
	1306 NHTAA	48		13		0	
	2134 TEKSICHUT	60	53	9.7	119	0	153
	2142 PURSIGI	53		0		0	
	8808 BG 90 2	66		10.3		0	
	8820 BOUAKE 189	66	44	5	189	0	117
	8820 BOUAKE 189 (i)	67	74	7	83	0	179
63-64 PERIPH	4 902 TONI	57	67	6.7	170	0	154
	254 BANKD	71	53	6.3	138	3	155
	3362 KU 62	59	42	5	175	4	156
	6431 IRAT 10	67		11.3		0	
	6445 IRAT 133	77		28.7		11.3	
	7702 IRAT 144	69	44	63.3	175	71.7	132
	7702 IRAT 144 (i)	92	54	3.3	159	26.7	141
	8671 IRAT 156 (i)	70	29	58	72	10	167
	8682 IRAT 159	95	54	6	144	3	161
63-64-65 PERIPH	1 500A	60	62	8.7	154	0.7	179
	220 KPONPOU	76	60	15.7	114	1	74
64-65 PERIPH	2531 HAO KHAO	88	66	1.3	166	0	125
TYPE SPECIAL	605 TS 123	79		17.3		2	
	2387 KHAOMONE TIA	52	71	9	213	0	125
	2564 KHAO YOUK	69		5.3		1.7	
	2578 ITAME	78	67	8.7	160	0	169
	3383 KU 86	37	60	1.3	116	0	137
	3401 KU 115	61	60	5.3	176	0.7	147
MAL CLASSES	27 R 67	68	53	1.3	170	0	143
	329 BATATTAIS	61	62	32.7	177	0.7	129
	336 DOURADO PREC	79	49	23	173	13.3	159
	336 DOURADO PREC (i)		54	63.7	119	31.7	181
	8559 ITA 116	58	57	4	151	1.7	158
	ITA 117	91	59	12	147	17	134
	ITA 135	81		9.3		0	
	8789 IDSA 6	61	67	28	189	24.3	190
	8789 IDSA 6 (i)	54	61	4.3	83	0	139

(i) : échantillon multiplié en culture irriguée

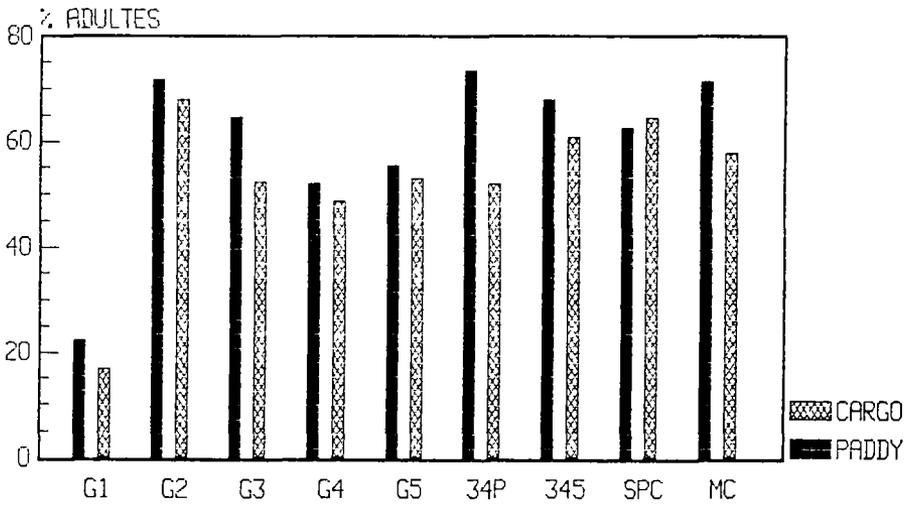


Figure 1. Taux de survie moyen de la 1^{ère} génération de Sitotroga sur différents groupes génétiques de riz.

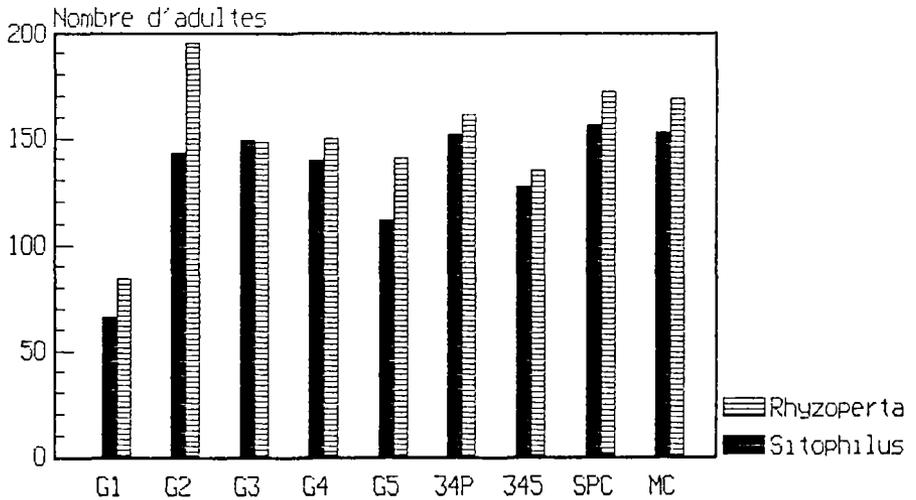


Figure 2. Développement comparé de *Rhyzoperta* et *Sitophilus* sur riz cargo.

Résistance variétale du riz aux insectes

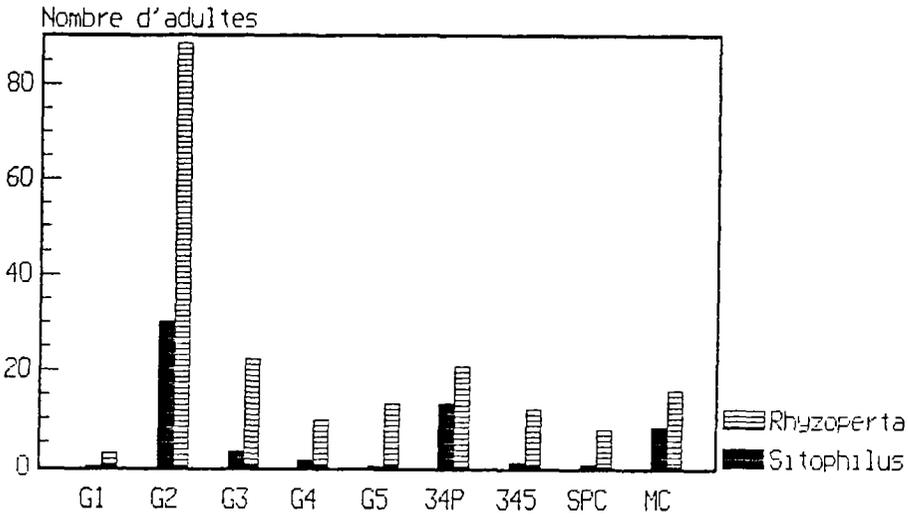


Figure 3. Développement comparé de *Rhyzoperta* et *Sitophilus* sur riz paddy.

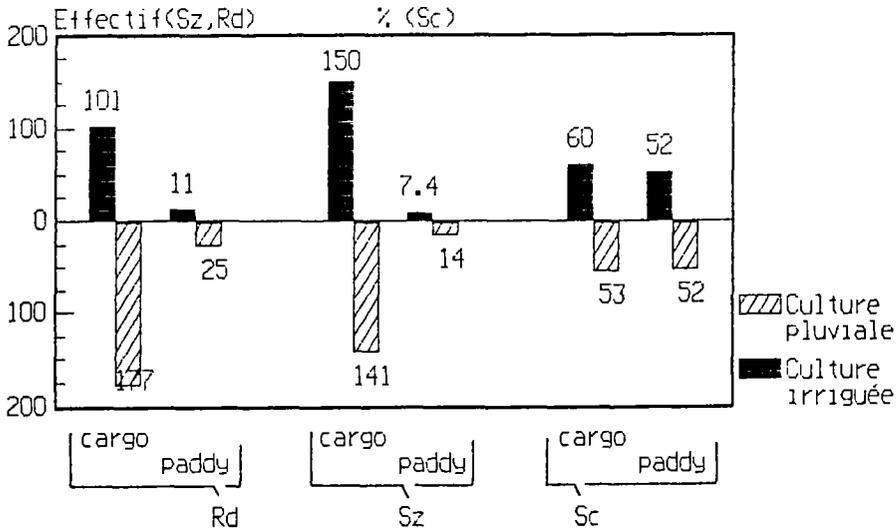


Figure 4. Influence du mode de culture sur la résistance aux insectes des stocks.

Tableau II. Analyses de variance du développement des 3 insectes sur riz paddy et cargo.

Variable analysée		Moyenne	Ecart-type échantillon	CV(%)	Test F
<i>Sitotroga</i> cargo	(1)	52,2	15	21,0	3,13 HS
<i>Sitotroga</i> paddy	(1)	58,3	21	12,5	8,92 HS
<i>Rhyzoperta</i> cargo	(2)	143	42	22,0	2,71 HS
<i>Rhyzoperta</i> paddy	(3)	18,4	29,9	54,1	
<i>Sitophilus</i> cargo	(2)	135	38	16,7	2,56 HS
<i>Sitophilus</i> paddy	(3)	5,8	13,7	63,2	

Analyse après transformation Arc sin Vx (1), Vx (2), Log (x + 1) (3). Moyenne et écart-type avant transformation

glumelles cassées, qui est le plus sensible. On peut signaler également que le taux de silice dans les enveloppes est beaucoup plus élevé en culture irriguée (8,6 % dans nos conditions de multiplication) qu'en culture pluviale (2,3 %).

Il est plus surprenant de constater que le facteur environnement a également un effet sur la résistance du riz cargo, mais à *R. dominica* uniquement, ce qui pourrait orienter les investigations sur les caractéristiques du caryopse favorables à cet insecte.

Pour les variétés testées, il n'apparaît pas de différence de sensibilité à *S. cerealella* en fonction du mode de culture (fig. 4).

Caractéristiques des grains liées à la résistance

On observe tout d'abord l'absence de relation entre la résistance variétale du paddy et celle du cargo à *R. dominica* ($r = 0,05$) et à *S. zeamais* ($r = 0,09$), ce qui indique le peu d'influence des propriétés du caryopse sur la résistance du paddy à ces deux insectes. Les taux de développement de *S. cerealella* sur paddy et cargo sont par contre corrélés positivement ($r = 0,4061$ pour 59 dl, significatif au seuil de 1 %).

On observe une corrélation positive entre le développement sur paddy de *R. dominica* et de *S. zeamais*, pour lesquels interviennent donc les mêmes facteurs de résistance. Par contre la liaison entre le développement sur paddy de *S. cerealella* et celui des deux coléoptères est faible ou absente :

<i>Sitophilus</i>	0,679 *	
<i>Sitotroga</i>	0,395 *	0,453*
<i>Rhyzoperta</i>		<i>Sitophilus</i>

* corrélation significative au seuil de 0,1 % pour 90 dl

Les développements des trois insectes sur riz cargo sont faiblement corrélés entre eux, indiquant donc l'intervention de facteurs de résistance en partie différents :

<i>Sitophilus</i>	0,3258**	
<i>Sitotroga</i>	0,3765**	0,3743**
<i>Rhyzoperta</i>		<i>Sitophilus</i>

** corrélation significative au seuil de 1 % pour 59 dl.

Influence des caractéristiques des glumelles

Parmi les caractères observés, seule l'herméticité des glumelles est fortement corrélée avec le développement de *S. zeamais* et *R. dominica*. La prise en compte des taux d'égrenage, taux de paille, taux de silice dans les glumelles et de la pilosité n'améliore pas sensiblement la corrélation (Tableau III).

L'herméticité des glumelles est faiblement corrélée avec le développement de *S. cerealella* et la prise en compte de l'ensemble des caractères observés sur les glumelles n'explique que 34 % de la variabilité de la résistance à cet insecte (Tableau III).

Tableau III. Corrélations entre les caractéristiques des glumelles et le développement des insectes sur riz paddy.

	Adultes à 100 j		Survie G1
	<i>Rhyzoperta</i>	<i>Sitophilus</i>	<i>Sitotroga</i>
Glumelles déficientes (%)	0,6889 *	0,7853 *	0,4464 *
Taux d'égrenage (%)	-0,3891 *	-0,3178 **	-0,2682 **
Taux de paille (%)	-0,09	-0,1724	-0,2790 **
Taux de silice (%)	-0,19	-0,10	-0,3746 *
Pilosité	-0,07	0,10	0,23
Corrélation multiple	0,7358	0,8077	0,5797

Transformation Arc sin Vx pour les pourcentages, log (x + 1) pour les effectifs de *Rhyzoperta* et *Sitophilus*.

Influence des caractéristiques du caryopse

Les résultats des analyses concernant la composition du caryopse ne nous étant pas encore parvenus, seules les mesures effectuées à Bouaké sont analysées. Aucun des caractères étudiés n'est corrélé avec le développement des insectes sur paddy, et le poids du grain est corrélé faiblement avec le développement de *R. dominica* sur cargo.

Discussion

Une étude approfondie du déterminisme du taux de glumelles ouvertes effectuée à Bouaké permet aujourd'hui de maîtriser la sélection de ce caractère, et de garantir ainsi l'obtention de variétés résistantes (à l'état de paddy) à *Sitophilus* sp., et dans une certaine mesure, à *R. dominica*.

Les pertes au stockage du paddy en Côte d'Ivoire sont essentiellement dues à *S. cerealella*, pour laquelle les facteurs de résistance restent à définir. Dans nos conditions expérimentales, le faible nombre d'œufs infestants limite l'évaluation de l'influence des enveloppes, 75 % des larves environ pénétrant dans des grains à défaut de glumelles. Lors d'une expérimentation précédente, où le développement de la seconde génération avait pu être suivi, le nombre de

grains à glumelles ouvertes devenait dans ce cas limitant, faisant apparaître le rôle d'autres caractères (comme l'observation d'une relation entre la résistance à *S. cerealella* et le taux d'égrenage, liée à la dureté du pédoncule par lequel pénètrent les larves). La compréhension du problème serait améliorée par la mise au point de dispositifs permettant de mesurer la dureté des enveloppes, ainsi que le degré d'adhésion de la balle au grain.

La résistance de quelques variétés a néanmoins été confirmée, permettant d'envisager une étude sur l'héritabilité de ce caractère. Un croisement a été réalisé à cette fin entre la variété BG 141 (*O. glaberrima*), résistante à *S. cerealella*, et IRAT 104 (pluviale), et les résistances observées dans les groupes G4 (CUTTAC 4, DOURANDODESECO, IRAT 170, IDSA 8) et G5 (CARREON, JAYA) pourraient être exploitées.

6

Facteurs contribuant à la protection du maïs contre les attaques de *Sitophilus* et *Prostephanus*

B.J.R. PHILOGÈNE*, J.T. ARNASON*, J.D.H. LAMBERT**

* Département de Biologie, Université d'Ottawa, Ottawa, K1N 6N5, Canada

** Department of Biology, Carleton University, Ottawa, K1N 6N5, Canada

Résumé

L'entreposage du maïs avant sa consommation ou sa transformation se fait souvent dans des conditions qui favorisent la prolifération de déprédateurs qui non seulement détruisent une grande partie mais rendent également les grains non attaqués peu comestibles.

Les plus grands dégâts sont généralement causés par *Sitophilus zeamais* et *Prostephanus truncatus*, deux coléoptères particulièrement actifs dans les régions chaudes. *Prostephanus* est récemment devenu un des principaux fléaux du maïs en Afrique. Les nouvelles variétés de maïs sont particulièrement sensibles à ce type d'insecte alors que les variétés moins répandues mais généralement préférées des petits planteurs de l'Amérique Centrale sont plus résistantes.

Avec la collaboration du CIMMYT et l'aide du CRDI nous avons entrepris une étude systématique de plus d'une centaine de variétés de maïs pour en évaluer la résistance à *Sitophilus* et *Prostephanus*. Nos travaux démontrent que les grains de maïs particulièrement riches en substances phénoliques et surtout en acide férulique sont moins susceptibles d'être attaqués par ces insectes. On doit particulièrement noter que les variétés anciennes d'origine mexicaine sont les plus résistantes à l'infestation. En analysant systématiquement des variables comme les pertes de poids, le pourcentage de mortalité des charançons, le taux de consommation, la préférence des insectes pour les variétés étudiées et l'indice de sensibilité de Dobie, on a pu établir que les variétés Puebla 463 (Arrorillo), Mexico 005 (Palomero), Mexico 182 (Conico) étaient mieux protégées contre les attaques des insectes. Le maïs de type Palomero semble être le plus résistant alors que la variété Cacahuacintle est plus sensible aux attaques de *Sitophilus*.

Nos travaux indiquent par ailleurs que les lipides, les protéines, les glucides, la dureté et la forme du grain contribuent de façon importante à la résistance aux insectes. La lignine et le silice ainsi que les composés inorganiques ne semblent pas jouer un rôle significatif.

Ces observations ont une grande importance, non seulement en fonction de l'entreposage proprement dit, mais surtout par rapport aux caractéristiques génétiques à préserver et à favoriser dans les sélections éventuelles de variétés résistantes et performantes.

Introduction

Le maïs est une des vingt denrées les plus importantes pour l'alimentation humaine. En Amérique, d'où cette plante est originaire, elle fut longtemps considérée par les populations autochtones comme un «don des dieux» [15]. Cultivé du Canada au Sud de l'Amérique latine pendant des millénaires le maïs n'a traversé l'Atlantique qu'avec le retour de Christophe Colomb.

Il n'y a pas beaucoup de plantes cultivées qui présentent autant de variabilité que le maïs par la dimension des épis comme par les coloris des grains. Certaines variétés ne prennent que deux mois pour compléter leur développement alors que d'autres ont besoin de plus d'une année.

Sur le continent africain le maïs est une culture majeure pour certains pays (Kenya, Zambie) alors qu'il est considéré dans d'autres (Mali) comme étant une culture de soudure. Soumis à des déprédations constantes par les insectes lors de sa croissance, le maïs doit également subir dès l'entreposage et jusqu'à sa consommation les attaques de certains coléoptères qui non seulement en détruisent un fort pourcentage mais rendent également les grains ou la farine de maïs impropres à la consommation.

Deux espèces sont particulièrement reconnues, en régions chaudes, pour leur voracité envers le maïs entreposé : *Sitophilus zeamais* qui prolifère surtout dans le maïs égréné et *Prostephanus truncatus* (le grand capucin du maïs) qui préfère les épis. Les nouvelles variétés de maïs mises au point avant tout pour leur fort rendement sont particulièrement sensibles à ce type d'insectes alors que les variétés moins répandues mais généralement préférées par les petits planteurs de l'Amérique Centrale y sont plus résistantes.

Nous rapportons ici nos observations sur les facteurs qui contribuent à la sensibilité ou à la protection des grains de maïs envers *S. zeamais* et *P. truncatus*, en mettant particulièrement l'accent sur les réactions de *Sitophilus*.

Résistance et sensibilité à *S. zeamais*

L'insecte

Le *Sitophilus* est un charançon de 2,3 à 4,5 mm de long qui se distingue par quatre taches rougêtres. La larve apode, dure et légèrement courbée, vit uniquement dans le grain. Elle produit une poudre blanchâtre abondante qui rend le maïs impropre à la consommation [10]. Dans les conditions optimales de développement (27 °C et 70 % H.R.) les adultes vivent de 25 (femelles) à 30 semaines (mâles). La femelle creuse un trou dans le grain et y dépose un ou plusieurs œufs qu'elle recouvre d'un bouchon muqueux facilement détectable. Les œufs ne sont guère affectés par les ovicides durant les six jours d'incubation. Une seule larve se développe

jusqu'à maturité dans chaque grain, le premier stade larvaire étant particulièrement vulnérable aux conditions de l'environnement (H.R., oxygène, densité de la population, température) [14, 20]. On peut compter jusqu'à 90 % de mortalité à ce stade. Les survivants réussissent généralement à atteindre le stade adulte. La durée des quatre stades larvaires est d'environ 20 jours. Ceci est suivi d'une puppe (6-7 jours) et d'un stade pré-adulte (5-6 jours) qui restent dans le grain [30].

Composantes de la résistance du maïs grain aux insectes

La résistance de la plante hôte fait partie des stratégies de lutte contre les déprédateurs depuis le 18^{ème} siècle [21]. La recherche de variétés résistantes de maïs constitue depuis un certain temps une voie de protection de la plante contre les insectes phytophages, voie autre et complémentaire à l'utilisation des pesticides. Le problème se pose de façon différente pour le maïs entreposé sous forme de grains ou d'épis maïs n'exclut pas l'utilisation de lignées présentant un ou plusieurs facteurs de résistance. On a longtemps relié la résistance des grains de maïs à *Sitophilus*, à des facteurs physiques : protection par les spathes; dureté de l'enveloppe; faible teneur en eau [3, 5, 8, 12, 26, 27, 28, 34, 36]. Cependant il a été établi que certaines variétés possédaient un certain degré de sensibilité malgré une dureté notable [5, 9, 19, 27]. Le rôle joué par les métabolites secondaires de la plante sur le développement du charançon avait été jusqu'ici peu étudié malgré les indices rapportés dans certaines études antérieures. C'est surtout en examinant les caractéristiques nutritionnelles majeures du grain de maïs que les auteurs ont saisi l'importance primordiale du rôle des différentes molécules dans la sensibilité ou la résistance du maïs au charançon. Singh et McCain [36] soulignaient l'importance des glucides alors que Gomez *et al.* [12] attiraient l'attention sur le niveau protéinique après les observations de Betanzos [3] sur le tryptophane. On a signalé également l'importance d'un phagostimulant [28], de composés volatils attractifs [35] et d'un stimulant de la ponte [5].

En 1982 notre équipe faisait ressortir la teneur élevée en acides phénoliques de certaines variétés récoltées en Amérique Centrale et présentant une résistance exceptionnelle à *Sitophilus* [9]. Il a alors été convenu d'étudier cette question en détail, ce qui a été largement favorisé par la collaboration du CIMMYT et le financement du CRDI. Il s'agissait : 1) d'établir le niveau de résistance des variétés de maïs produites par le CIMMYT en vue d'évaluer leur utilisation éventuelle par des petits fermiers ne disposant pas de facilités adéquates pour l'entreposage et 2) d'analyser le mécanisme de la résistance en fonction des composés phénoliques présents dans le grain et d'autres caractéristiques que l'on pourrait sélectionner comme caractères transmissibles. Ce travail nous a amené à étudier plus d'une centaine de variétés provenant du CIMMYT ainsi que des variétés utilisées au Belize et à l'Ile Maurice.

Origine taxonomique de la résistance

La résistance des grains de maïs au genre *Sitophilus* a attiré l'attention des chercheurs depuis les observations de Eden [8] sur les différences de dureté du grain. Il a établi une corrélation positive entre cette caractéristique physique et la sensibilité de la variété à *S. oryzae*. Il n'y avait eu jusqu'à l'heure aucune analyse systématique de la résistance du plasma-germinatif du maïs. Le travail que nous avons entrepris à ce sujet est rapporté en détail dans une autre publication [29] et l'on ne trouvera ici que les résultats les plus significatifs :

1. Une comparaison des taux moyens de consommation par *S. zeamais* a permis la séparation de 7 groupes différents selon leur sensibilité à l'insecte.

2. Les taux de mortalité de la population de *Sitophilus* sont inversement proportionnels à la quantité de grains consommés, le maïs le moins avarié étant associé à une mortalité plus élevée de l'insecte.

3. A partir d'un index de stabilité (B^1) calculé à partir des techniques de Eberhart et Russell [7] et Betanzos [3], indiquant le taux journalier de consommation de grains par les insectes, on a pu établir un indice qualitatif de sensibilité ($R+$ à $S+$) pour chaque population.

4. Les variétés Puebla 463 (Arrocillo), Mexico 005 (Palomero) et Mexico 182 (Comico) sont les plus résistantes, alors que Chiapas 218 (Oloton) et Mexico 212 (Cacahuacintle) sont les plus sensibles.

5. Les résultats rapportés en 4 ont été confirmés par des tests de préférence pour la ponte : Mexico 212 et Chiapas 218 ont attiré davantage d'insectes alors que Palomero (Mexico 005 et 055), un groupe indigène ancien, a été négligé par les charançons. Le nombre de grains attaqués et le nombre des lieux de ponte sont clairement plus élevés dans les grains de Cacahuacintle et Oloton.

6. Bien qu'il soit possible d'affirmer à partir des observations qui précèdent que les maïs de type Palomero sont les plus résistants et les Cacahuacintle les plus sensibles, il est parfois

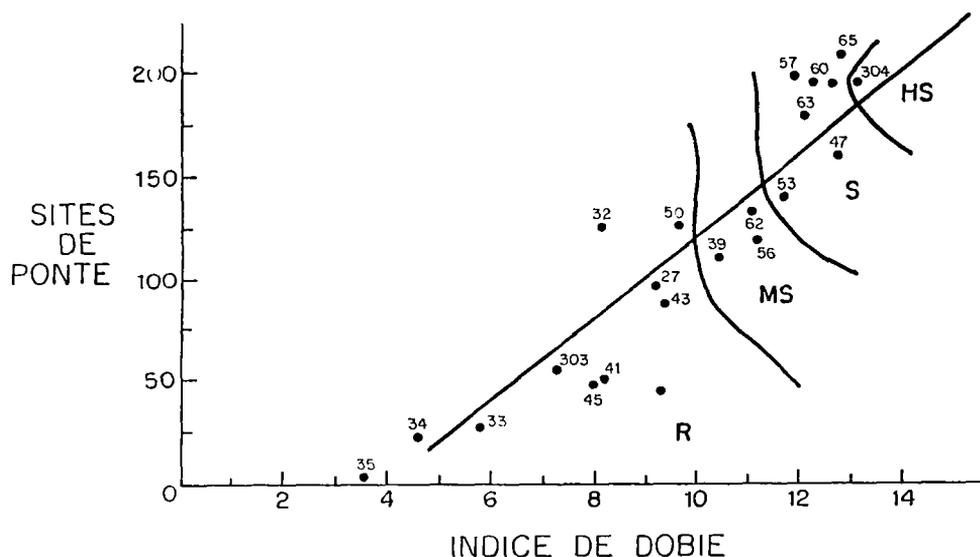


Figure 1. Relation existant entre les sites de ponte et l'indice de sensibilité Dobie dans les variétés propagées par le CIMMYT. R : résistant, MS : modérément sensible, S : sensible, HS : très sensible.

Variétés :

303/304 – Cacahuacintle	45 – La Molina 8128
27 – Poza Rica 8126	47 – Poza Rica 8129
28 – CIAT 8130	50 – Poza Rica 8136
32 – Survan (1) 8131	53 – Santa Rosa 8073
33 – Ilonga 8032	56 – Across 8033
34 – Across 8035	57 – Across 7934
35 – Ratray-Arnold (1) 8149	60 – Antalya 8045
39 – Rosa Rica 8121	62 – Across 8146
41 – Across 8024	63 – Gemeiza 8047
43 – Los Banos 8027	65 – Qulampu 7948.

possible de classer une variété dans la catégorie résistante en terme de consommation, maïs relativement sensible à partir d'autres indices. Pour remédier à ce problème on a procédé à une analyse multivariée. Ceci a permis de distinguer trois catégories : 1) une comprenant deux races très sensibles (Cacahuacintle et Oloton) provenant du groupe Pré-Colombien exotique [37]; 2) une comprenant des races de résistance intermédiaire aux affinités mal définies (Chalqueno, Comico) provenant du groupe Moderne Incipient [37], ainsi que Puebla 537 et 463 provenant du groupe Arrocillo Amarillo (Indigène Ancien) et Mexico 461 et 182 (race Comico); 3) une comprenant la race Palomero Toluqueno (Indigène Ancien), et la race Maiz Dulce (Pré-Colombien exotique), catégorie particulièrement résistante. Il semble enfin que la résistance s'apparente aux anciennes races indigènes de maïs.

7. Les classifications de résistance basées sur des paramètres comme la variation des isozymes [6], les protéines polliniques [13] et le génotype par interactions environnementales peuvent servir à compléter les observations rapportées dans notre étude et guider les sélectionneurs recherchant les caractéristiques méritant d'être améliorées.

Variétés propagées par le CIMMYT

Le CIMMYT a pour mandat de fournir aux programmes nationaux des variétés de maïs à haut rendement possédant une résistance aux déprédateurs et aux maladies. Nous avons examiné 19 de ces variétés en fonction de leur sensibilité à *Sitophilus*. Les résultats apparaissent à la figure 1 où l'on voit que trois variétés sont particulièrement résistantes (Ilonga 8032, Alron 8035 et Ratray-Arnold 8149). Ilonga et Ratray-Arnold ont été plantées en Tanzanie avec des rendements élevés. Nous ne savons cependant pas comment leurs grains ont survécu à l'entreposage.

Génotype à haute teneur en protéine

En 1970 le CIMMYT entreprenait un programme intensif visant à sélectionner des génotypes à haute teneur protéinique (QPM). Nous avons envisagé la possibilité que le gène QPM contribue à la résistance et avons étudié 10 populations de ce type ainsi que 10 rétrocroisements avec les génotypes normaux (QPM x normal). Une forte corrélation a été obtenue entre les sites de ponte et l'indice de Dobie. Des onze populations résistantes 5 étaient QPM et 6 des rétrocroisements. Mais seulement deux populations et leurs rétrocroisements respectifs faisaient partie de ce groupe. La présence du gène QPM n'est donc pas incompatible avec la résistance.

Mécanismes de la résistance

Nos travaux antérieurs [9] ayant indiqué que les substances phénoliques semblaient jouer un rôle dans la résistance de certaines variétés aux attaques du *Sitophilus*, nous avons examiné la question en détail. Nous avons pu obtenir une excellente séparation des composés phénoliques présents dans les grains de maïs grâce à la chromatographie en phase gazeuse (GC) et en phase liquide (HPLC). Les méthodes de détection par fluorescence ont également été utilisées. Tous ces travaux ont été entrepris avec 15 collections de variétés améliorées et propagées par le CIMMYT, et 10 races indigènes du Mexique.

Nous avons identifié dans le maïs les composés phénoliques suivants : acide cis-férulique, acide trans-férulique, acide p-coumarique et acide sinapique. Une corrélation a ensuite été établie entre la présence de ces composés et les paramètres de sensibilité du grain à *Sitophilus*. Les grains ayant la plus haute teneur en acide trans-férulique, qui est le composé phénolique principal, sont particulièrement résistants alors que les autres acides ont un effet moindre sur les attaques de *Sitophilus*. Cette observation qui est la première du genre à été vérifiée autant dans les variétés du CIMMYT que pour les races mexicaines indigènes.

En ajoutant des concentrations de 0,1 à 1,0 µg/g d'acide phénolique à une diète méridique on n'a pu observer l'effet antiappétant de l'acide férulique qu'envers *Sitophilus*, ce qui confirme le rôle primordial de ce composé dans la résistance du grain à l'insecte. On doit par ailleurs souligner que les composés phénoliques sont concentrés dans la partie extérieure de la graine (péricarpe), ce qui est facile à démontrer grâce à la microscopie à fluorescence.

Nous avons pu établir également que les lipides, les protéines, les glucides, la dureté du grain ainsi que sa forme contribuent au degré de résistance du maïs.

Etudes sur *P. truncatus*

Le grand capucin du maïs *P. truncatus* est un charançon originaire d'Amérique Centrale qui est reconnu comme dévastateur typique des récoltes engrangées par les petits fermiers. S'attaquant avant tout aux grains de maïs sur l'épi, ce coléoptère peut être responsable de pertes énormes comme on a pu le constater lors de son introduction en Tanzanie [16]. Peu d'études sont disponibles sur cet insecte si l'on considère que, suite aux bibliographies de Wright et Spilman [38] et Hodges [16], seulement 30 des publications citées traitaient de la biologie de *Prostephanus* et 25 de son contrôle.

Aux conditions optimales de développement soit 32 °C et 70 à 80 % H.R. [2, 31, 32], le grand capucin complète son cycle en 24-25 jours. Il peut cependant se développer dans une fourchette très large de température et d'humidité, ce qui lui permet de s'installer dans l'épi avant la récolte.

La présence de *Prostephanus* se signale par de petits trous bien nets à la surface des spathes. Les femelles pondent leurs œufs dans un intervalle de 95 à 100 jours [17, 32]. Alors que l'on peut compter jusqu'à 600 œufs par femelle sur les épis, il n'est guère possible d'en trouver plus de 50 sur des grains lâches [2]. On compte trois stades larvaires qui prennent en moyenne 16 jours, et une pupe avant l'émergence de l'adulte.

L'activité destructrice du *Prostephanus* s'accompagne d'une augmentation de la teneur en eau du grain [4], ce qui facilite la contamination par les champignons et les bactéries, et d'une augmentation de la teneur en acide gras. Cette particularité a été utilisée comme mesure de la détérioration du grain entreposé. Le pouvoir germinatif du grain est également affecté.

Les moyens chimiques (perméthrine, phostoxine ou phosphine) n'ont pas encore réussi à contrôler de façon efficace les infestations de *Prostephanus*. Ces insecticides n'ont une action optimale que si l'épi est dégainé, ce qui va à l'encontre des habitudes d'entreposage des fermiers africains [11]. On a même essayé des méthodes physiques comme les rayons γ, le laser et les électrons accélérés [1, 23, 24, 25].

La mise au point de variétés de maïs résistantes aux attaques de *Prostephanus* est donc devenue impérieuse, surtout si l'on prend en considération les coûts socio-économiques de l'apparition de cet insecte sur le continent africain. Il semblerait que certaines variétés à grains

durs et silicieux soient moins sensibles que les variétés à grains farineux [2, 17, 18, 22, 33]. Selon Howard [17] la fréquence de ponte est particulièrement sensible aux caractéristiques variétales, en tout cas davantage que pour *Sitophilus zeamais*.

Nos travaux sur *Prostephanus* ne nous permettent pas encore de rapporter ici des résultats aussi spectaculaires que ceux obtenus avec *Sitophilus*. Il nous faut cependant souligner que notre étude porte sur une gamme de variétés recouvrant tous les degrés de sensibilité mesurés pour *Sitophilus* et, en particulier, la dureté du grain, la teneur en glucides, en protéines et en tryptophane.

Remerciements. Ce travail a été rendu possible grâce au financement du CRDI, la collaboration du CIMMYT (J. Mihm, D. Jewell et S. Toba) ainsi que du Grain Quality Lab d'Agriculture Canada (G. Fulcher). Nous remercions également C. Nozzolillo, N. Donskov, J. Gale et B. Connilh de Beyssac pour leur contribution.

Références

1. Adem E, Uribe RM, Walters FL. (1979). Responses of *Prostephanus truncatus* (Coleoptera : Bostrichidae) and *Tribolium castaneum* (Coleoptera : Tenebrionidae) to gamma radiation from Co. Can Ent; 111 : 1111-1114.
2. Bell RJ, Watters FL. (1982). Environmental factors influencing the developmental and rate of increase of *Prostephanus truncatus* (Horn).
3. Betanzos ME. (Selección de variedades de maíz de alta calidad proteínica por resistencia al picudo del maíz *Sitophilus zeamais* Motsch. 1. Correlaciones entre características del grano e indicadores de resistencia. Agri Tec Mex; 6 : 45-66.
4. Demianyk CJ, Sinha RN. (1987). Effect of infestation by the larger grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) and the lesser grain borer *Phyzopersha dominica* F. (Coleoptera : Bostrichidae) on stored corn. Environ Entomol; 16 : 618-624.
5. Dobie P. (1977). The contribution of the tropical stored products centre to the study of insect resistance in stored maize. Trop Stored Prod Inf; 34 : 7-22.
6. Doebley JF, Goodman MM, Stuber CW. (1985). Isozyme variation in the races of maize from Mexico. Amer J Bot; 72 : 629-639.
7. Eberhart SA, Russell WA. (1966). Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci; 6 : 36-40.
8. Eden WG. (1952). Effects of kernel characteristics and components of husk cover on rice weevil damage to corn. J Econ Entomol; 45 : 1084-1085.
9. Fortier G, Amason JT, Lambert JDH, McNeill J, Nozzolillo C, Philogène BJR. (1982). Local and improved corns (*Zea mays*) in small farmer agriculture in Belize, CA; their taxonomy, productivity and resistance to *Sitophilus zeamais*. Phytoprotection; 63 : 68-78.
10. Freeman P. (1980). Common insect pests of stored food products. A guide to their identification. British Museum (Natural History), Economic Series, N° 15 (6th ed.), London.
11. Golob P. (1984). *Prostephanus truncatus* (Horn), the larger grain borer in East Africa : the development of a control strategy. Proc 3rd Int. Wkg. Conf on Stored Product Entomol, Manhattan, Kansas, 1983 pp. 711-721.
12. Gomez LA, Rodriguez JG, Poneleit CG, Blake DF. (1983). Relationship between some characteristics of the corn Kernel pericarp and resistance to the rice weevil (Coleoptera : Curculionidae) J Econ Entomol; 76 : 797-800.

13. Greenhouse VY, Hernandez-X E, Rojking C, Larralde C. (1982). Electrophoretic and immunological characterization of pollen protein of *Zeamays* races. *Econ Bob* 36 : 113.
14. Hardman JM. (1978). A logistic model simulating environmental changes associated with the growth of populations of rice weevils, *Sitophilus oryzae*, reared in small cells of wheat. *J Appl Ecol*; 15 : 65-87.
15. Heiser CB Jr. (1973). *Seed to civilization*. WH Freeman, San Francisco. 243 pages.
16. Hodges RJ. (1982). A review of the biology and control of the greater grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae). *Trop Stored prod Inf*; 43 : 3-9.
17. Howard DC. (1983). The population biology of the greater grain borer *Prostephanus truncatus* (Horn). Thesis, University of Reading.
18. Howard DC. (1984). The ability of *Prostephanus truncatus* to breed on different maize varieties. Proc. GASA workshop on the larger grain borer. *Prostephanus truncatus*, 24-25 febr 1983. TPI Slough Publ GTZ Eschborn pp. 17-31.
19. Ivbijaro MF. (1980). The resistance of new varieties of maize to post-harvest infestation by *Sitophilus zeamais* Motsch and *Sitophilus oryzae* (L.). *J Agric Sci Com*; 96 : 479-481.
20. Longstaff BC. (1981). Biology of the grain pest species of the genus *Sitophilus* (Coleoptera : curculionidae) : A critical review. *Protect Ecol*; 2 : 83-130.
21. Philogène BJR (1984). Successes and future prospects for host plant resistance in integrated control systems In : Allen G, A Rada, éd. *Proc of the Int Syrup : The role of biological control in pest management*. IOBC/WHRs, 42-61.
22. Ramirez Martinez M Silver BJ. (1983). Deterioration and damage produced in corn grain in Mexico by *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae). *Biodeterioration*; 5 : 582-591.
23. Ramos E de CJ, Garces MC. (1980). Accion de un estimulo luminoso sobre el desarrollo de *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae). *Folia ent Mex*; 45 : 38.
24. Ramos E de CJ, Garas MC, Barajas C, Ramirez Martinez M, Beltrones JS. (1984). Comparative effects on life cycle and reproductive degree of *Oryzaephilus surinamensis* and *Prostephanus truncatus* provoked by the action of a laser light. Proc 3rd Int. Wkg, Conf on stored product Entomol, Manhattan, Kansas, 1983, pp. 548-571.
25. Ramos E de CJ, Ramirez Martinez M. (1979). Efecto de la razon de dosis de los rayos gamma sobre la oviposicion y emergencia de *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae). *Ann Inst Biol UNAM*; 50 : 363-373.
26. Rivnay E. (1972). Pests of stored grain in field crop pests in the Near East. *Uitgeverij, Dr W Trensh Der Haag, Netherlands*, pp. 242-247.
27. Russell MP. (1962). Effects of sorghum varieties on the lesser rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). I. Oviposition, immature mortality and size of adults. *Ann Entomol Soc Amer*; 55 : 675-685.
28. Schoonhoven AV, Horber E, Mills RB. (1976). Conditions modifying expression of resistance of maize kernels to the maize weevil. *Environ Entomol.*; 5 : 163-168.
29. Serratos JA, Arnason JT, Nozzolillo C, Lambert JDH, Philogène BJR, Mihm J, Jewell D. (1988). The assessment of resistance of maize germplasm to *Sitophilus zeamais* infestation. (*in press*).
30. Sharifi S, Mills RB. (1971). Radiographic studies of *Sitophilus zeamais* Mots. in wheat kernels. *J Stored Prod Res*; 7 : 195-206.
31. Shires SW. (1979). Influence of temperature and humidity on survival, development period and adult sex ratio in *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Prostrichidae). *J Stored Prod Res*; 15 : 5-10.
32. Shires SW. (1980). Life history of *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae) at optimum conditions of temperature and humidity. *J Stored Prod Res*; 16 : 147-150.
33. Silva BI, Ramirez Martinez M, MacGregor L. (1981). Resistencia de 10 variedades de maiz al ataque de *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae). *Folia Ent Mex*; 48-49.
34. VanDer Schaaf P, Welbur DA, Painter RH. (1969). Resistance of corn to laboratory infestation of the larger rice weevil *Sitophilus zeamais*. *J Econ Entomol*; 62 : 352-355.
35. Yamamoto R, Ohsawa K, Honda H, Yamamoto I. (1975). Attractants for rice weevil, *Sitophilus zeamais*. Motschulsky, isolated from corn grain. In : *Environmental Quality and Safety*, Suppl. vo. III. Pesticides Intl Congr Helsinki Finland. july 3-9, 1974, pp. 663-667.

Protection du maïs contre Sitophilus et Prosthephanus

36. Singh DN, McCain FS. (1963). Relationship of some nutritional properties of corn kernel to weevil infestation. *Crop Sci*; 3 : 259-261.
37. Wellhausen EJ, Roberts LM, Hernandez-Xolocotzi E, Mangeldorf PC. (1951). Razas de Maïs en Mexico. Sn origen, características y distribución. Foll Tec No S SAG, Mexico, DF.
38. Wright V. (1983). An annotated bibliography on *Prosthephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera : Bostrichidae) : a pest of stored grain. *Trop Stored Prod Inf*; 46 : 25-30.

7

Profil bactériologique du kutukutu à température ambiante

F.X. ETOA, C.M.V. MBOFUNG, R. NDJOUENKEU

Centre Universitaire de N'Gaoundéré. Département des Sciences de l'Alimentation, ENSIAAC, BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun

Résumé

Le «kutukutu» est un amidon de maïs couramment consommé dans l'Adamaoua (Nord Cameroun). Il est habituellement conservé dans l'eau à température ambiante.

L'objet de ce travail est de comparer du point de vue bactériologique la conservation traditionnelle à une conservation au réfrigérateur.

Les résultats globaux restent comparables bien que les évolutions diffèrent, en particulier du point de vue acidité. La méthode traditionnelle semble égaler du point de vue hygiénique la réfrigération; elle altère toutefois les qualités organoleptiques.

Introduction

Le kutukutu (amidon de maïs) rentre de façon régulière dans la plupart des régimes alimentaires des habitants autochtones de la région de N'Gaoundéré : adultes, enfants, bébés. Le kutukutu prêt à la consommation peut être préparé avec ou sans ingrédient, soit :

- kutukutu seul
- kutukutu + citron
- kutukutu + arachide.

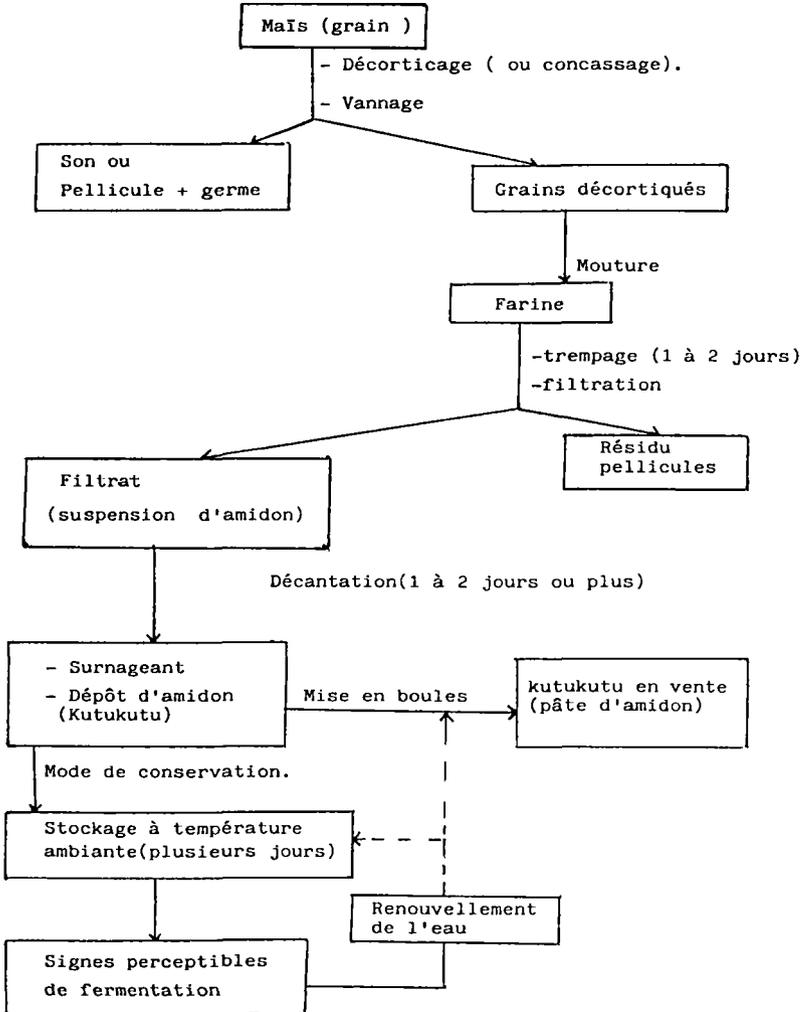


Figure 1. Fabrication et conservation traditionnelle du kutukutu.

Le kutukutu est essentiellement consommé au petit déjeuner ou au dîner. Pendant la période du ramadan, le kutukutu est généralement le premier aliment pris par la communauté musulmane avant consommation de tout autre.

Compte tenu de la consommation importante de cet aliment, nous nous sommes intéressés à son mode de fabrication et surtout de *conservation* (fig. 1) par les populations villageoises de la région qui ne disposent d'aucun moyen de réfrigération.

La technique villageoise de conservation du kutukutu consiste à le stocker à température ambiante, immergé dans l'eau. Le renouvellement de cette eau a lieu dès que les signes d'altération (fermentation) sont perceptibles. Nous nous sommes attachés à vérifier la qualité hygiénique et bactériologique du kutukutu ainsi conservé. Nous avons également envisagé le cas de la conservation de cet aliment à la température d'un réfrigérateur, en vue de comparer les deux modes de conservation.

C'est donc à dessein que nous avons orienté le travail sur la recherche des formes sporulées des genres *Clostridium* et *Bacillus*, en l'occurrence : *C. perfringens* et *B. cereus*. L'influence de la cuisson sur la conservation du kutukutu par les deux techniques a été abordée par la recherche qualitative de ces deux espèces bactériennes.

Protocole expérimental

Les échantillons de boules de kutukutu utilisés au cours de ce travail proviennent du marché public de N'Gaoundéré. Chaque échantillon est divisé en deux parties : une partie est stockée à température ambiante, selon le mode traditionnel de conservation, l'autre partie dans le réfrigérateur.

Analyses

Sur les deux types d'échantillons : kutukutu à température ambiante (KTA) et kutukutu à température de réfrigération (KTR), la méthodologie retenue est la suivante :

- contrôle du pH (au cours du temps),
- élimination de l'eau (surnageant) en accord avec le procédé traditionnel,
- prélèvement de 10 g de kutukutu, homogénéisation et dilution dans du tryptone-sel, dilution finale 10^{-1} ,
- revivification à température ambiante pendant deux heures.

Recherche et dénombrement des formes sporulées des *Bacillus* dont *B. cereus*

Deux types de méthodes sont employés :

- traitement classique de l'échantillon pendant 10 minutes à 80 °C,
- parallèlement, traitement à l'alcool (50 % v/v) à température ambiante sous faible agitation (150 t/min), pendant une heure.

Après les dilutions nécessaires chacune des préparations estensemencée sur le milieu de Mossel et incubée à 37 °C pendant 24 heures.

Pour la recherche qualitative des *Bacillus* : l'étape de revivification est suivie de l'enrichissement pendant 24 heures à 37 °C, de l'échantillon dans un bouillon de culture selon Burnett *et al* [1].

L'identification des colonies caractéristiques est réalisée par des méthodes standard et par l'emploi des tests d'utilisation des sucres, au moyen des galeries API.

Recherches et dénombrements des formes sporulées des *Clostridium* dont *C. perfringens*

Les techniques d'isolement sont similaires à celles ci-dessus, mais les milieux étudiés sont : RCM solide pour les *Clostridium* et TSN pour les *Clostridium* sulfito-réducteurs.

La recherche qualitative de *Clostridium* est effectuée par l'enrichissement de l'échantillon en milieu RCM liquide (24 heures à 37 °C) et de l'isolement sur RCM solide et TSN. L'incubation a lieu à 37 °C pendant 24-48 heures pour les *Clostridium* et à 46 °C pour la recherche sélective de *C. perfringens* dont l'identification est réalisée par des méthodes standard et par l'application du test de St-John *et al* [2].

Résultats et discussion

L'examen des résultats obtenus indique qu'à l'achat, certains échantillons de kutukutu hébergeaient déjà en moyenne un nombre de formes sporulées très élevé (fig. 2, et 3, J₀).

Cette observation peut s'expliquer par le fait que d'une part, l'historique de ces boules de kutukutu, lié à leurs manipulations, n'est pas toujours maîtrisé. En effet entre le moment de la fabrication des boules de kutukutu et celui de leur vente, combien de temps s'est écoulé ? Et dans quelles conditions ? Il est admis que les invendus d'une journée sont presque toujours remis en vente le lendemain, plus de 80 % des vendeuses interrogées le reconnaissent. De surcroît, les boules de kutukutu en vente sont exposées à l'air libre. Les conditions d'hygiène et de conservation semblent donc avoir été défailtantes.

Au bout de deux ou quatre jours (J₂, J₄) de conservation, on observe une diminution des formes sporulées aussi bien des genres *Clostridium* que *Bacillus* dans le KTA alors qu'elles restent relativement élevées dans le KTR. Cette observation s'expliquerait par la différence de pH entre les deux échantillons, pH compris entre 3,7 et 4 pour le KTA contre 3,9 et 4,5 pour le KTR. Cette acidité élevée s'explique par la poursuite de la fermentation du KTA alors qu'elle serait ralentie, voire bloquée, dans le KTR.

L'acidité semble avoir activé les formes sporulées, qui auraient ainsi germé, d'où le faible nombre de formes sporulées isolées, car certaines (en voie de germination) n'auraient pas survécu au traitement thermique de 10 min à 80 °C ou à celui de 60 min à l'éthanol.

Si cette diminution du nombre de formes sporulées semble se maintenir jusqu'au sixième jour (J₆) en ce qui concerne les *Clostridium*, le contraire s'observe chez les *Bacillus* où un

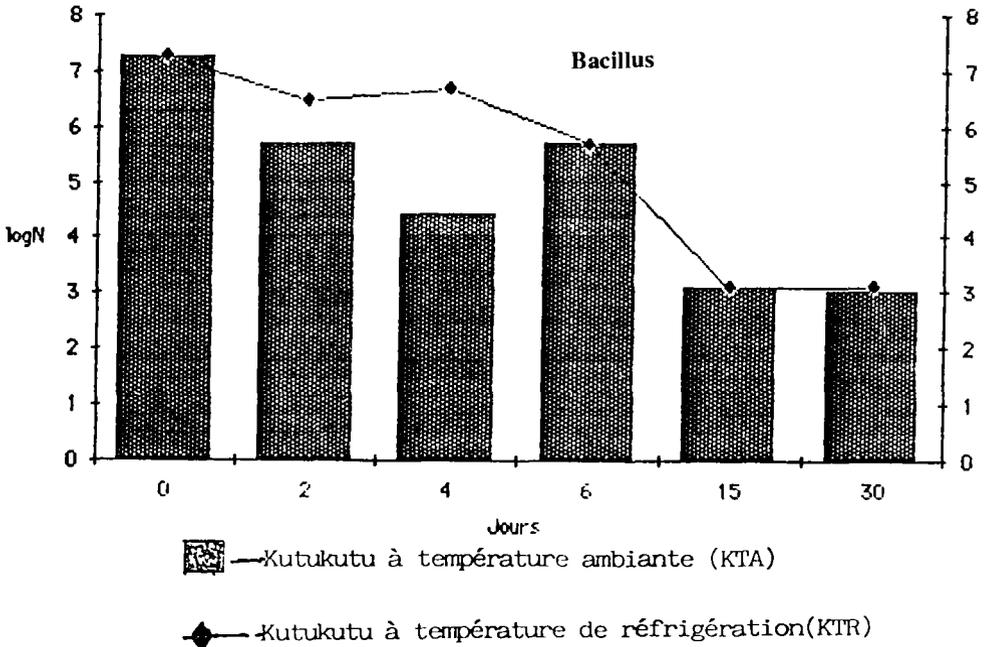


Figure 2.. Évolution des formes sporulées dans le kutukutu.

Profil bactériologique du kutukutu à température ambiante

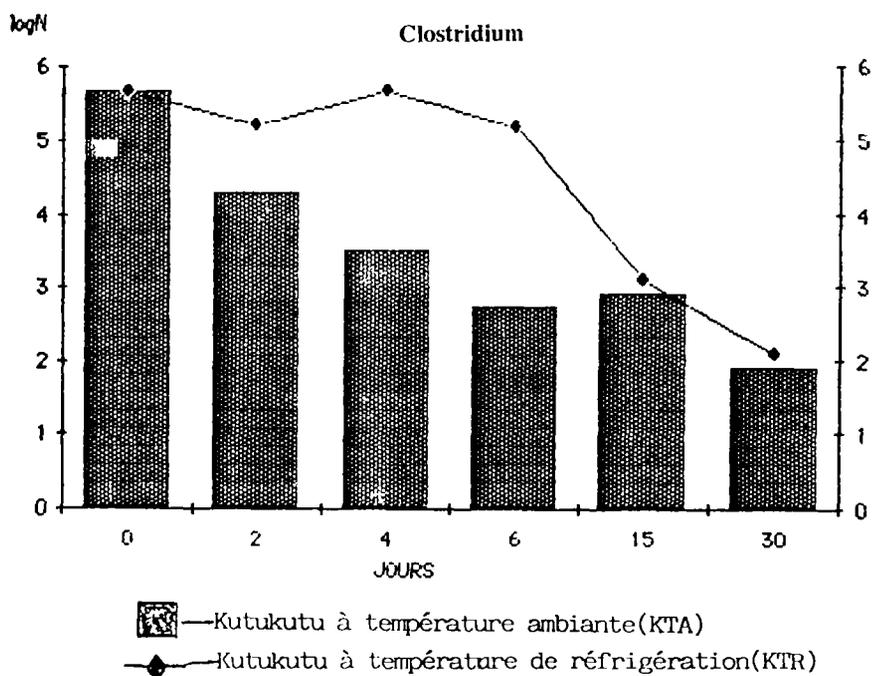


Figure 3. Évolution des formes sporulées dans le kutukutu.

nombre non négligeable aurait resporulé (microcycle), compte tenu des conditions de plus en plus hostiles du KTA (pH compris entre 3,7 et 3,85).

Au delà du 6^e jour, le délai limite de conservation dans le réfrigérateur semble atteint, raison pour laquelle on observe une baisse du pH (pH compris entre 3,6 et 4) et du nombre des formes sporulées dans le KTR. Au bout de quinze jours (J₁₅) de conservation il n'apparaît

Tableau I. Pourcentage de cas où *C. perfringens* et *B. cereus* ont été isolés

Période	<i>C. perfringens</i>		<i>B. cereus</i>	
	KTA	KTR	KTA	KTR
KNC J ₀ - J ₂	40 %	50 %	60 %	70 %
KC	0 %	10 %	20 %	30 %
KNC J ₂ - J ₄	20 %	30 %	50 %	60 %
KC	0 %	20 %	0 %	10 %
KNC J ₁₅ - J ₃₀	10 %	30 %	20 %	—
KC	—	—	—	—

KNC= kutukutu non cuit; KC = kutukutu prêt à la consommation (kutukutu cuit); — = recherche non effectuée.

plus de différence notable de comportement entre KTR et KTA. Cela pourrait signifier que le kutukutu au bout de cette période atteint un degré d'altération indépendant du mode de conservation.

Dix recherches indépendantes de *C. perfringens* et de *B. cereus* ont été effectuées aussi bien dans le kutukutu non cuit (KCN) que dans le kutukutu cuit (KC). Comme l'indiquent les données du tableau I, le nombre de fois où ces deux espèces bactériennes réputées pathogènes ont été isolées est pratiquement nul dans le KTA après cuisson ménagère et se situe en moyenne au-dessous de 20 % dans le KTR après cuisson (Tableau I). De plus les taux de contamination par ces bactéries se sont révélés généralement bas (10 à 10³ UFC/g), ce qui est loin d'être préoccupant du point de vue sanitaire. Il y a donc lieu de penser que seule la méthode de préparation du kutukutu contribue à lui sauvegarder (du point de vue sanitaire) une qualité bactériologique acceptable, quel que soit le mode de conservation.

Conclusion

Il ressort de cette étude que la méthode traditionnelle de conservation du kutukutu à température ambiante peut égaler en performance la conservation de ce produit au frais; ceci est vrai du strict point de vue sanitaire, puisqu'il y a probablement perte de qualité sur le plan organoleptique. Il apparaît aussi que le KTR reflète le niveau de contamination du kutukutu avant sa conservation dans le réfrigérateur.

Références

1. Burnett GW, Pelcar MJ, Conn JR, Conn HJ (1957). Cultivation and storage Media. In : *Manual of Microbiological Methods*. Mc Graw-Hill, New York, pp. 41-46.
2. St John WD, Matches JR, Wekell MM. (1982). Use of Iron Milk Medium for Enumeration of *Clostridium perfringens*. *J Assoc Off Anal Chem*; 65 : 5 : 1129-1133.

8

Les aflatoxines dans les céréales et les aliments prêts à la consommation au Cameroun

F. DOMNGANG MBIAPO, A. TCHANA, P.F. MOUNDIPA

Université de Yaoundé. Laboratoire de Biochimie, BP 812, Yaoundé, Cameroun

Résumé

Le climat tropical est particulièrement propice au développement des champignons producteurs d'aflatoxines sur des substrats à base de produits alimentaires et notamment céréaliers.

Le présent travail consiste en une analyse systématique des quantités de toxines sur 154 échantillons prélevés sur les marchés dans diverses zones climatiques du Cameroun. Les aflatoxines semblent présentes partout, jusque dans les aliments cuits prêts à la consommation, à des taux pouvant dépasser 0,1 ppm.

Ceci amène les auteurs à comparer les fréquences de contamination à la fréquence d'observation du cancer primitif du foie chez les populations concernées, région par région.

Introduction

Dans les pays en voie de développement où la technologie alimentaire est encore à l'état embryonnaire, la préservation des aliments et des denrées est un problème préoccupant. C'est ainsi qu'à cause de sa situation en zone tropicale, le Cameroun offre un champ de prédilection à la prolifération des moisissures et, par suite, à la production des aflatoxines dans les denrées alimentaires.

Les champignons producteurs de ces toxines, les *Aspergillus flavus* et *parasitus*, peuvent se développer dans des conditions d'humidité et de température appropriées (28 °C) sur une

variété d'aliments essentiellement à base de céréales et d'arachides. Par ailleurs des études ont révélé des corrélations évidentes entre l'ingestion de ces toxines, la toxicité alimentaire et à long terme le cancer primitif du foie [3, 9, 10]. Il reste néanmoins que les quantités exactes d'aflatoxines ingérées de façon chronique et leurs effets exacts sur l'homme demeurent encore mal connus.

Des études préliminaires réalisées dans notre laboratoire sur des échantillons alimentaires de la région de l'Ouest Cameroun, ont mis en évidence la présence des aflatoxines dans les aliments prêts à la consommation [5]. Il nous a paru nécessaire d'étendre ces recherches sur l'ensemble du territoire et par zone climatique, afin d'établir une corrélation entre la fréquence de contamination des aliments prêts à la consommation mis à la disposition du public, et l'incidence du cancer primitif du foie au Cameroun établi par Abondo *et al.* [1].

Matériels et méthodes

Les échantillons alimentaires crus ou cuits ont été achetés sur les marchés de certaines provinces en fonction des zones climatiques (Tableau I). Ces aliments ont été choisis en raison de leur forte consommation et de leur sensibilité à l'attaque par les moisissures. Les denrées achetées ont été immédiatement conservées au froid à -20°C (pour empêcher toute attaque ultérieure par les souches d'*Aspergillus* producteurs d'aflatoxines) jusqu'à l'analyse. En moyenne, 25 échantillons par type d'aliment ont été analysés. Ces derniers sont : les beignets de maïs, les boulettes de maïs-arachide, les pâtes d'arachides, les galettes d'arachides, les beignets de haricot-maïs, et les farines de maïs crues.

Tableau I. Lieux d'achat et zones climatiques correspondantes.

Province	Ville	Végétation	Climat
Adamaoua	N'Gaoundéré	Zone de savane et de steppe	Climat tropical sec et climat tropical humide
Nord	Garoua		
Centre	Yaoundé	Zone forestière	Climat équatorial
Littoral	Douala Nkongsamba	Zone littorale	Climat équatorial côtier
Ouest	Bafoussam Foumbot	Zone montagneuse	Climat équatorial de montagne
Nord-Ouest	Bamenda		

Les aflatoxines sont extraites des échantillons selon la méthode de Jacquet *et al* [7]; la purification de l'extrait et l'identification sont réalisées suivant les techniques de l'AOAC [2]. Puis l'estimation quantitative des aflatoxines (B₁, B₂, G₁ et G₂) est effectuée sur les dilutions sériées de différents extraits selon la méthode de l'extinction limite [8].

Résultats. Discussion

Sur un total de 154 échantillons analysés, 61 % sont contaminés par les aflatoxines. Parmi les quatre types d'aflatoxines (B₁, G₁, B₂, G₂) les aflatoxines B₁, G₁, qui sont des potents carcinogènes, se retrouvent respectivement dans 50 % et 44 % des échantillons. Nous avons noté des différences dans les fréquences de contaminations aflatoxiniques au niveau des aliments, et suivant les zones climatiques (fig. 1).

Cette fréquence est la plus élevée dans les boulettes d'arachide (75 %), suivie des farines de maïs (72 %), des galettes d'arachide (65,4 %), des boulettes maïs-arachide (64 %), des beignets haricot-maïs (48 %) et enfin des beignets de maïs (40 %). Bien que les beignets de haricot précèdent les beignets de maïs, ils accusent des taux d'aflatoxines relativement faibles (0,1 ppm). La forte fréquence observée dans les cas des boulettes d'arachides et de la farine de maïs serait probablement liée aux difficultés de conservation des arachides et du maïs. Dans les régions du Cameroun où elles sont les plus consommées (zones montagneuses), l'arachide et le maïs sont généralement récoltés en pleine saison des pluies. Leur séchage par temps humide est relativement lent, ce qui occasionne la prolifération des moisissures. Par ailleurs, comparés au haricot qui est récolté en saison sèche, et fort demandé sur les marchés, le maïs et l'arachide connaissent un entreposage plus ou moins long. Or il a été démontré que l'environnement, les conditions et la durée de stockage sont les facteurs déterminants dans le développement des champignons [3].

Trente neuf pour cent d'aliments contaminés ont un taux d'aflatoxines compris entre 0,1 et 0,5 ppm. Si l'on considère les données climatologiques, les fréquences de contamination sont relativement plus faibles dans les régions littorales au climat chaud et humide (55 % à Nkongsamba, 46,6 % à Douala) que dans les régions de savane et de steppe, (75 % à Garoua et 77 % à N'Gaoundéré) (fig. 2). Cependant les taux d'aflatoxines contenus dans les aliments y sont faibles, sinon relativement moyens comparés à ceux des régions chaudes, humides, et montagneuses. Avec leur climat quelque peu semi-aride, on serait tenté de penser que la croissance de ces champignons producteurs d'aflatoxines y est difficile.

Il ressort de ces travaux que 20 % d'échantillons analysés ont des taux d'aflatoxines supérieurs à 0,1 ppm, valeur largement supérieure à celle tolérée par la FAO/OMS dans les aliments et qui est de 30 µg/kg. Il apparaît que la tendance à transformer les produits avariés sous une forme plus ou moins agréable est dominante, surtout en raison des impératifs de la commercialisation. De telles constatations témoignent de l'exposition des populations au danger des aflatoxines dans ces types d'aliments locaux, et à long terme.

Un triage minutieux des denrées (maïs, arachides, haricots) et la chaleur de cuisson abaissent certainement le taux des aflatoxines [6]. Ceci a été bien vérifié par les résultats préliminaires [5], lorsqu'on passe de 368 ppm dans les arachides crues stockées dans des conditions d'humidité les plus appropriées au développement des *Aspergillus*, à 0,212 ppm dans la pâte d'arachide cuite [5]. Les farines de maïs telles qu'elles sont vendues, sont faites à partir de graines n'ayant subi qu'un triage partiel des éléments moisissés. C'est ainsi que la chaleur de cuisson pourrait être responsable de la destruction d'une certaine partie des aflatoxines, potents carcinogènes, dans les aliments à base de ces céréales.

La connaissance du pouvoir cancérigène des aflatoxines suscite des comparaisons entre leur fréquence dans les aliments, et la fréquence des carcinomes primaires dans différentes régions. Une étude rétrospective réalisée à partir d'une enquête épidémiologique [1] montre que, de 1973 à 1981, 4 292 cas de cancer ont été répertoriés, dont 388 cas de cancers primi-

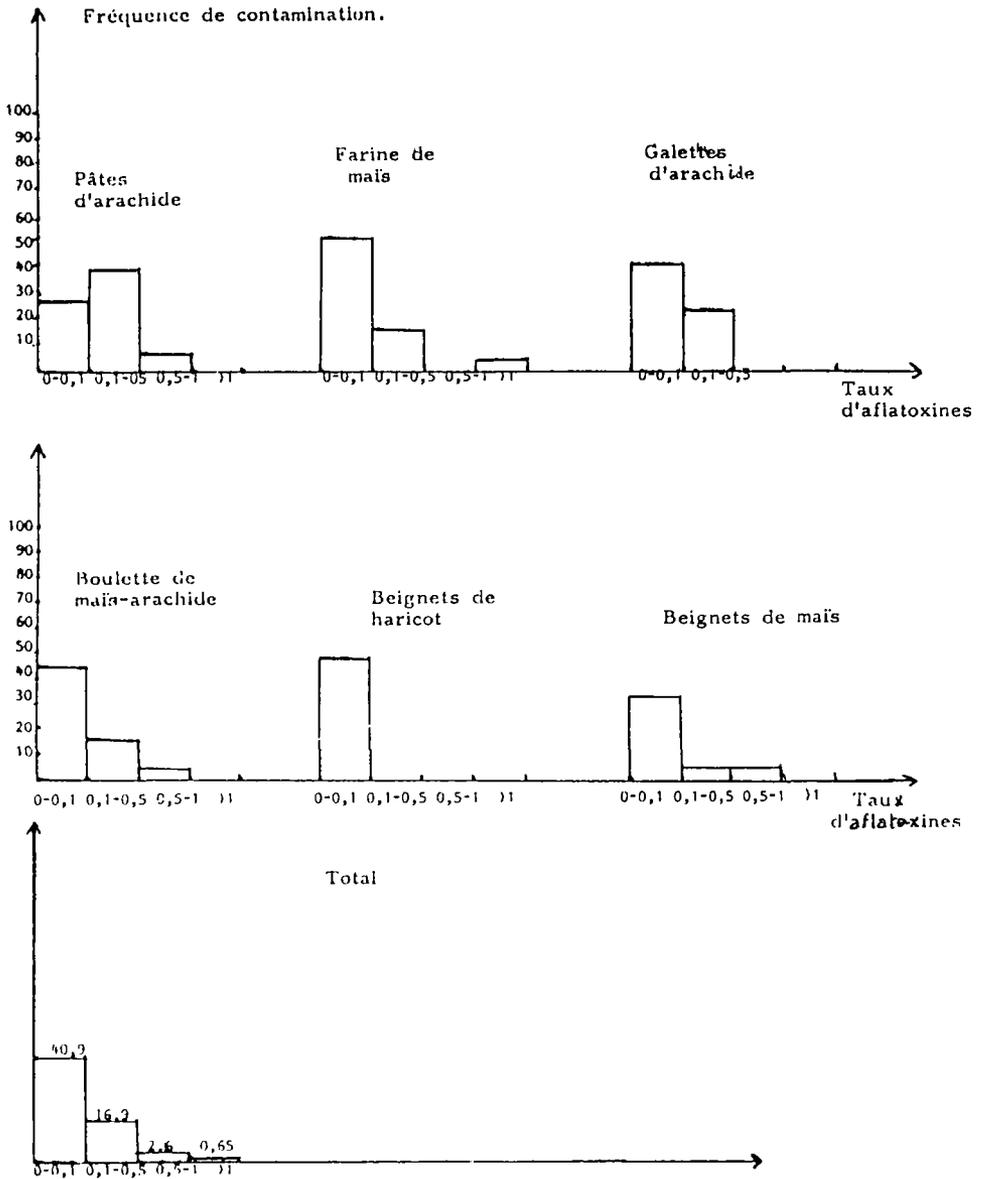


Figure 1. Concentration totale des aflatoxines en fonction des aliments.

tifs du foie (soit 7,4 % de la totalité des cancéreux). Nos travaux indiquent que la fréquence de contamination des aliments suit approximativement la distribution de l'incidence du cancer primaire du foie dans différentes régions du Cameroun (fig. 3). En région forestière, en particulier dans les provinces du Centre et du Sud, où les plus forts taux d'aflatoxines ont été enregistrés dans les aliments, on a une plus forte incidence du cancer primitif du foie. Ce

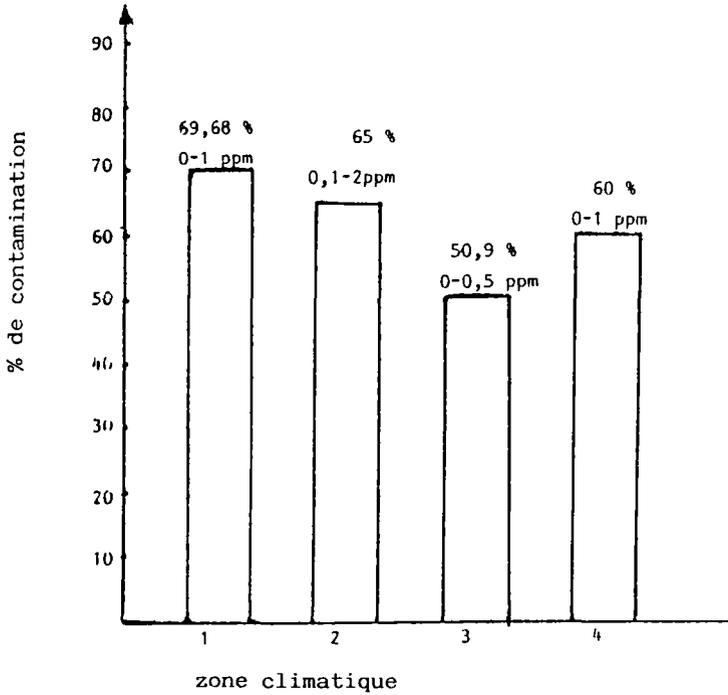


Figure 2. Contamination en fonction de la zone climatique.

1. Zone de savane et de steppe
2. Zone de forêt
3. Zone littorale
4. Zone montagneuse.

résultat serait également en partie dû aux déplacements des malades des endroits dépourvus de potentialités thérapeutiques vers les régions disposant des structures adéquates aux traitements à Yaoundé. Il reste que les populations de cette ville et des environs sont beaucoup plus susceptibles à une ingestion des aflatoxines en quantités non négligeables. Actuellement aucune preuve directe ne permet d'impliquer les aflatoxines seules dans l'évolution de cette maladie chez l'homme. Il faut cependant réitérer que, outre les aflatoxines, il existe d'autres carcinogènes actifs à l'instar des virus de l'hépatite B, les nitrites, etc., dans les milieux environnants et les aliments incriminés dans le développement de cancer primitif du foie.

Par conséquent, l'existence de tous ces facteurs réunis dans les aliments y créerait certainement un écosystème favorable au développement à long terme du cancer primitif du foie.

Conclusion

Au Cameroun les aflatoxines sont présentes non seulement dans certaines céréales en stockage, mais également dans les aliments cuits prêts à la consommation; leur taux dépasse parfois des taux alarmants de 0,1 ppm. Cette présence d'aflatoxines dans les aliments reste

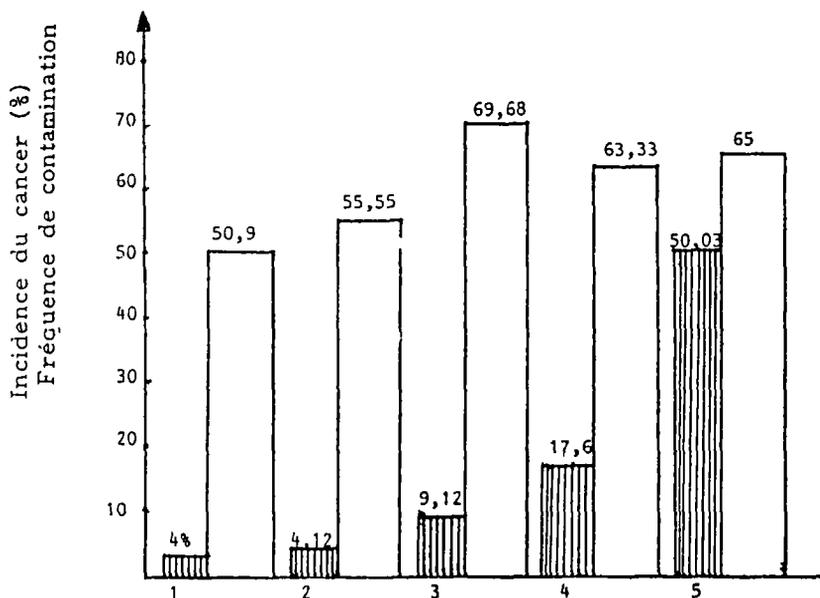


Figure 3. Distribution géographique des fréquences de contamination aflatoxinique et du cancer primitif du foie [1].

une menace sérieuse qui se surajoute aux conséquences de la malnutrition. Une sensibilisation de la population doit être faite sur les méthodes de conservation et de traitement des aliments crus [4, 6] :

- *durant la récolte* :
 - éviter les dommages physiques sur les graines
 - utiliser judicieusement les pesticides qui permettent une inhibition de la croissance des moisissures.
- *pendant l'entreposage* :
 - éviter une atmosphère humide et sécher immédiatement après récolte,
 - utiliser des structures de séchage sèches et étanches aux eaux.
- *avant cuisson*
 - éliminer toutes les graines moisies, et bien laver le reste si possible,
 - cuire longtemps, de préférence sous pression.

Références

1. Abondo A, Essomba R, Ngbangako M, Essamé Oyono JL, Mbakop A. (1984). La pathologie cancéreuse au Cameroun : aperçu sur les aspects épidémiologiques. Cahiers de l'IMP; I : 39.
2. AOAC. (1980). Official methods of analysis. Thirteenth edition. Association of official analytical chemists. Washington DC, 20 004.
3. Alpert ME, Hutt MSR, Wogan CN, Davison CS. (1971). Association between aflatoxin content of food and hepatocarcinoma frequency in Uganda; Cancer; 28 : 253-260.
4. Domngang F. (1985). Carcinogenicity induced by environmental agents. Educat Health; 46 : 241-242.

5. Domngang F, Kamdem L, Moundipa FP. (1984). Présence d'aflatoxines dans certains aliments consommés au Cameroun. *Ann Fac Sc Biol Biochim*; 2 : 93-101.
6. FAO/PNUE. (1979). Prévention des mycotoxines; 10 : 1-2.
7. Jacquet J, Boutignonnes P, Teherani A. (1971). Méthode simple de recherche des flavocoumarins (aflatoxines). *Industries alimentaires et agricoles. PPJ*.
8. Kamdem L, Percebois. (1980). Condition de production d'aflatoxines et de l'acide kojique par les souches d'*Aspergillus* et *Penicillium* isolées du revêtement cutané humain. *Bull Acad Sc Lorr Sci*; 19 : 11-20.
9. Nwokolo C, Okonkwo P. (1978). Aflatoxin load on common food in savanna and forest region of Nigeria. *Transac Royal Soc Trop Med Hyg*; 72 : 4.
10. Wogan CN. (1966). Chemical nature and biological effects of the aflatoxins. *Bacteriol Rev*; 30 : 460-469.

PARTIE III

Procédés de transformation

Président de séance : M. PARMENTIER

1

Le maïs au Sud-Bénin : innovations technologiques et alimentation

H. DEVAUTOUR*, C.M. NAGO**

* CEEMAT-CIRAD, Domaine de Lavalette, Avenue du Val de Montferrand, 34100 Montpellier, France.

** Université Nationale du Bénin, Faculté d'Agronomie B.P. 526. Cotonou, Bénin.



Dieu du Maïs au Mexique

«Chanceux est le Maïs qui, parti nu au champ en revient tout paré de vêtements chanceux est le maïs !»

chanson Yoruba (Sud-Bénin)

Résumé

La valorisation des céréales des régions chaudes passe par une connaissance des filières artisanales qui assurent l'essentiel de l'approvisionnement urbain en produits agricoles ou transformés. Ces filières artisanales sont en particulier le lieu où se développent des innovations :

— dans les styles alimentaires (restauration collective, restauration de rue) surtout en zone urbaine.

— dans les procédés, les outils et les produits (mouture mécanisée, modification du procédé de fabrication de la bière de maïs, galettes).

— dans le fonctionnement des filières tant du point de vue social (nouvelles organisations, répartition des tâches...) qu'économique (systèmes de prix...).

Les actions de recherche menées qui ont, dans un premier temps, permis de reconnaître le rôle fondamental de la filière artisanale visent maintenant à l'aider à surmonter ses contraintes

techniques (interface alimentation : énergie, recherche sur les outils, recherches sur les procédés, en particulier sur les fermentations, recherches sur la qualité des produits finis). Ces recherches permettront de mieux valoriser les débouchés en utilisant la diversité des productions et en encourageant la dynamique des innovations dans ces filières.

Introduction

L'artisanat de transformation alimentaire constitue un secteur de production, de commercialisation et de consommation des aliments dont l'originalité remonte à son histoire précoloniale. Il a survécu à la colonisation et à l'industrialisation et garde toujours son caractère endogène et intraverti, en ce sens qu'il transforme essentiellement les matières premières locales en produits issus de sa propre technologie pour la satisfaction des besoins alimentaires des membres de la société.

Aujourd'hui la réalité a tranché dans l'abstraction des débats théoriques sur l'intérêt à étudier les technologies autochtones, sur la nécessité de prendre en compte le «secteur informel».

Les filières artisanales continuent à jouer un rôle essentiel dans l'alimentation de millions d'Africains et elles montrent leur dynamisme, leur faculté d'adaptation, leur capacité d'innovation dans une période de crises (crise urbaine, crise agraire, crise énergétique, crise financière) et de changements socio-économiques.

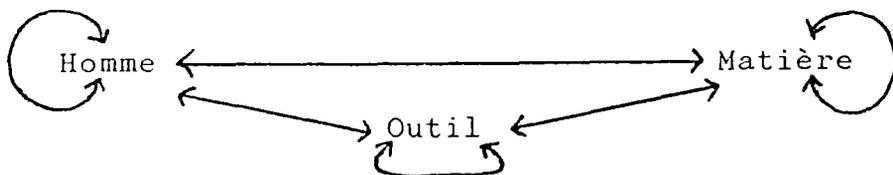
Les recherches menées par la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Nationale du Bénin et le Groupe ALTERSIAL depuis 1984 sur l'artisanat alimentaire béninois, et en particulier celui assurant la transformation du maïs, visent un triple objectif :

— *Une valorisation culturelle* par l'étude des produits consommés en relation avec l'évolution des styles alimentaires, en particulier en milieu urbain.

— *Une valorisation socio-économique* par l'étude des filières permettant une meilleure connaissance :

- des opérateurs, de leurs logiques, de leurs organisations
- des flux de circulation des produits
- des indicateurs économiques tant au niveau micro-économique (unité de production) qu'au niveau macro-économique (emplois, revenus sur le pays).

— *Une valorisation technologique* par l'analyse des systèmes techniques et des opérations mettant en jeu l'ensemble des relations Homme-Outil-Matière [10].



Cette triple approche, pluridisciplinaire, permet l'identification des contraintes et dynamiques de l'innovation, préalable au travail de recherche-développement visant à réduire les contraintes et/ou appuyer les dynamiques dans cette filière.

Cette démarche s'apparente aux études des grandes entreprises préalables à l'innovation (produit ou procédé) associant leurs fonctions Marketing, Approvisionnement-Vente, Production et Recherche-Développement.

Produits consommés

Maïs : origine et valeur culturelle

Le maïs, originaire d'Amérique du Sud, fut importé par les Espagnols et les Portugais dès leur conquête de ce nouveau continent (1492). Dès le 16^e siècle, ces deux peuples, au travers du commerce triangulaire et du transport des esclaves venant d'Afrique, ont implanté le maïs dans ces pays.

La remarquable étude d'Alexandre Sénou Adande, réalisée en 1946, publiée par l'IFAN (T.XV n° 1, janvier 1953) et actualisée en 1984 [1] souligne à juste titre que le maïs constitue bien plus qu'un aliment.

«Il est étonnant de constater que cette plante qui est d'origine américaine ait non seulement acquis droit de cité au Bénin au point d'être considérée comme autochtone mais encore soit passée dans les proverbes, les contes, voire les légendes».

Toute une sociologie s'est créée autour de cette céréale, mythologie ou histoire, mais hautement significative du rapport instauré entre la plante et l'homme.

Produits du maïs

Le maïs représente à lui seul près des trois-quarts de la production céréalière du Bénin. Aliment de base du Sud-Bénin (2 récoltes/an), il est consommé sous toutes les formes, seul ou en association. C'est le produit agricole qui fait l'objet du plus grand nombre de transformations. Le Tableau I recense la plupart de ces transformations sous leur nom le plus courant.

Cette diversité montre l'enracinement culturel profond que représentent le maïs et ses produits dans les styles alimentaires du Bénin Méridional. «L'alimentation est un des traits qui caractérise le mieux une société. L'alimentation et la cuisine sont des éléments tout à fait capitaux du sentiment d'appartenance collectif... Les transformations subies par les substances alimentaires ne sont pas que matérielles. La cuisine opère aussi (surtout ?) dans le registre de l'imaginaire ; si l'on ne craint pas d'être sommaire, on peut dire qu'elle fait passer la matière première alimentaire de l'état de nature à l'état de culture»*.

Filière artisanale du maïs

Identification

Cette filière a été étudiée dans le Sud-Bénin par une enquête de dénombrement la plus exhaustive possible des vendeuses et des productrices-vendeuses de produits végétaux locaux à Cotonou. Cette enquête de dénombrement (Tableau II) a été suivie d'une enquête socio-économique approfondie sur un échantillon représentatif des femmes artisans ou commerçantes puis d'analyses techniques détaillées sur certains produits.

(*) Fischer Claude : Alimentation, cuisine et identité. Actes du colloque «Identité Alimentaire et Altérité Culturelle», Université de Neuchâtel, Suisse.

Nous avons peu abordé dans ces enquêtes deux autres types d'artisanat alimentaire :

— la petite restauration fixe ou ambulante de fabrication et de consommation de plats préparés.

— la fourniture de service liée aux activités de fabrication et de vente (moulins prestataires de services, forgerons constructeurs d'équipements, préparateurs de feuilles d'emballage, récupérateurs de conditionnement industriel, filière bois de chauffe...).

Enquête moulins

— Moulins à grains (à meules verticales) : 319

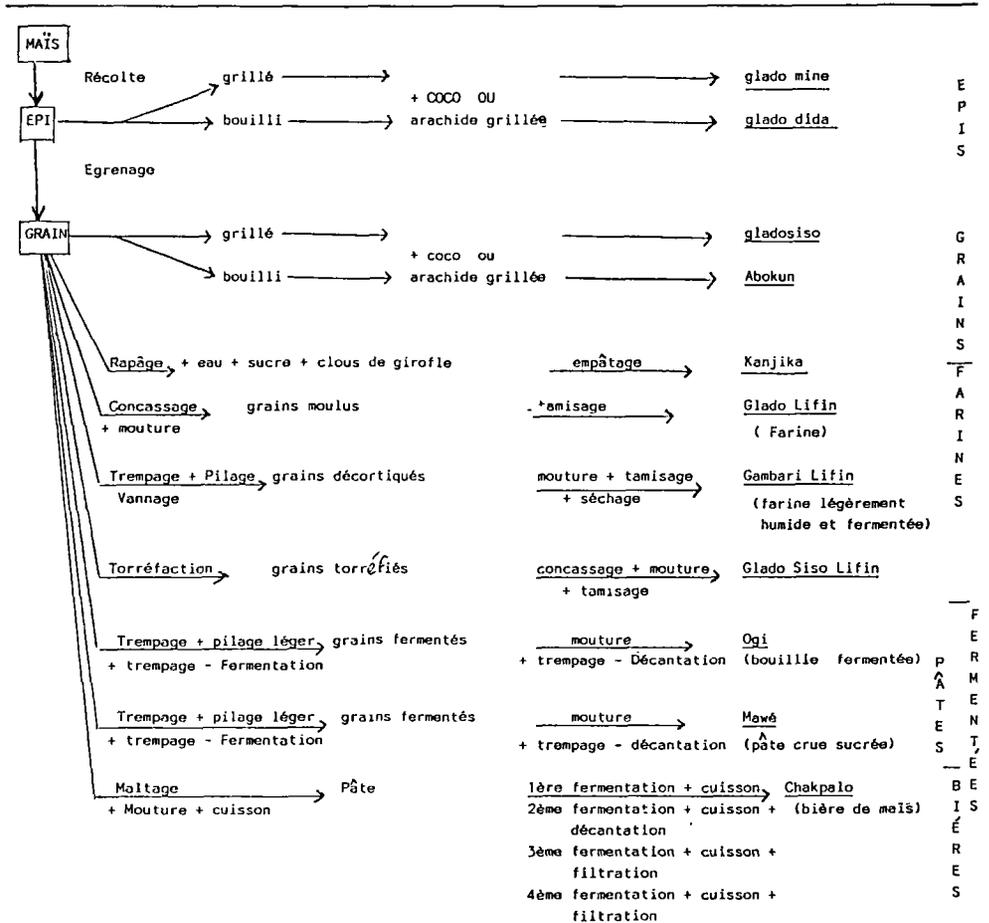
(Maïs + arachide + haricot)

— Moulins à épices (piment...) : 56

— Moulins divers : 3

Il est à noter que l'artisanat de production et de vente de produits alimentaires végétaux locaux est constitué à près de 50 % par la filière maïs.

Tableau I. Les produits du maïs.



Le maïs au Sud-Bénin

Tableau I (suite). 2^e transformation.

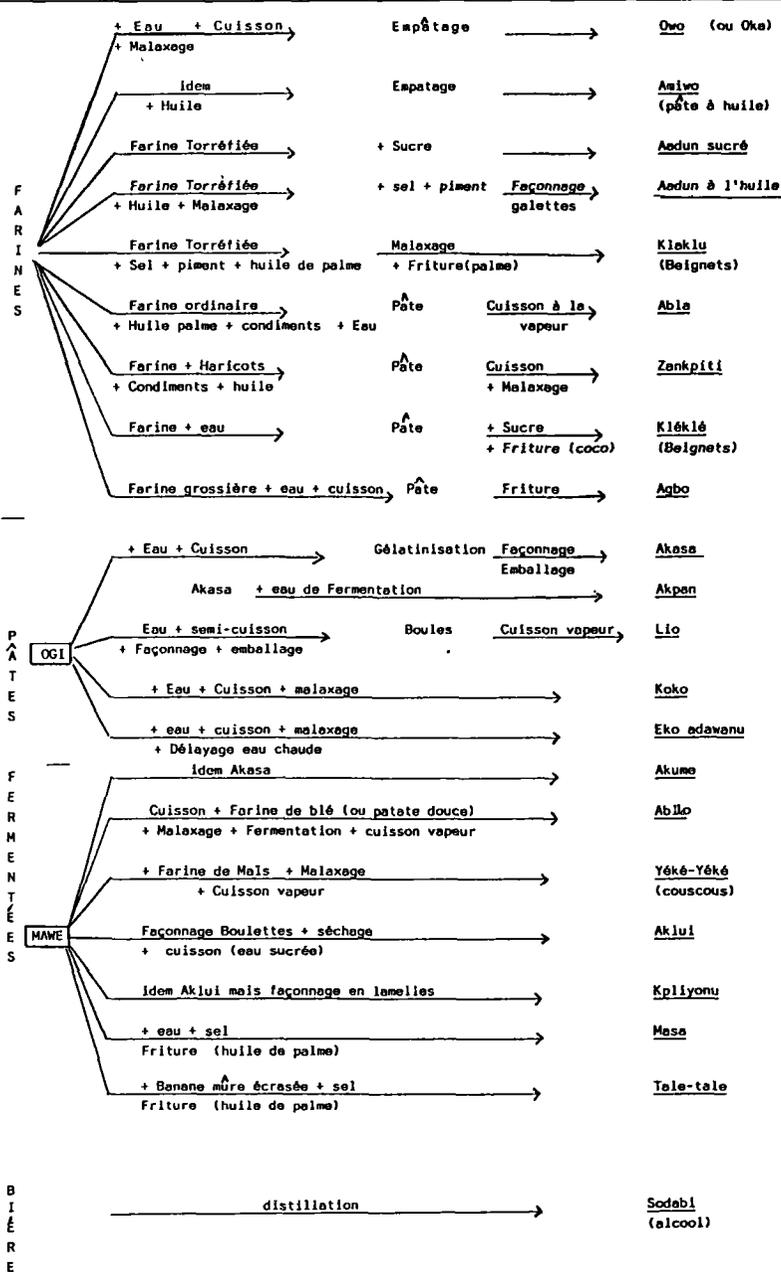


Tableau II. Résultats enquête Cotonou.

- Produits à base de maïs :		
Akassa	1.200	artisans
Bouillie	415	"
Chakpalo	400	"
Pate	356	"
Mawè	213	"
Lio	206	"
Beignets	165	"
Akpan	123	"
Ablo	120	"
Masa	58	"
Andou	51	" (avec arachide)
Tale-tale	20	
<hr/>		
Total :	3.327	artisans
- Produits à base de manioc :		
<hr/>		
Gari	1 006	artisans
Autres	244	"
<hr/>		
Total :	1 250	
- Produits à base du palmier :		
<hr/>		
Total :	456	artisans
- Produits à base d'arachide :		
<hr/>		
Total :	1 334	artisans
- Produits à base d'haricot : (Niébé, haricot blanc)		
<hr/>		
Total :	225	artisans
- Produits à base de coco :		
<hr/>		
Total :	56	artisans
- Produits à base de Néré :		
<hr/>		
Total :	106	artisans
<hr/>		
Total général :	6 754	artisans (2 à 3 % population)

Caractéristiques

Un rôle de la femme prépondérant

C'est la femme qui gère l'activité de production et qui réalise la majeure partie des opérations. On note cependant au niveau des prestataires de service, un nouveau type d'agent : le meunier, dont l'apparition coïncide avec l'arrivée du moteur dans l'économie villageoise.

Un rôle d'agent nourricier de la ville

Nous constatons l'émergence d'un marché urbain de produits élaborés peu coûteux. Signalons en particulier le développement considérable de l'alimentation de rue.

Un secteur créateur d'emploi ?

Les concepts d'emploi, de sous-emploi, de chômage sont en fait inadaptés à un monde où les frontières entre «travail» et «non travail» ne sont pas clairement ressenties. Il vaut mieux raisonner en termes de personnes concernées par l'activité ou de revenus générés.

Le chiffre de 3 327 femmes concernées par la production de produits transformés, chiffre qui, rappelons-le, ne prend en compte ni les activités d'aide à la production ni les activités de prestations de service liées, est à comparer aux quelques centaines de salariés de l'ensemble de l'industrie alimentaire à Cotonou, (principalement brasseries et boulangeries) et aux quelques 400 000 habitants que comptait Cotonou en 1984.

Un secteur créateur de revenus ?

Le chiffre d'affaires journalier s'établit entre 2 000 et 4 500 F CFA. Le revenu journalier estimé s'établit pour la plupart des productrices-vendeuses entre 300 et 600 F CFA. On note cependant que, dans la plupart des cas, une partie de l'alimentation familiale est prélevée sur la production. Une estimation établit entre 50 et 200 F CFA la valeur monétaire de ce prélèvement.

Rapporté à une production mensuelle s'étendant sur 25 jours, on obtient :

Revenu monétaire mensuel : 7 500 à 15 000 F CFA

Equivalent en nature (production consommée) : 1 250 à 5 000 F CFA

Revenu brut : 8 750 à 20 000 F CFA

qui sont à comparer au salaire brut d'un ouvrier du secteur agro-alimentaire industriel qui est de 15 080 F CFA par mois à l'époque de l'enquête.

A titre indicatif, une estimation sommaire établit pour les 6 700 femmes concernées un chiffre d'affaires annuel de plus de 6 milliards de F CFA pour un revenu d'environ 1 milliard de F CFA, dont environ la moitié pour la seule filière maïs.

Une activité d'accès assez facile

Au niveau social, toute femme peut décider de s'y adonner du jour au lendemain. On note cependant que près de la moitié des productrices ont plus de 40 ans. Ceci peut s'expliquer en partie par les autres multiples activités des femmes avant cet âge et en partie par l'existence d'une barrière économique. En effet, si le fonctionnement journalier (achat de maïs) s'effectue souvent à crédit (pour 50 % d'entre elles), l'achat des équipements doit être réglé comptant. Le capital s'établit entre 3 000 et 15 000 F CFA dans la transformation du maïs. L'origine de ce capital est diverse : dot ou don du mari, don des parents, prélèvement sur le fonctionnement familial du mois, plus rarement tontine.

Un savoir-faire entièrement maîtrisé

L'artisanat de transformation alimentaire ne fait qu'utiliser à plus grande échelle des techniques domestiques acquises dans l'éducation familiale.

Dynamiques d'innovation

L'innovation peut s'exercer sur différentes relations dans le système technique, en particulier sur le produit, sur le procédé, sur l'outil, sur l'organisation sociale de la production...

Différentes dynamiques ont pu être repérées dans la filière artisanale de transformation du maïs au Bénin.

Les moulins

Comme dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, le moulin à céréales s'est répandu au Bénin tant en milieu urbain que rural au cours des dernières décennies. Dans ce cas, on a :

Innovation sur l'outil

Substitution du pilon/mortier par le moulin motorisé. Ces moulins (pour la plupart de marque Hunt à Cotonou) sont des moulins à meules verticales de coryndon. Il est à noter que :

— l'enquête à Cotonou a montré que ces moulins sont utilisés indifféremment sur le maïs, le sorgho, le haricot, l'arachide. Certaines heures sont réservées en particulier à l'arachide qui nécessite un démontage avec des réglages d'écartement des meules spécifiques. C'est donc un outil polyvalent, ce qui explique l'utilisation d'un moulin à meule (le maïs et l'arachide étant broyés humides) par rapport au moulin à marteau.

— Un moulin couvre les besoins d'une population d'environ 1 500 à 2 000 personnes si on se réfère aux données de l'enquête sur Cotonou.

— Certains artisans en milieu rural (région de Porto-Novo) couplent sur le même moteur thermique (en général diesel) un moulin et une râpe (coprah, manioc).

Innovation sur l'organisation sociale

L'introduction de la mouture mécanisée a fait émerger une nouvelle catégorie d'artisans prestataires de service, les meuniers. On a donc :

— modification de l'organisation sociale du travail avec apparition d'un nouvel opérateur, apparition des rapports salariaux à l'intérieur des moulins;

— nouvelle division sexuelle du travail avec apparition des hommes dans une filière traditionnellement entièrement maîtrisée par les femmes.

Préparation de l'akassa

La commercialisation des produits intermédiaires à la fabrication de l'«akassa», les pâtes fermentées «Mawé» et «Ogi», s'est développée ces dernières années en milieu urbain. L'innovation s'exerce ici :

— sur l'organisation sociale de la production, la préparation finale de l'akassa étant laissée au consommateur. Ceci répond au double objectif de fournir un produit semi-fini au consommateur afin de réduire ses tâches de préparation tout en lui permettant d'adapter à ses habitudes de consommation le goût final du produit.

— sur le produit, certaines femmes artisans essayant de sécher partiellement la pâte fermentée (mawé ou ogi) pour permettre une meilleure conservation de ce produit semi-fini.

Préparation du chakpalo

La bière de maïs est l'objet de nombreuses modifications, en particulier en milieu urbain. On note en particulier l'apparition de quelques cas de nouvelle organisation avec une spécialisation des tâches maltage et brassage. Cette dynamique est cependant moins nette que celle, identique, qui a pu être observée au Burkina-Faso dans la filière artisanale de production de bière de mil ou de sorgho (Dolo).

En milieu urbain, la principale innovation dans la préparation du chakpalo porte actuellement sur le produit final commercialisé. Il est en effet devenu très difficile de trouver sur les marchés de Cotonou la bière traditionnelle de maïs. Les productrices-vendeuses commercialisent sous la même dénomination une nouvelle boisson à base de maïs très légèrement fermentée (1 seule fermentation au lieu des 4 du procédé traditionnel) et abondamment sucrée par addition de sucre. Ce nouveau produit qui s'apparente plus aux «soft-drinks» qu'à la bière s'adresse en particulier à la clientèle des jeunes et des femmes sur les marchés. Parmi les facteurs qui ont influencé cette transformation on peut noter :

- l'adaptation du produit à la demande d'une nouvelle clientèle sur un concept «soft-drinks» (qui se traduit chez certaines productrices par l'addition de jus de fruits) ;
- la concurrence de la bière industrielle, surtout en ville, qui réserve de plus en plus la consommation de bière traditionnelle aux cérémonies familiales et religieuses ;
- la diminution de la fatigue chez les femmes productrices, la nouvelle production nécessitant moins de 2 jours de préparation contre 8 à 10 jours pour la bière traditionnelle.

Alimentation infantile

Depuis quelques années, fonctionne au sein du Centre Horticole et Nutritionnel de Ouando un atelier de fabrication de farines infantiles. Il assure la production de farines de sevrage à base de produits locaux (maïs, sorgho, riz, soja, sucre), de biscuits à base de soja destinés aux enfants et depuis peu de poudre de soja grillé.

Cet atelier a introduit de nombreuses innovations tant sur les produits que sur les procédés, les équipements, l'organisation de la production et de la commercialisation [8].

Il est intéressant de noter que, parallèlement à cette expérience d'atelier semi-industriel, les femmes, tant au niveau familial qu'artisanal, testent actuellement les possibilités de produire et commercialiser sur les mêmes bases des produits plus proches des habitudes de consommation. Elles introduisent en particulier l'opération de fermentation sur le maïs et le soja, opération non effectuée à Ouando qui commercialise des farines. Cette évolution vise à valoriser la production agricole de soja, introduite dans la région de Porto-Novo par l'atelier de Ouando, en l'intégrant dans le système alimentaire, et dans ce cas dans l'alimentation des jeunes enfants (bouillies fermentées).

Conclusions. Perspectives

L'émergence actuelle de nouveaux styles alimentaires en ville et en milieu rural justifie l'intérêt pour les produits autochtones, leur transformation et leur évolution notamment en ville. Les orientations prises par la recherche influent sur cette évolution. C'est pourquoi il est important de partir de l'observation des comportements alimentaires.

Partir de la société qui consomme

Tel pourrait être le premier principe pour comprendre et influencer les modalités de consommation des produits locaux. Il n'existe malheureusement que très peu de données permettant de connaître les caractéristiques de l'alimentation et de comprendre les mécanismes par lesquels des changements s'opèrent, des résistances s'exercent.

Reconnaître le rôle de la filière artisanale

Il importe donc de se doter d'outils permettant de mieux appréhender cette filière tant dans ses caractéristiques techniques que sociales et économiques.

Favoriser la diversité

Cette diversité constitue un atout plus qu'une faiblesse. Cette richesse témoigne de goûts spécifiques et très différenciés selon le pays, la région, l'ethnie et la catégorie de consommateurs.

Encourager l'innovation

L'introduction de produits ou de procédés nouveaux apparaît non seulement possible mais désirée par les populations urbaines et rurales.

Pour réussir cette innovation, il ne suffit pas de mettre au point un nouveau procédé technologique. L'innovation implique la participation de tous les agents d'une filière depuis les producteurs jusqu'aux consommateurs pour pouvoir s'intégrer dans le système alimentaire.

Il ne suffit donc pas qu'un produit soit «acceptable» techniquement. Il doit être «désirable» socialement, «viable» économiquement et compatible avec l'une des filières existantes.

Références

1. Adande AS. (1984). Le maïs et ses usages au Bénin Méridional. ACCT. Les Nouvelles Editions Africaines.
2. Bricas N, Muchnik J, Treillon R, Jacquinet M. (1983). L'artisanat alimentaire. ALTERSIAL.
3. Bricas N, Muchnik J. (1984). Technologie autochtones et artisanat alimentaire urbain. Séminaire «Nourrir les villes», Paris.
4. Bricas N, Odeye M. (1986). Innovations technologiques et alimentation en zone urbaine. Le cas Dakar. ALTERSIAL, Ministère de la Coopération.
5. Devautour H, Griffon D. (1986). La conservation et la transformation alimentaires en Afrique. En alternatives technologiques et emploi. BIT, PECTA.
6. Dossomou A. (1981). Transformation du maïs au Bénin. Technologie traditionnelle. ALTERSIAL—ENSIA.
7. Guedegbe B. (1986). Contribution à l'étude de l'Akassa Béninois. Analyse des aspects technologiques et nutritionnels, thèse Ingénieur Agronome. FSA – UNB – Bénin.
8. François M, Treillon R. (1986). Farines infantiles au Bénin. Le cas de Ouando. ALTERSIAL—PARIS.

Le maïs au Sud-Bénin

9. Muchnik J. (1980). Alternatives pour la transformation du maïs. Ministère de la Coopération, Paris.
10. Muchnik J, Guérin B, Treillon R. (1986). Alternatives technologiques et alimentation. ALTERSIAL–Paris.
11. Nago CM. (1984). Analyse des conditions du stockage, de la commercialisation et estimation de la consommation alimentaire dans la province du Mono. FSA – UNB – Bénin.
12. Nago CM. (1982). Recherches biotechnologiques sur une boisson fermentée du Bénin à base de maïs : le «Chapalo». FSA – UNB.
13. Nago CM, Hounhouigan J. (1984). L'artisanat alimentaire à Cotonou. FSA – UNB – Bénin.
14. Nago CM, Ocen A, Guedegbe B. (1987). Les consommations de bois de feu dans la préparation de l'Akassa au Bénin. AFME/ENSIA/GRET/UNB-FSA, Paris.
15. Sautier D, Odeye M, Faure J, Muchnik J. (1986). La valorisation des céréales locales sahéliennes. OCDE – Club du Sahel, Paris.
16. Treillon R, Muchnik J. (1981). La revalorisation des technologies autochtones : un nouvel axe de coopération scientifique. Colloque recherche agro-industries Paris.
17. Vanderheide B, Keulemans M. (1985). La situation alimentaire à Tokpoe, village «terre de barre». District de Bopa RPB UNB/ Un Ag de Wageningen, Bénin.
18. Anonyme. (1980). Etude sur les activités de transformation au niveau du village dans la Province Atlantique. Projet Bénino-Allemand de développement rural. Carder de l'atlantique – RPB.

2

Étude comparative de quelques techniques de transformation du maïs en farine dans l'Adamaoua

R. NDJOUENKEU, C.M.F. MBOFUNG, F.X. ETOA

Département des Sciences de l'Alimentation. ENSIAAC, Centre Universitaire de N'Gaoundéré, B.P. 455, N'Gaoundéré, Cameroun.

Résumé

La farine de maïs à la disposition de la ménagère sur les marchés de l'Adamaoua est obtenue par différentes techniques (traditionnelles, semi-mécanique, mouture directe et totale, et industrielle) qui ont une influence sur les qualités nutritionnelles finales du produit.

La comparaison des 3 méthodes artisanales et du témoin industriel permet de dégager les facteurs de variation susceptibles d'influencer la qualité de la farine ainsi que les rendements en nutriments élémentaires.

Une enquête de préférence auprès des ménagères permet de relier les possibilités d'utilisation aux modes d'obtention de la farine. Un facteur est particulièrement étudié : l'influence du trempage du grain sur sa friabilité. Le trempage s'avère être une opération inutile et appauvrissante.

Introduction

La farine de maïs est une denrée de consommation courante dans les ménages africains. Sa fabrication par concassage, dégermage et mouture du grain, fait appel à différentes technologies susceptibles de conduire à une variation du taux d'extraction, de la qualité et de l'utilisation du produit.

L'observation des techniques de transformation pratiquées dans la région de Ngaoundéré nous a permis d'en retenir quatre :

- une technologie dite «manuelle» ou «traditionnelle»,
- une technique dite «semi-mécanique»,
- une technique de «mouture directe et totale» du grain,
- une technique «industrielle».

Deux de ces techniques : la «traditionnelle» et la «semi-mécanique», qui sont les plus couramment pratiquées dans les villages environnants de Ngaoundéré, comportent dans leur processus un trempage plus ou moins prolongé des grains concassés, cette opération ayant apparemment pour objectifs d'améliorer la friabilité des grains lors de la mouture.

Nous avons donc cherché à définir l'influence de ce trempage par une étude granulométrique de la friabilité obtenue après mouture.

La composition grossière de cette farine est comparée à celle obtenue à partir des autres techniques, en même temps qu'une enquête de préférence est menée auprès des ménagères pour définir les facteurs qui conditionnent leur choix.

Protocole expérimental

Les grains de maïs utilisés dans cette étude sont un mélange de variétés produites dans la région de l'Adamaoua par la Société Sodéblé.

Techniques de concassage et de mouture

Les techniques utilisées sont regroupées en 3 catégories représentées par la figure 1 :

— *Les techniques discontinues* (fig. 1.b) où le concassage et la mouture sont effectués en deux temps différents; ces deux opérations pouvant être soit manuelles (utilisation du pilon et du mortier en bois), soit mécaniques (technique semi-mécanique). Dans tous les cas, les grains dépelliculés et dégermés sont séparés de la pellicule et du germe par vannage manuel, puis lavés et trempés dans l'eau.

— *La mouture mécanique* directe et totale (fig. 1.a) où le grain sec est broyé en entier dans un moulin sans élimination des pellicules.

— *La mouture industrielle* dans laquelle les opérations de concassage, vannage et mouture se font mécaniquement et en continu (figure 1.c).

Analyses

Pour chacune des techniques de concassage et de mouture utilisées on mesure le rendement de concassage (taux de récupération de grains dépulvés par rapport aux grains entiers), et le taux d'extraction (rapport pondéral farine sur grain entier)

Une analyse chimique des différentes farines obtenues est effectuée, et porte sur le dosage des protéines totales par la technique du micro-kjeldahl, des lipides par extraction à l'hexane [1], de l'amidon par la méthode d'Ewers [2], de l'indigestible glucidique [3] et des minéraux totaux [4].

Une enquête de préférence est également menée auprès des ménagères afin de déterminer l'influence de la technique de mouture sur le choix de la farine. Au cours de cette enquête, la

Transformation du maïs en farine dans l'Adamaoua

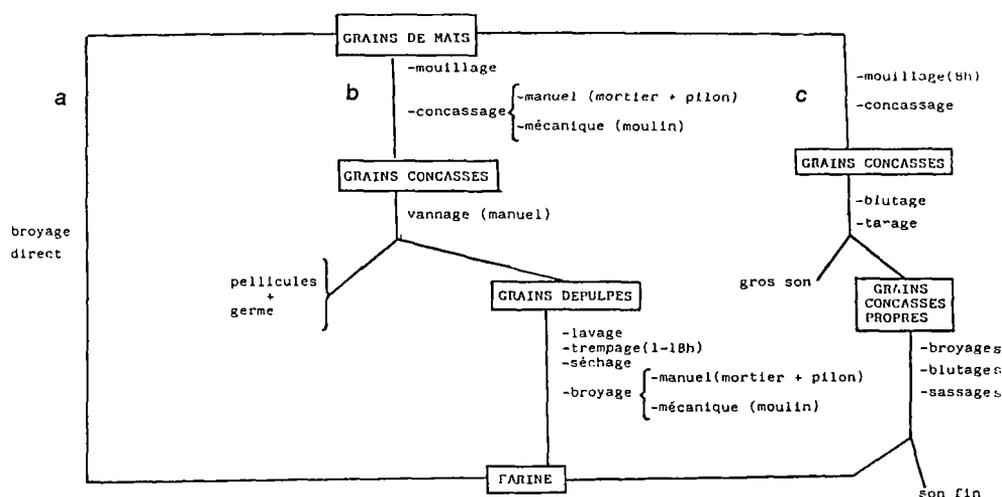


Figure 1. Diagrammes des différentes technologies de fabrication de la farine de maïs
 a) broyage mécanique direct du grain entier
 b) techniques discontinues : manuelle et semi-mécanique.
 c) technique industrielle.

ménagère doit indiquer une utilisation possible des farines en fonction de son choix. Compte tenu du fait que la différence entre les technologies de mouture est susceptible d'introduire des variations trop évidentes dans la finesse des farines, ce facteur est supprimé en ne présentant à la ménagère que des farines de granulométries voisines.

Etude de l'influence du mouillage du grain dépulvé

L'influence du mouillage des grains dépulvés est étudiée en mesurant, après mouture au moulin du village (technique semi-mécanique), la granulométrie [5] de farines obtenues après différents temps de mouillage (ou de trempage). Les temps de mouillage choisis varient de 0 à 18 heures.

Pour simplifier l'analyse des résultats, ainsi que les comparaisons, on définit comme «indice de friabilité», la proportion de farine passant à travers le tamis de 500 µm, après broyage des grains pendant une minute dans un broyeur universel IKA-M20. L'humidité des grains dépulvés est mesurée avant chaque broyage.

Résultats et commentaires

Etude des rendements et compositions

L'étude des rendements de concassage (Tableau I) mesurés dans le cas des techniques de mouture discontinues, semble indiquer une performance meilleure lorsque le concassage est effectué au mortier (72 % de grains dépelliculés récupérés) que lorsqu'il l'est au moulin (68,5 % de récupération).

Tableau I. Rendements de concassage et d'extraction des différentes techniques (les résultats sont exprimés par rapport à l'extrait sec du grain entier).

	Technique traditionnelle	Technique semi-mécanique	Mouture totale du grain
Concassage (%)	72	69	—
Extraction (%)	53	56	98,5

Par contre la mesure des taux d'extraction ne confirme pas cette première observation : 53 % de farine récupérée dans la mouture manuelle, contre 56 % dans la mouture au moulin.

Ces différences s'expliquent par la différence d'efficacité des deux techniques de concassage : le moulin concasseur éliminerait une plus forte proportion de pellicules et de germes que le mortier, d'où une masse de grains dépelliculés plus élevée dans ce dernier cas. L'analyse chimique des farines obtenues dans les deux cas confirme par ailleurs cette observation (Tableau II). La farine issue du mortier présente des teneurs en lipides et en indigestibles glucidiques plus élevées : 1,9 % de lipides et 3,2 % d'indigestibles glucidiques, contre 0,93 % et 2,5 % respectivement dans la farine semi-mécanique.

Le faible taux d'extraction de la farine dans la technique manuelle se justifie par le fait que les chocs du pilon sur les grains dépelliculés, tout en provoquant l'éclatement de ceux-ci, libèrent de fines particules qui peuvent soit s'envoler sous forme de poussière, soit s'incruster en partie dans les parois en bois du mortier. Tout ceci contribue à diminuer la proportion de farine obtenue. Cette perte mécanique est limitée dans le cas de la mouture au moulin, car l'opération de mouture est conduite en vase relativement clos; en outre, la nature métallique des parois internes du moulin limite les phénomènes d'incrustation des fines particules.

La comparaison globale des différentes techniques montre, dans le cas du broyage mécanique direct des grains entiers secs, un taux d'extraction beaucoup plus élevé (98,5 %). Observation facilement justifiable par le fait qu'aucune opération de dépelliculage, ni de dégermage n'est effectuée au préalable sur le grain; ce que confirment les valeurs élevées en indigestibles glucidiques (4,2 %), lipides (5 %), protéines (7,5 %) et minéraux (1,1 %); ces valeurs correspondent en fait à la composition chimique du grain de maïs entier.

Le rendement en nutriments des différentes techniques par rapport au grain entier (représenté par la composition de la farine de mouture directe) montre (fig. 2) que les techniques d'utilisation villageoise courante (techniques traditionnelle et semi-mécanique) permettent une récupération en protéines et en amidon comparable à la technique industrielle. De plus, le dégermage y est plus efficace, en particulier dans la technique semi-mécanique, ce qui indique une meilleure capacité de conservation pour la farine. Par contre, le rendement de

Tableau II. Composition des farines en fonction de la technique de mouture (valeurs exprimées par rapport à l'extrait sec).

	Technique traditionnelle	Technique semi-mécanique	Mouture directe	Technique industrielle
Protéines (N × 6,25) %	6,5	6,8	7,5	6,5
Amidon (%)	86,2	83,2	74,7	83,6
Indigestibles glucidiques (%)	3,2	2,5	4,2	—
Lipides (%)	1,9	0,93	5	3,8
Cendres (%)	0,5	0,4	1,1	0,9

Transformation du maïs en farine dans l'Adamaoua

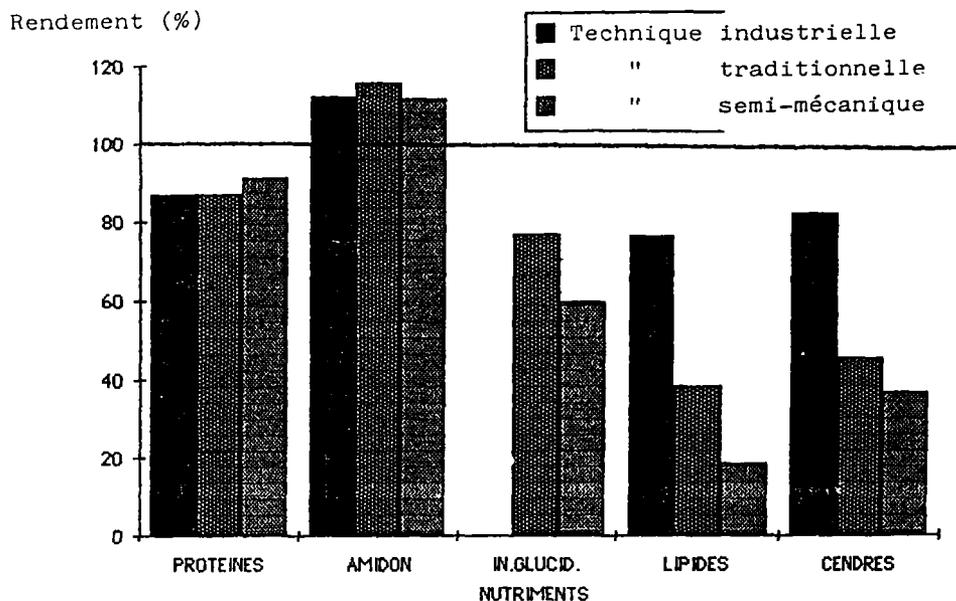


Figure 2. Rendements en nutriments des différentes techniques par rapport au grain entier.

récupération des minéraux du grain est relativement faible dans ces techniques et représente à peine plus de la moitié des minéraux retrouvés dans la farine industrielle.

Enquête de préférence

L'enquête de préférence des différentes farines auprès des ménagères montre une nette préférence pour la farine semi-mécanique, choisie par 63 % des femmes pour son aspect plus blanc (Tableau III). Ce choix semble justifier l'utilisation préférentielle de cette farine pour les différents menus courants (Tableau IV).

Bien que le caractère « finesse » des farines ait été volontairement supprimé de l'enquête, les questions préliminaires associées à celle-ci ont permis de mettre en évidence le fait que, outre la couleur, la finesse de la farine représente aussi un caractère important dans le choix du produit. La ménagère, sur le plan traditionnel, tente d'ailleurs d'améliorer ce caractère en trempant le grain concassé avant mouture.

Tableau III. Préférence des consommatrices en fonction de la couleur de la farine et de la technique : pourcentage de préférence par type de farine.

Technique traditionnelle	Technique semi-mécanique	Technique de mouture directe	Technique industrielle
16 %	63 %	10,5 %	10,5 %

Tableau IV. Utilisation des farines en fonction de la technique de mouture : % de réponses par type de farine et par type d'utilisation.

Type d'utilisation	Farine traditionnelle	Farine semi-mécanique	Farine de mouture totale	Farine industrielle
Couscous	19,5 %	51,2 %	17,1 %	12,2 %
Bouillie	20,5 %	65,5 %	7 %	7 %
Beignets	15,4 %	38,4 %	23,1 %	23 %
Gâteaux	20 %	60 %	10 %	10%

Influence du temps de trempage

L'étude de l'influence du temps de trempage sur la friabilité du grain, (tableau V, *a* et *b*) n'indique aucune influence significative de ce facteur sur la finesse du grain, quelle que soit la technique de mouture utilisée (sur broyeur à couteaux pendant 1 mn ou sur un moulin à meule du village). Cela semble infirmer la nécessité pour la ménagère de tremper le grain concassé pendant des temps plus ou moins longs; d'autant plus que la capacité de rétention d'eau du grain n'augmente plus au delà de 3 heures de mouillage. Par ailleurs, le mouillage prolongé du grain, outre le fait qu'il ne présente aucun intérêt apparent pour sa friabilité, est susceptible de drainer par diffusion, hors du grain, comme l'a constaté Favier [6] dans le cas du sorgho, une bonne partie des substances nutritives. Cela semble pouvoir expliquer en partie la trop faible teneur en minéraux des grains concassés et mouillés (Tableau II).

Toutefois, l'humidité du grain au moment de la mouture semble être un facteur déterminant pour sa friabilité (fig. 3).

Tableau V. Influence du temps de mouillage sur la friabilité du grain.

a) Mouture pendant 1 mn au broyeur universel IKA-M20

(tous les grains ont une humidité comprise entre 13 et 14 %)

Temps de mouillage (heures)	Capacité d'absorption d'eau (%)	Friabilité (%)
1	34	47,5
3	38	50
6	40	46
9	40	46
12	41	48
15	41	49
18	40	49

b) Mouture au moulin à meule du village

Temps de mouillage (heures)	Capacité d'absorption d'eau (%)	Humidité des grains (%)	Friabilité (%)
1	40	17	77
6	42	16,5	75
12	40	17,4	82

Transformation du maïs en farine dans l'Adamaoua

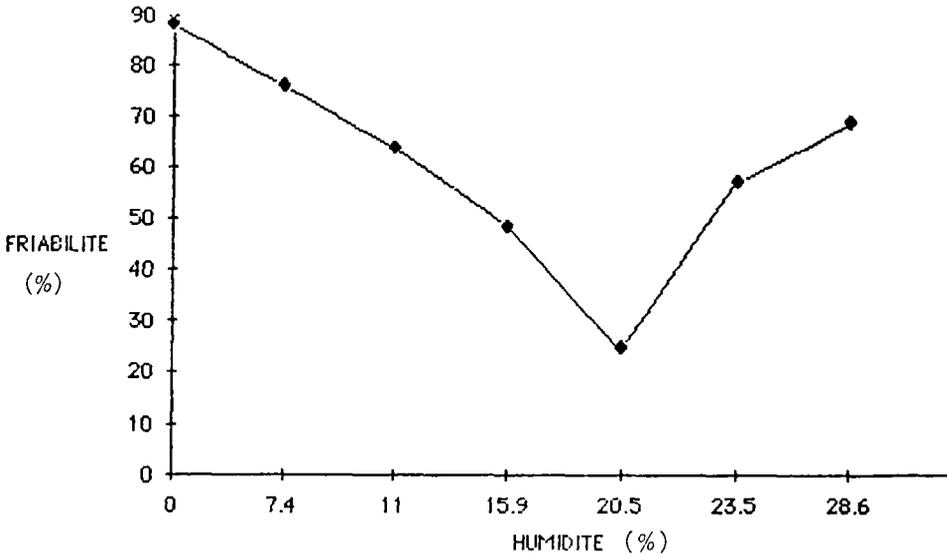


Figure 3. Influence de l'humidité du grain sur sa friabilité (friabilité exprimée en pourcentage de farine traversant le tamis de 500 μ m).

En effet, entre 0 et 20 % d'humidité du grain, celui-ci est d'autant moins friable que l'humidité est élevée, le phénomène s'inverse au delà de 20 % d'humidité. Cette observation est faite pour des grains mouillés pendant 1 heure, séchés jusqu'au degré d'humidité voulu, puis broyés pendant 1 mn à l'aide du broyeur universel IKA-M20. Bien qu'on observe, à une plus petite échelle, le même phénomène lorsque les grains sont moulus au moulin à meule du village (tableau V, b), on ne peut conclure trop rapidement sur le taux d'humidité optimal du grain avant mouture, sans au préalable effectuer une étude précise sur les conditions limites de fonctionnement des moulins.

Conclusion

Les techniques de mouture discontinues couramment pratiquées dans les communautés villageoises ont donc l'avantage, par rapport aux autres méthodes de mouture, de fournir une farine plus blanche, car mieux décortiquée, et de conservation relativement aisée.

L'humidité du grain au moment de la mouture est un facteur important dans la conduite de l'opération de broyage, et détermine la finesse de la farine.

Le trempage des grains décortiqués avant mouture est une opération à proscrire, car outre son influence non significative sur la friabilité du grain, elle provoque un lessivage plus ou moins poussé des substances nutritives.

Références

1. Hart FL, Fisher HJ. (1977). *Modern food analysis*. Springer-Verlag, éd. New York.
2. Ewers E. Détermination of starch by extraction and dispersion with hydrochloric acid. International Organisation of Standardisation. (ISO/TC 93 WGL).
3. Mercier C, Tollier MT. (1984). *Séparation et dosage des glucides et amylases*. In Godon B, Loisel W, *Guide pratique d'analyses dans les Industries des céréales*. Technique et Documentation, Lavoisier, éd. Paris, pp. 300-327.
4. Colas A, Petel D. (1984). *Dosage des cendres et matières minérales*. In Godon B, Loisel W, *Technique et Documentation*, Lavoisier, éd. Paris, pp. 227-240.
5. Colas A, Petel D. (1984). *Analyse physique des farines*. In Godon B, Loisel W, *Technique et Documentation* Lavoisier, éd. Paris, pp. 153-172.
6. Favier JC. (1977). Valeur alimentaire de deux aliments de base africains : le manioc et le sorgho. Travaux et documents de l'ORSTOM.

3

Dureté, caractéristiques physicochimiques et aptitude au décortiquage des grains de sorgho

G. FLIEDEL, C. GRENET, N. GONTARD, B. PONS

IRAT-CIRAD, Laboratoire de Technologie des Céréales, 9, place Viala, 34060 Montpellier, France.

Résumé

Certains auteurs ont souligné l'importance de la dureté du grain pour l'obtention d'un décortiquage de qualité. En effet, un grain tendre produirait au cours du décortiquage un taux de brisures supérieur à celui d'un grain dur, ce qui provoquerait une chute du rendement de l'opération.

Il n'existe pas pour le moment de méthode normalisée pour mesurer la dureté d'un grain. Cependant, l'utilisation d'un test de dureté pourrait permettre de prévoir la qualité technologique d'une céréale.

Dans ce but, une méthode pour évaluer la dureté des grains de sorgho basée sur l'analyse de la taille des particules après broyage (méthode type PSI : Particule Size Index) a été mise au point.

L'influence des paramètres tels que : l'humidité du grain, le réglage du broyeur (finesse du broyage), la quantité de grains à broyer, l'ouverture de maille du tamis, la durée du tamisage, a été étudiée afin de discriminer au mieux les variétés entre elles.

Puis les relations dureté (mesurée par le PSI) et aptitude au décortiquage ont été étudiées.

Enfin, grâce à une analyse en composantes principales des corrélations existant entre la dureté et plusieurs caractéristiques physicochimiques, a été calculée, en particulier l'importance de certaines fractions protéiques.

Introduction

La dureté d'un grain de céréale est une caractéristique importante qui peut intervenir sur le comportement du grain au cours de sa transformation primaire et secondaire.

Au niveau de la mouture, la dureté a une influence sur la finesse du produit fini, le comportement au tamisage, c'est-à-dire la proportion relative de semoules et farines obtenues et donc le rendement d'extraction. Elle détermine également la durée du broyage et les dépenses d'énergie nécessaires à l'obtention du produit final. C'est une notion importante dans les pays en développement où la plupart des céréales sont transformées traditionnellement chaque jour par les femmes à l'aide du mortier et du pilon ou par des moulins du village.

En ce qui concerne le décorticage, la dureté affecte aussi le rendement de l'opération puisque'un grain tendre produira au cours de l'abrasion un taux de brisures supérieur à celui d'un grain dur, les brisures étant éliminées avec les sons.

Le degré de dureté a été aussi relié à la qualité d'utilisation. Chez le blé, la dureté est un paramètre qualitatif important au niveau du marché mondial puisqu'il détermine ses différentes utilisations. Un blé «durum» convient très bien à la production de pâtes alimentaires, alors que les blés dits «tendres» sont utilisés en panification ou en biscuiterie suivant leur force boulangère.

Pour le sorgho, l'intérêt suscité par sa transformation est assez récent. Cependant, certains auteurs ont montré l'influence de la dureté du sorgho sur la qualité des préparations culinaires traditionnelles [9, 12, 13, 14]. D'après Cagampang *et al.* [2], il existerait une corrélation significative entre la dureté des sorghos et le collant des bouillies, la consistance des «tôh» alcalins ou le gonflement à la cuisson des grains entiers décortiqués. De plus, Subramanian et Jambunathan [16] ont relié la dureté du grain avec la couleur et l'apparence des «roti».

Il n'existe pas de définition simple de la dureté. Ce concept relève de quelques définitions arbitraires qui forment les bases de différents tests de dureté. Les méthodes d'évaluation de la dureté d'un grain sont nombreuses. Elles donnent non pas une valeur absolue de la dureté mais une valeur relative permettant le classement des variétés entre elles. La plupart ont été mises au point sur le blé et sont maintenant utilisées sur le sorgho. Mais aucune d'entre elles n'a fait jusqu'ici l'objet d'une normalisation.

Ainsi la dureté a été évaluée comme une résistance à la pénétration d'un stylet en mesurant la force nécessaire pour rompre un grain ou bien comme une résistance à la compression entre deux plaques en utilisant un appareil type Instron pour mesurer la force exercée sur le grain jusqu'à la cassure. Des tests d'abrasion ont aussi été utilisés comme le test AHI (Abrasive Hardness Index) qui donne un indice de dureté correspondant au temps nécessaire pour éliminer 1 % du grain [10]. Enfin, plusieurs tests sont basés sur la résistance des grains au broyage : le test de dureté Brabender (BHI : Brabender Hardness Index) qui mesure le temps nécessaire pour obtenir 4 grammes de produit moulu dans un broyeur à noix ; le test de Stenvert (SHT : Stenvert Hardness Test) qui donne le temps nécessaire pour obtenir avec un broyeur à marteaux, 17 cm³ de broyat passant au travers d'une grille de 2 mm d'ouverture de maille ; le test PSI (Particule Size Index) qui est basé sur l'évaluation de la taille des particules après broyage à l'aide d'un tamis d'ouverture de maille bien définie. Une mesure de la réflectance par spectroscopie infrarouge à 1 680 nm effectuée sur un échantillon de grain broyé très fin permet, comme le PSI, d'évaluer la taille moyenne des particules après mouture. A noter un test qui se rapporte à la densité des grains et qui mesure le pourcentage de grains flottant à la surface d'une solution de densité connue [5].

Parmi toutes ces méthodes, la méthode PSI a été largement utilisée et appréciée dans le cas du blé. Elle est simple, rapide et fiable, semble être bien corrélée avec les autres tests et présenter une bonne capacité de différenciation entre variétés.

Malgré le nombre important de publications parues sur les différentes méthodes d'évaluation de la dureté, très peu de travaux ont été effectués sur la détermination des facteurs responsables de la dureté des grains de céréales.

Trois théories ont été proposées pour expliquer la dureté du blé. L'une est basée sur la continuité de la matrice protéique et le contact physique entre l'amidon et les protéines [8]. La matrice protéique des blés «hard» serait très continue et compacte, emprisonnant physiquement les granules d'amidon ce qui expliquerait la difficulté à séparer par mouture les protéines de l'amidon. La deuxième théorie rattache la dureté à l'adhésion ou la liaison entre l'amidon et les protéines [6, 15]. Elle suggère, chez le blé, la présence d'un matériel liant soluble dans l'eau situé entre la surface des granules d'amidon et la matrice protéique, et qui serait responsable de l'adhésion entre l'amidon et la matrice protéique. Ce matériel serait présent en plus grande quantité dans les blés «hard» que dans les blés «soft». Une dernière théorie selon laquelle la dureté serait due à une fraction protéique chargée électriquement a été proposée par Doekes[4]. Plus la charge nette de ces protéines est élevée et plus la répulsion entre celles-ci est forte, ce qui rendrait le grain plus friable.

Pour le sorgho, Abdelrahman et Hosene [1] ont suggéré qu'une fraction protéique, les kafirines réduites, serait reliée à la dureté évaluée par le PSI à savoir que l'extraction de cette fraction par le t-butanol contenant du mercaptoéthanol rend le grain de sorgho plus tendre, plus facile à broyer. Pour Cagampang et Kirleis [2], il existerait une relation entre les kafirines solubilisées par le t-butanol et la vitrosité qu'ils assimilent à la dureté. L'intervention d'autres caractéristiques physicochimiques du grain n'est pas exclue pour expliquer la dureté du sorgho et il est fort possible que celle-ci résulte d'une interaction entre plusieurs facteurs.

Le but de notre travail a été de mettre au point une méthode de référence au sein de notre laboratoire pour évaluer la dureté des sorghos en vue de prévoir leur qualité d'utilisation. Nous avons choisi le test PSI, simple, rapide, qui par son principe même semblait le plus apte à rendre compte de la résistance des grains à l'écrasement au cours d'une transformation telle que le décorticage... Les différents paramètres de broyage-tamassage ont été optimisés afin d'obtenir une méthode à répétition, différenciant au mieux les variétés. La dureté PSI a été ensuite reliée à l'aptitude au décorticage en particulier au taux de brisures. Enfin, un travail préliminaire sur la recherche des constituants physicochimiques responsables de la dureté du sorgho est rapporté.

Mise au point d'une méthode pour évaluer la dureté des grains de sorgho

Le test PSI a été appliqué sur 5 variétés de sorgho français dont les caractéristiques physicochimiques (en particulier vitrosité, teneur en protéines, amylose, tanins) étaient semblables pour certaines d'entre elles ou totalement opposées pour d'autres.

Le principe est simple (fig. 1) : les grains de sorgho sont broyés dans un broyeur à aiguilles de laboratoire de type Falling Number KT 30, dont on peut régler la finesse de mouture en ajustant l'écartement des meules à l'aide d'un levier à 6 positions : 0 correspondant au broyage le plus fin, 5 au broyage le plus grossier. Après mouture de la totalité des grains, le broyat est tamisé pendant une durée fixe sur un tamiseur à courant d'air Alpine type 200 LS couplé à un aspirateur dont le principe repose sur un triage aérodynamique des particules.

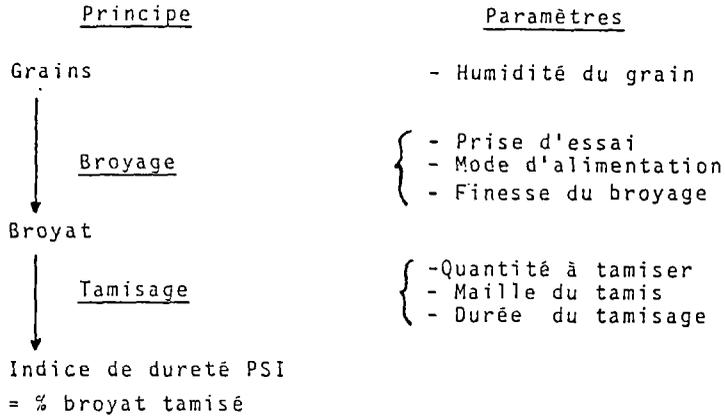


Figure 1. Principe de la méthode PSI : Particle Size Index.

La dureté est exprimée par l'indice de taille des particules (Particule Size Index : PSI) représentant le pourcentage de broyat qui passe au travers du tamis utilisé.

Pour un appareillage donné, les performances de la méthode PSI dépendent principalement de 7 paramètres liés au grain, au mode de broyage et au mode de tamisage (fig. 1).

Plusieurs paramètres ont été fixés très rapidement :

- *le mode d'alimentation en grains du broyeur* : nous avons choisi d'introduire la prise d'essai en une seule fois dans le broyeur car une alimentation progressive est difficilement reproductible.

- *la quantité de broyat à tamiser* : nous avons décidé de tamiser la totalité des grains broyés pour éviter les erreurs dues à l'hétérogénéité de la prise d'essai à tamiser.

- *la quantité de grain à broyer* : la quantité de la prise d'essai n'a pas d'influence significative sur le résultat de la mesure (Tableau I). Dans un but d'optimisation de la méthode,

Tableau I. Influence de la prise d'essai sur l'indice de dureté (PSI).

Prise d'essai	PSI	
	ARALBA	AUNIS
40 g	76.70	71.20
	76.90	71.55
	76.73	72.02
30 g	76.53	71.77
	76.87	72.03
	76.57	71.67
20 g	76.45	71.35
	75.95	71.40
	76.70	71.25
10 g	75.90	71.20
	76.00	71.70
	75.90	71.80

nous avons cherché à réduire au maximum la prise d'essai que nous avons fixée à 20 g pour une meilleure répétabilité des mesures (il y a éjection de quelques grains lorsqu'on introduit uniquement 10 g d'échantillon dans le moulin).

– la durée de tamisage : d'après la cinétique de tamisage (fig. 2) obtenue dans les conditions les plus défavorables (prise d'essai importante : 40 g, variété farineuse et donc supposée tendre et longue à tamiser, Annis, tamis très fin : 180 μm), on constate que plus de 80 % de la fraction susceptible de traverser le tamis sont effectivement tamisés dans les 30 premières secondes. A partir de 5 mn on atteint un palier. Nous avons cependant adopté un temps de tamisage de 1 mn seulement puisque tous les essais ont montré dans ces conditions une très bonne répétabilité de la méthode.

Les trois autres paramètres : finesse avec laquelle le grain doit être broyé, maille du tamis et humidité du grain sont les paramètres les plus importants de la méthode PSI et ont fait l'objet d'une étude plus approfondie. Les deux premiers paramètres sont étroitement liés et ont été étudiés conjointement.

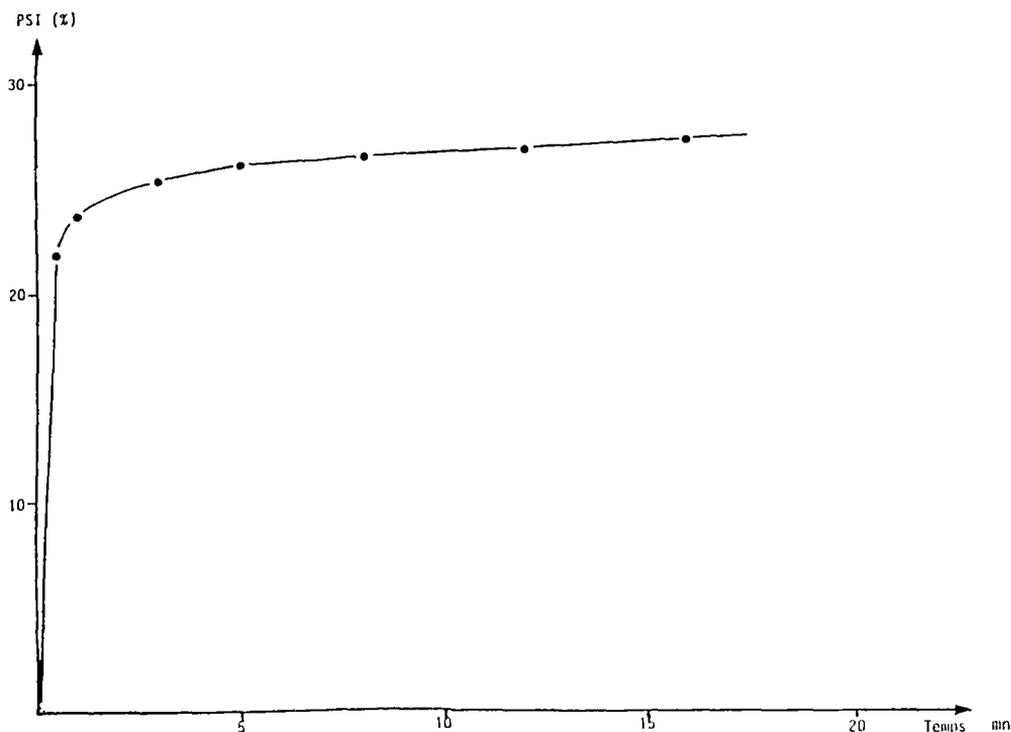


Figure 2. Cinétique de tamisage.

Optimisation du couple broyage-tamisage

Nous avons étudié 5 réglages du broyeur (réglage 1 à 5) et 4 tamis choisis au préalable de manière à ce que toutes les mesures de PSI se trouvent comprises entre 10 et 90 % de particules traversant le tamis (180, 250, 315 et 400 μm d'ouverture de maille). Les résultats obtenus sur 5 variétés avec 3 applications (soit 240 mesures) ont été interprétés au moyen d'une analyse

de variance. La valeur F calculée dans chaque condition représente, pour les valeurs PSI, le rapport de variance entre variétés/variance de réplication. Plus le ratio F est grand, plus la méthode permet de différencier les variétés les unes par rapport aux autres et plus elle peut être répétée.

L'examen de la courbe (fig. 3) obtenue en portant pour chaque réglage du broyeur le ratio F en fonction du tamis utilisé, montre d'importantes différences de comportement entre les conditions testées. Parmi les couples de broyage-tamissage donnant les meilleurs résultats (F compris entre 600 et 700, nous avons retenu les paramètres suivants :

- réglage 4 du broyeur (broyage relativement grossier)
- tamis 250 μm .

Cette valeur F très élevée est due à une bonne variance entre variétés, doublée d'une très faible variance de réplication qui souligne les performances de cette méthode (coefficient de variation : 0,6 %) dans les conditions ainsi définies.

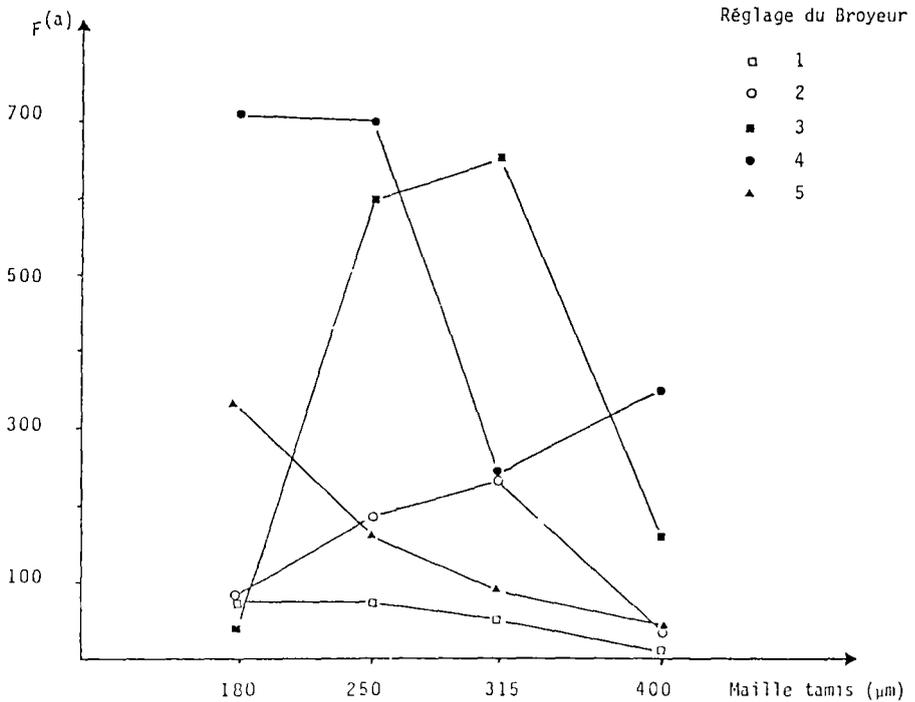


Figure 3. Optimisation du couplage broyage-tamissage.

$$F^{(a)} : \frac{\text{Variance entre variétés}}{\text{Variance de réplication}}$$

Influence de l'humidité du grain

Les résultats sont rapportés sur la figure 4. On constate que lorsque l'humidité du grain augmente, les valeurs de PSI diminuent comme si le grain était broyé plus grossièrement, avec plus de difficultés. Cette observation est surtout valable entre 9 et 11,5 % d'eau, au delà le phénomène est moins marqué.

Caractéristiques des grains de sorgho

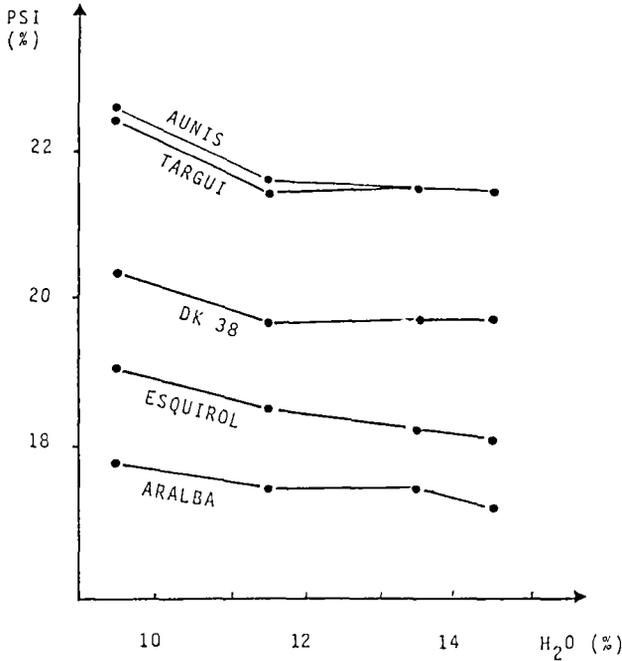


Figure 4. Influence de l'humidité du grain de sorgho sur l'indice de dureté PSI.

Ces résultats sont en accord avec ceux de De Francisco *et al.* [3] qui ont suggéré que l'humidité serait un facteur renforçant la dureté du grain de sorgho : un grain humidifié jusqu'à 18 % d'eau produirait à la mouture des particules plus grosses. Par contre Abdelrahman et Hosoney [1] n'ont trouvé aucune influence sur la dureté mesurée par le PSI. A l'inverse, chez le blé, Miller *et al.* [7] ont remarqué que le temps de mouture (BHI) et donc la tendreté du grain croissaient en même temps que son humidité.

L'humidité du grain est donc un paramètre très important dans l'évaluation de la dureté par la méthode PSI. Il est donc nécessaire de conditionner au préalable les grains à une même humidité comprise entre 11,5 et 13,5 % d'eau, domaine où la dureté varie très peu avec la teneur en eau du grain.

Conclusion

Le Tableau II résume les conditions retenues pour la méthode PSI d'évaluation de la dureté par la taille des particules après broyage. Cette méthode a été appliquée à 16 variétés françaises et 30 variétés africaines IRAT. Les gammes de PSI obtenues sont les suivantes : de 16,3 % pour la variété française la plus dure (Aralba) à 22,9 % pour la plus tendre (Arlix). Des différences plus importantes ont été observées pour les variétés africaines : 12,1 % (IRAT 5) à 26,6 % (IRAT 9).

Les travaux se poursuivent à l'heure actuelle sur un grand nombre de variétés plus typées au niveau des caractéristiques physicochimiques pour confirmer la validité de cette méthode de référence et les paramètres retenus.

Tableau II. Paramètres retenus pour la méthode PSI.

Humidité grain	11,5 à 13,5 %
Prise d'essai	20 g
Finesse de broyage	réglage 4
Maille du tamis	250 µm
Durée du tamisage	1 mn
	PSI
Variétés françaises :	16,3 Aralba
	22,9 Arlix
Variétés africaines :	12,1 IRAT 5
	26,6 IRAT 9

Dureté du grain de sorgho et aptitude au décortiquage

Le taux de brisures est un des facteurs importants pour évaluer l'aptitude au décortiquage des grains.

Seize variétés de sorgho français ont été décortiquées à l'aide du décortiqueur TADD (Tangential Abrasive Dehulling Device) pendant 1, 2, 4 et 6 mn, selon les conditions définies par Oomah *et al.* [10].

Les résultats de l'analyse de données présentés figure 5 montrent qu'il existe une corrélation positive hautement significative ($r = 0,872$) entre l'indice de dureté PSI et le taux de brisures obtenu après 2 mn de décortiquage.

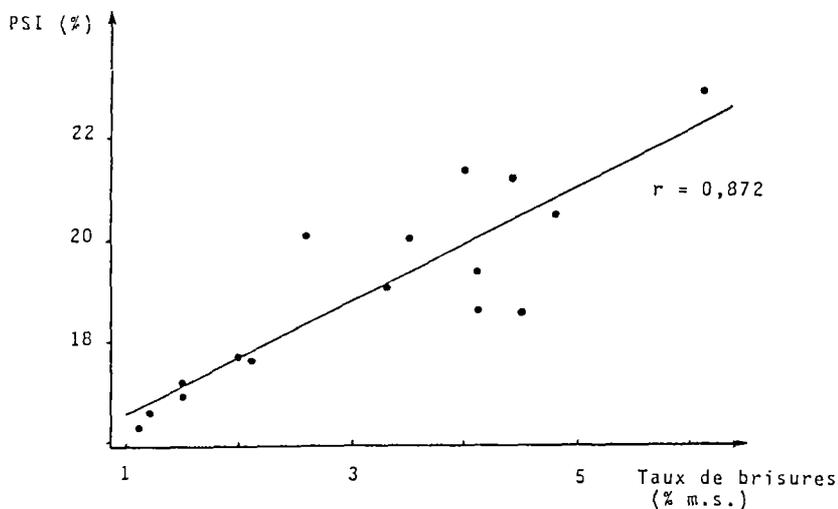


Figure 5. Corrélation entre l'indice de dureté PSI et le taux de brisures obtenu après 2 mn de décortiquage des grains de sorgho.

Ainsi, ce test de dureté qui mesure une résistance à l'écrasement, semble tout à fait indiqué pour prévoir l'aptitude au décortiquage des grains de sorgho.

Cependant, le taux de brisures n'est peut-être pas suffisant pour juger de la qualité d'un décortiquage et des résultats supplémentaires relatifs à la pureté du produit obtenu seront à apporter pour confirmer cette relation.

Recherche des caractéristiques physicochimiques liées à la dureté des sorghos

L'étude a porté sur des variétés françaises, 16 riches en tanins et 16 pauvres en tanins. Des corrélations ont été calculées entre l'indice de dureté PSI mesuré selon la méthode mise au point précédemment et les caractéristiques physicochimiques suivantes : la teneur en protéines totales, en amidon, amylose, cendres, tanins et l'indice de vitrosité. Les résultats sont consignés dans les Tableaux III et IV.

Pour une variété riche en tanins, il existe une corrélation entre la teneur en tanins et la dureté PSI. Ceci signifie que plus les variétés sont riches en tanins, plus le grain serait broyé fin, plus il serait «tendre».

Tableau III. Analyse de corrélations entre l'indice de dureté PSI et certaines caractéristiques physico-chimiques de 16 variétés de sorgho avec tanin.

Coefficients de corrélation	teneurs en Protéines	teneurs en Tanins	indice de Vitrosité	teneur en Amidon	teneur en Amylose	teneur en Cendres	PSI
Teneur en Protéines	1						
Teneur en Tanins	0,353	1					
Indice de Vitrosité	0,368	0,487	1				
Teneur en Amidon	- 0,743	- 0,210	- 0,339	1			
Teneur en Amylose	0,624	0,313	0,182	- 0,294	1		
Teneur en Cendres	0,472	0,601	0,673	- 0,316	0,155	1	
PSI	- 0,168	0,640	0,357	0,440	- 0,217	0,578	1

Tableau IV. Analyse de corrélations entre l'indice de dureté PSI et certaines caractéristiques physico-chimiques de 16 variétés de sorgho sans tannin.

Coefficients de corrélation	teneurs en Protéines	indice de Vitrosité	teneur en Amidon	teneur en Amylose	teneur en Cendres	PSI
Teneur en Protéines	1					
Vitrosité (indice)	0,257	1				
Teneur en Amidon	- 0,692	- 0,673	1			
Teneur en Amylose	- 0,214	0,394	- 0,486	1		
Teneur en Cendres	- 0,028	0,419	- 0,209	0,079	1	
PSI	- 0,619	0,169	0,094	0,724	0,041	1

Pour les variétés sans tannin, on a trouvé une corrélation significative entre l'indice de dureté PSI, la teneur en amylose et la teneur en protéines totales. Lorsque la teneur en protéines augmente et la teneur en amylose diminue, le grain donne après broyage des particules plus grosses.

Dans les deux cas, la dureté ne serait pas corrélée à la vitrosité. Ceci confirme les résultats donnés dans la littérature, mis à part Cagampang et Kirleis [2] qui emploient indifféremment les termes de «dureté» et «pourcentage de vitrosité», de nombreux auteurs ont montré que la relation entre ces deux notions se vérifiait fréquemment mais non systématiquement [3, 11].

Il nous a paru important de savoir si parmi les protéines du grain il existait une fraction plus spécifique qui pourrait jouer un rôle dans la dureté. Pour cela, nous avons séparé les protéines en différentes fractions à l'aide de deux extractions séquentielles du type Landry-Moureaux, l'une nous permettant d'obtenir après extraction des albumines-globulines deux groupes de kafirines, l'autre deux groupes de glutélines (fig. 6 et 7). L'étude des corrélations est rassemblée dans les Tableaux V et VI.

On constate que quelle que soit l'extraction utilisée, l'indice de dureté PSI est significativement et positivement corrélé à la teneur en kafirines solubilisées par le t-butanol. Lorsque la teneur en protéines augmente ce sont les protéines de réserve qui augmentent (prolamines et glutélines) favorisant un broyage plus grossier du grain.

Ces résultats, considérés bien sûr comme préliminaires, nous ont amené à formuler un certain nombre d'hypothèses.

Caractéristiques des grains de sorgho

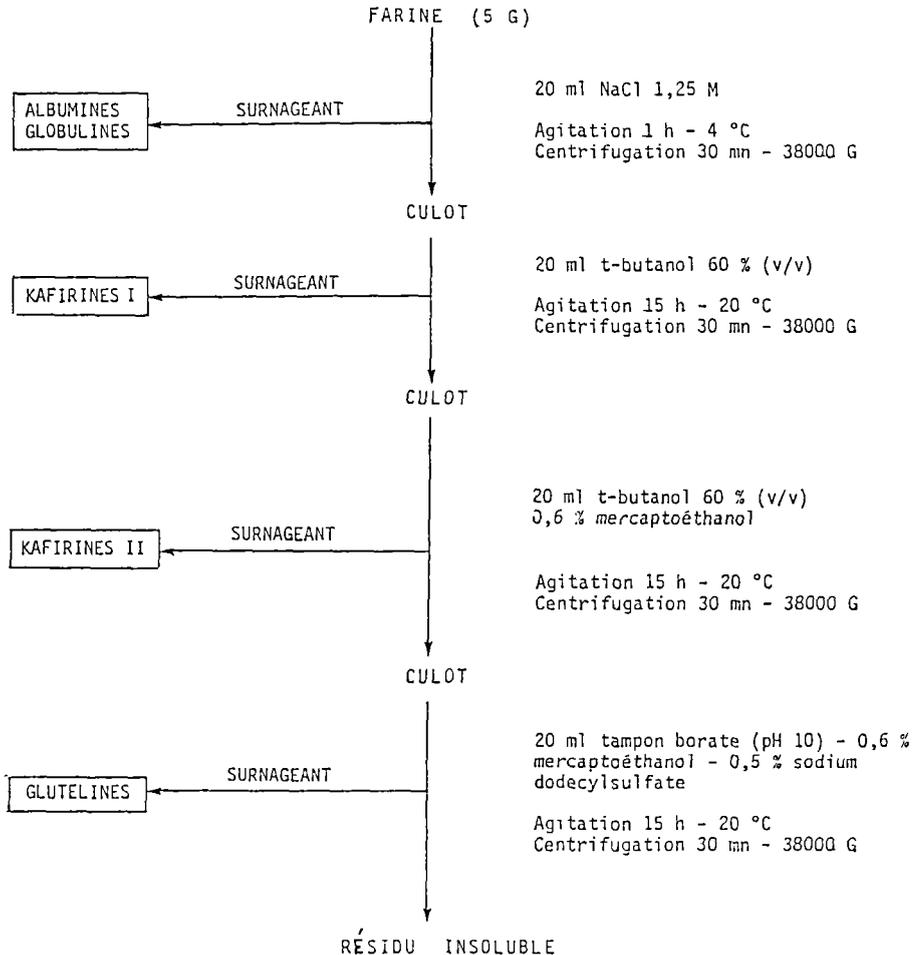


Figure 6. Premier schéma d'extraction séquentielle des protéines de sorgho.

Pour les variétés riches en tanins, la présence de tanins marquerait un changement de structure de l'albumen qui serait broyé plus facilement, plus fin et deviendrait plus «tendre». Les tanins, substances polyphénoliques de nature hydrophobe situés à la périphérie du grain, ralentiraient sa déshydratation au cours de la maturation, donnant ainsi une structure de l'albumen moins compacte.

Dans le cas des variétés sans tanin, la déshydratation du grain lors de la maturation serait plus rapide dans les parties périphériques avec pour conséquence une matrice protéique rétrécie, des corps protéiques imbriqués à la surface des granules d'amidon et donc une structure plus dense et plus difficile à broyer. L'augmentation de la teneur en kafirines et donc de la taille ou du nombre des corps protéiques ainsi que la diminution de la teneur en amylose (granules d'amidon plus petits) renforceraient cette structure compacte. Le nombre ou la force

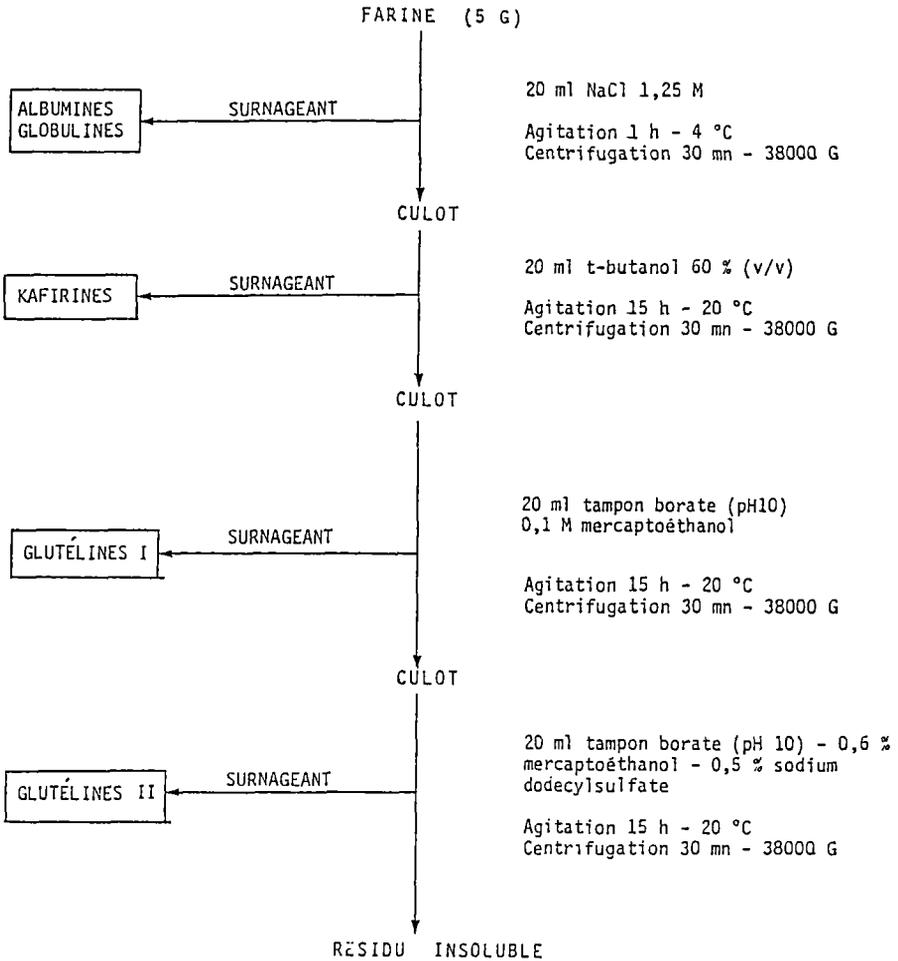


Figure 7. Second schéma d'extraction séquentielle des protéines de sorgho.

des liaisons entre les kafirines, la matrice protéique et les granules d'amidon pourraient jouer un rôle important dans la dureté du grain de sorgho.

Ce travail devra être approfondi pour confirmer ces premiers résultats et hypothèses formulées. Il serait intéressant d'étudier la structure de l'albumen par microscopie électronique en relation avec la dureté PSI, et le rôle de l'amylose et des kafirines par analyse électrophorétique des protéines extraites, plus spécifiquement des protéines en contact avec les granules d'amidon.

Caractéristiques des grains de sorgho

Tableau V. Analyse de corrélations entre l'indice de dureté PSI et certaines fractions protéiques extraites^(a) à partir de 16 variétés de sorgho sans tanin.

Coefficients de corrélation	Teneur en Protéines	Indice de Vitrosité	Teneur en Amylose	PSI	Albumines Globulines	kafirines	Kafirines réduites	Glutélines
Teneur en Protéines	1							
Indice de Vitrosité	0,237	1						
Teneur en Amylose	- 0,214	0,394	1					
PSI	- 0,619	0,169	0,724	1				
Albumines Globulines NaCl	0,211	0,465	- 0,090	- 0,015	1			
Kafirines + butanol	<u>0,693</u>	0,145	- 0,255	<u>0,804</u>	- 0,233	1		
Kafirines réduites + butanol. NEI	<u>0,718</u>	0,048	- 0,299	- 0,316	0,336	0,139	1	
Glutélines Boialte. SDS. NEI	<u>0,771</u>	0,239	0,087	- 0,156	0,453	0,192	0,805	1

(a) : selon le deuxième schéma d'extraction séquentielle, figure 6.

Tableau VI. Analyse de corrélations entre l'indice de dureté PSI et certaines fractions protéiques extraites^(a) à partir de 16 variétés de sorgho sans tannin.

Coefficients de corrélation	Teneur en Protéines	Indice de Vitrosité	Teneur en Amylose	PSI	Albumines Globulines	kafirines	Glutélines 1ère fraction	Glutélines 2ème fraction
Teneur en Protéines	1							
Indice de Vitrosité	0,237	1						
Teneur en Amylose	- 0,214	0,394	1					
PSI	- 0,619	0,169	0,724	1				
Albumines Globulines NaCl	0,211	0,465	- 0,090	- 0,015	1			
Kafirines t. butanol	<u>0,693</u>	0,145	- 0,255	<u>0,804</u>	- 0,233	1		
Glutélines 1ère fraction Borate - NE	<u>0,671</u>	0,373	0,231	- 0,050	0,519	0,109	1	
Glutélines 2ème fraction Borate - DDJ - NE	<u>0,903</u>	0,093	- 0,28	- 0,441	0,056	0,544	0,793	1

(a) : selon le deuxième schéma d'extraction séquentielle, figure 6.

Références

1. Abdelrahman AA, Hosene RC. (1984). Basis of hardness in pearl millet, grain sorghum and corn. *Cereal Chem*; 61(3) : 232-235.
2. Cagampang GB, Kirleis AW. (1984). Relationship of sorghum grain hardness to selected physical and chemical measurements of grain quality. *Cereal Chem*; 61(2) : 100-105.
3. De Francisco A, Varriano-Marston E, Hosene RC. (1982). Hardness of pearl millet and grain sorghum. *Cereal Chem*; 59(1) : 5-8.
4. Doekes GJ. (1985). Relationship between electrical protein charges and kernel hardness in wheat. *Getreide Mehl und Brot*; 39 : 259.
5. Hallgren L, Murty DS. (1983). A screening test for grain hardness in sorghum employing density grading in sodium nitrate solution. *J Cereal Sci*; 1 : 265-274.
6. Hosene RC, Seib PA. (1973). Structural differences in hard and soft wheat. *Baker's Digest*; 47 (6) : 26-56.
7. Miller BS, Afework S, Hugues JW, Pomeranz Y. (1981). Wheat hardness : time required to grind wheat with the Brabender automatic microhardness tester.
8. Moss R, Stenvert NL, Kingswood K, Pointing G. (1980). The relationship between wheat microstructure and flour milling. *Scanning Electron Microsc*; 3 : 613.
9. Murty DS, House LR. (1980). Sorghum food quality : its assessment and improvement. Report submitted at Fifth Joint Meeting of the UNDP-CIMMYT-ICRISAT Policy Advisory Committee, ICRISAT Center Patancheru India. 14-18 October.
10. Oomah BD, Reichert RD, Youngs CG. (1981). A novel, multi-sample, tangential abrasive dehulling device (TADD). *Cereal Chem*; 58 : 392.
11. Reichert RD, Oomah BD, Schwab DJ. (1984). Milling characteristics of Group I (low tannin) sorghum varieties. *J Inst Can Sci Technol Alim*; 17(3) : 147-151.
12. Rooney LW, Khan MN, Earp CF. (1980). The technology of sorghum products. In : *Cereals for Food and Beverages*, Inglett GE and Munck L eds, Academic Press New York, pp. 513-554.
13. Scheuring JF. (1980). From tô to Timbuctu : cereal quality work by ICRISAT in West Africa. Report submitted at Fifth Joint Meeting of the UNDP-CIMMYT-ICRISAT Policy Advisory Committee, ICRISAT Center Patancheru India. 14-18 October.
14. Scheuring JF, Sidibe S, Kante A. (1982). Sorghum alkali tô : quality considerations. In : *Proc Int Symp on Sorghum grain quality*, ICRISAT Center Patancheru India. p. 24.
15. Simmonds DH, Barlow KK, Wrigley CW. (1973). The biochemical basis of grain hardness in wheat. *Cereal Chem*; 50 : 553.
16. Subramanian V, Jambunathan R. (1981). Properties of sorghum grain and their relationship to roti quality. In : *Sorghum grain quality*, ICRISAT Center Patancheru India. pp. 28-31.

4

Influence des différentes méthodes de mouture sur les rapports molaires phytate/zinc, (calcium × phytate)/zinc, et la teneur en certains oligo-éléments dans les fractions de mouture de maïs et de sorgho

C.M.F. MBOFUNG, R. NDJOUENKEU, F.X. ETOA

Département of Food Science and Nutrition, ENSIAAC, University Center of N'Gaoundéré, P.O. Box 455, N'Gaoundéré, Cameroun

Résumé

Les céréales et produits à base de céréales constituent une large proportion des aliments dans la plupart des régions du Cameroun et plus particulièrement de l'Adamaoua et des Provinces du Nord. Les céréales le plus couramment consommées sont le maïs et le millet. Si de nombreuses informations sont disponibles sur les nutriments majeurs de ces céréales, il n'en est pas de même pour les micro-nutriments et particulièrement les oligo-éléments et traces, surtout dans l'influence qu'ont les nombreux procédés de transformations de graines en farines sur la composition de ces éléments. Compte tenu de cette absence de renseignements comparée à l'importance croissante reconnue aux oligo-éléments dans la nutrition et le métabolisme humain, le présent travail vise à caractériser l'effet des méthodes de transformation (industrielles et traditionnelles) pratiquées couramment dans l'Adamaoua, sur les teneurs en certains éléments à l'état de trace, des différentes fractions de mouture. Des informations sur certains facteurs antinutritionnels comme le rapport molaire phytate/zinc des différentes fractions ont été également obtenues. Les résultats sont présentés et discutés en termes d'avantages et inconvénients des différents procédés utilisés.

Introduction

Les céréales et produits à base de céréales constituent une large proportion des aliments pour la plupart des habitants de l'Amadoua et des Provinces du Nord-Cameroun. L'une des céréales les plus couramment consommées (sous forme brute ou transformée) est le maïs. Le sorgho est également consommé sous différentes formes. Si de nombreuses informations sont disponibles sur les éléments nutritifs majeurs de ces céréales, à l'état brut ou sous forme de farine, il n'en est pas de même pour les micro-éléments nutritifs. Par contre, une documentation très fournie indique que les méthodes de transformation et de préparation provoquent une perte en éléments nutritionnels [1]. Les connaissances sur l'incidence de celles-ci sur la teneur en oligo-éléments du maïs et du sorgho sont relativement incomplètes. Compte tenu de cette absence de renseignements comparée à l'importance croissante reconnue aux oligo-éléments dans la nutrition, la santé et le métabolisme humains, le présent travail vise à caractériser l'effet des différentes méthodes de transformation pratiquées couramment dans la Province de l'Amadoua, sur les teneurs en certains éléments à l'état de trace dans les différentes fractions de mouture généralement obtenues. Des informations ont été rassemblées sur certains facteurs antinutritionnels comme le phytate, la fibre détergent neutre, de même que l'indice d'assimilation du zinc, c'est-à-dire les rapports molaires phytate/zinc et (calcium × phytate)/zinc des différentes farines obtenues au moyen de différentes méthodes.

Matériel et méthodes

Méthodes et mouture étudiées

Quatre différentes méthodes de transformation des céréales en farine ont été étudiées. Il s'agit (1) de la méthode de mouture industrielle, (2) de la méthode traditionnelle, (3) de la méthode semi-traditionnelle et (4) de la méthode mécanique directe (fig. 1).

Echantillonnage

Tous les échantillons de maïs utilisés ont été obtenus à la Sodéblé tandis que le sorgho a été acheté au marché de N'Gaoundéré. Il s'agissait de sorgho blanc. Toutes les fractions de mouture ont été soigneusement échantillonnées en trois exemplaires de façon à garantir l'homogénéité du travail.

Pour éviter toute pollution des échantillons pendant l'analyse, tous les récipients et la verrerie utilisés ont été lavés avec un détergent liquide, rincés à plusieurs reprises avec de l'eau distillée et plongés pendant six heures dans une solution d'acide chlorhydrique normale puis rincés à nouveau avec de grandes quantités d'eau distillée. Les objets utilisés étaient ainsi exempts de toute trace d'oligo-éléments ce qui a été vérifié par le fait qu'on a retrouvé des quantités non détectables des éléments analysés dans les sous-échantillons des eaux de rinçage final.

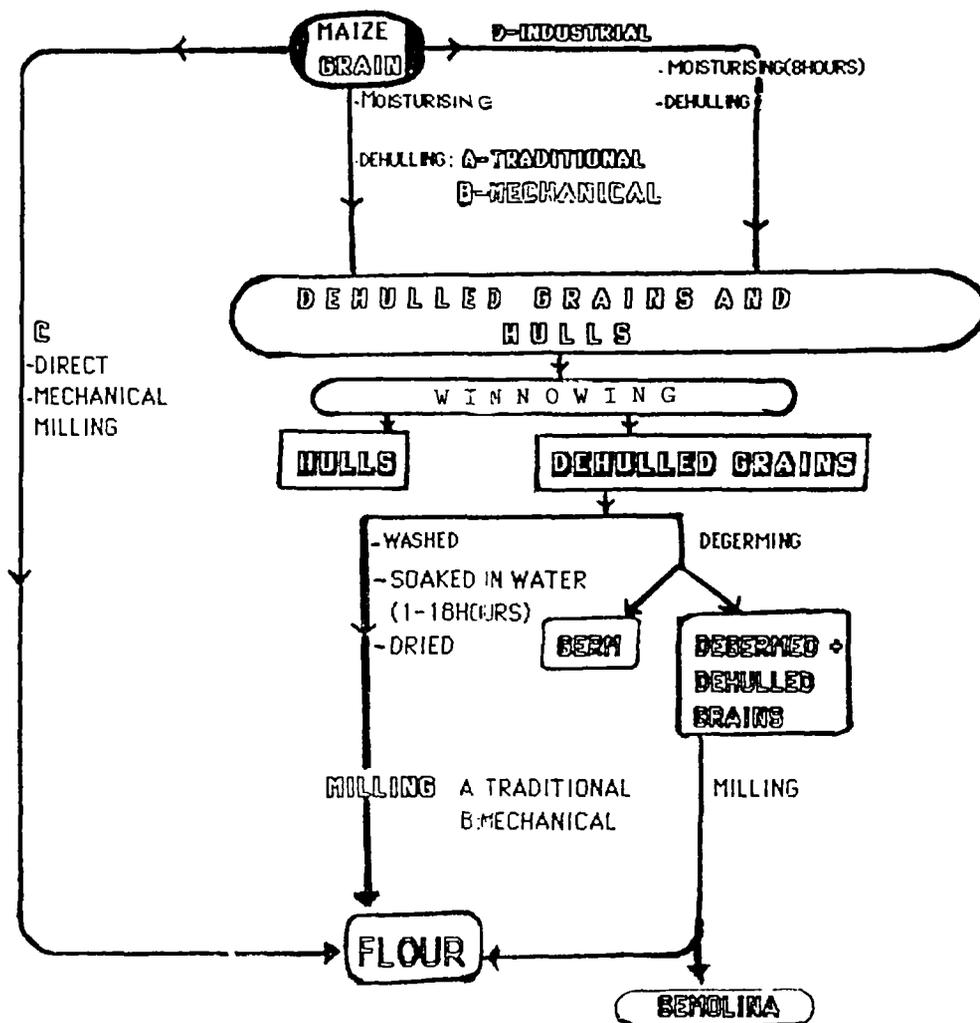


Figure 1. Organigramme simplifié des 4 différentes méthodes de transformation des céréales en farine dans la Province de l'Amadou au Cameroun :

- A. Méthode traditionnelle (vannage manuel)
- B. Méthode semi-traditionnelle (vannage manuel)
- C. Méthode mécanique directe
- D. Méthode industrielle (mécanisée complètement).

Analyse des éléments

La teneur en zinc et en fer des échantillons a été analysée par spectrophotométrie par absorption atomique des solutions aqueuses des échantillons réduits à l'état de cendres à 550° C dans un four pendant 6 à 8 heures. La présence d'autres éléments tels que le calcium, le magnésium et le phosphore a été déterminée par analyse spectrophotométrique en utilisant les méthodes indiquées par l'AOAC [2]. Afin de garantir l'exactitude des différents traitements et

analyses, des Matériaux de Référence Standard (Standard Reference Materials), (farine de riz SRM 1568 obtenue auprès du US Bureau of Standards) ont été analysés avec chaque lot d'échantillons. Lorsque l'analyse des matériaux référence a abouti à des valeurs différentes des valeurs référence, les échantillons du lot ont été réanalysés avec plus de soin pour garantir l'exactitude du travail. Tous les réactifs utilisés étaient purs. L'analyse de l'acide phytique a été faite selon la méthode Mohamed *et al.* [3], tandis que l'analyse de la fibre par détergent suivait la méthode Van Soest [4], modifiée par Reinhold et Garcia [5].

Résultats et discussion

La composition en éléments nutritifs et antinutritionnels des différentes fractions de mouture obtenues par les quatre méthodes de transformation figurent dans le tableau I pour le maïs et dans le tableau II pour le sorgho. Les principales fractions de mouture analysées sont la farine, les cosses et le germe, de même que le grain brut.

Tableau I. Teneur nutritive des différentes fractions de mouture du maïs selon la méthode de transformation.

Méthode de transformation	Fraction de mouture	Zn mg/100 g	Fe mg/100 g	Mg	Ca	P g %	FDN g %	Phy
Mécanique *	Grain brut	1,56	2,1	81	49	126	34	0,47
Mécanique	Farine	1,47	2,0	86	40	130	32	0,50
Traditionnelle	Farine	0,88	1,5	44	30	64	16	0,23
	Cosses	2,00	4,2	135	39	140	47	0,80
Semi-traditionnelle	Farine	0,81	1,7	27	37	56	19	0,21
	Cosses	2,40	2,8	141	38	148	38	0,85
Industrielle	Farine	0,68	1,2	40	29	136	22	0,25
	Semoule	0,49	1,1	44	21	83	48	0,30
	Germes	2,50	2,8	70	65	210	34	1,10
	Cosses	1,70	2,4	101	20	190	41	0,67

* Un sac de grains de maïs a été échantillonné en trois exemplaires et les échantillons pulvérisés dans un moulin de table mécanique à pales en acier.

Tableau II. Teneur nutritive des différentes fractions de mouture de sorgho selon la méthode de transformation.

Méthode de transformation	Fraction de mouture	Zn mg/100 g	Fe mg/100 g	Mg	Ca	P g/100 g	FDN g/100 g	Phy
Mécanique *	Grain brut	1,78	4,1	255	76	280	38	0,99
Traditionnelle	Farine	1,46	3,1	107	51	120	33	0,63
	Cosses	1,80	2,5	168	38	257	48	0,91
Semi-traditionnelle	Farine	1,25	2,9	113	40	103	329	0,59
	Cosses	2,00	3,0	295	39	360	50	1,40

* Des échantillons en triple exemplaire de grain brut ont été réalisés à partir d'un grand sac de sorgho et ont été séchés puis pulvérisés jusqu'à obtention d'une poudre fine dans un moulin de table mécanique à pales en acier.

Dans chaque cas, la mouture entraînait en général une perte en éléments nutritifs. La figure 2 indique les différents éléments nutritifs et antinutritionnels dans les farines obtenues par les différents processus, en pourcentage par rapport à la teneur dans le grain brut. Les méthodes industrielles et semi-locales en particulier ont provoqué une baisse de la teneur en zinc (fig. 3). Les autres techniques de mouture conduisent également à une baisse de la teneur en éléments nutritifs dans le produit final. La concentration en zinc, par exemple, se trouve répartie de façon singulière dans chacune des fractions de mouture (fig. 4). Dans tous les cas, la fraction de mouture comportant la plus grande quantité de zinc est la cosse sauf avec la méthode industrielle qui entraîne une concentration encore supérieure dans le germe. Donc, quel que soit le processus de transformation, celui-ci semble conduire à une forte baisse de la teneur en zinc. Si l'on considère les farines obtenues, les pertes les plus élevées sont provoquées par la méthode industrielle (69 %), puis locale (44 %), semi-locale (31 %) et enfin mécanique (6 %). Des résultats semblables sont observés avec le sorgho moulu selon les méthodes locales et semi-locales (Tableau V). La concentration des autres éléments nutritifs est affectée de façon relativement similaire. La concentration des facteurs antinutritionnels, le phytate et la fibre détergent neutre s'est avérée plus faible dans les farines de sorgho obtenues par les méthodes locales et semi-locales que dans le produit brut. La concentration de ces facteurs est également plus faible dans la farine de maïs quel que soit le procédé de transformation. Les farines ayant la teneur la plus faible en phytate (0,23 mg/100 g) sont obtenues grâce aux techniques locales et semi-locales. Bien que certaines des farines analysées aient contenu des quantités relativement élevées de phytate, l'effet exact sur l'absorption de minéraux tels que le zinc dépend de la concentration relative de zinc dans la farine ou ses produits. Il a été avancé une théorie, étayée par plusieurs expériences sur l'animal [6, 7], selon laquelle le rapport molaire phytate/zinc d'un aliment peut servir d'indice d'assimilabilité du zinc. Davies

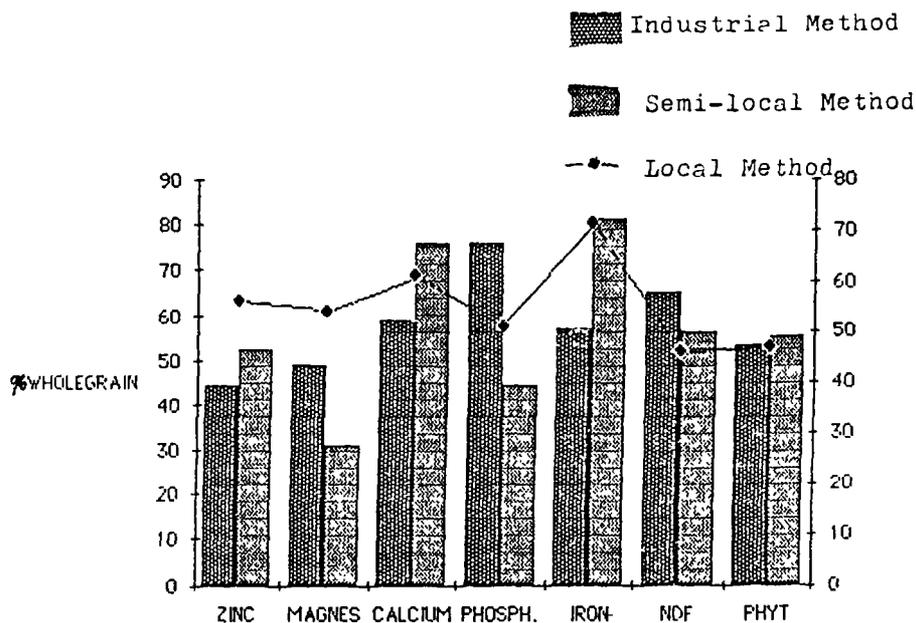


Figure 2. Composition des farines de maïs obtenues par les différentes méthodes : industrielle, semi-locale et locale, exprimées en pourcentage du grain brut.

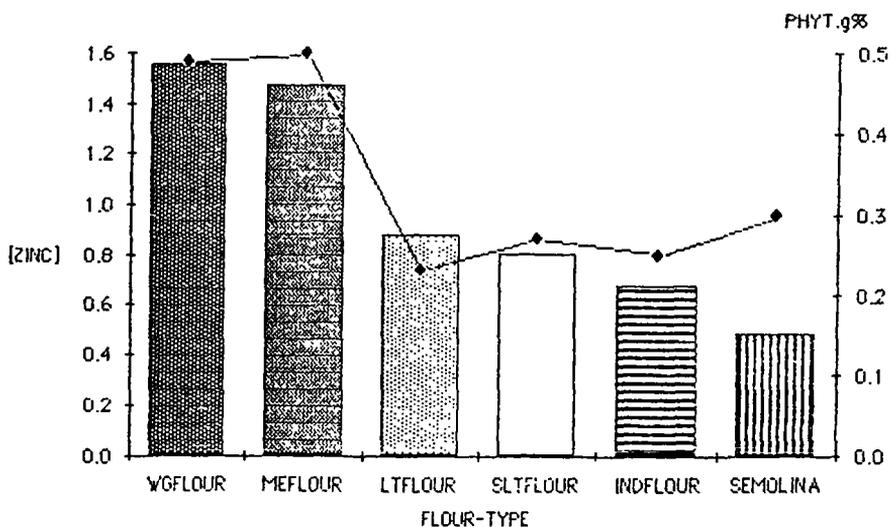


Figure 3. Teneur en zinc et phytate de la farine de maïs obtenue par les différentes méthodes de transformation.

et al. [7] ont montré que, sans tenir compte des quantités absolues de phytate ou de zinc dans un aliment donné, des rapports molaires phytate/zinc de 10 : 1 pouvaient entraîner une déficience marginale en zinc résultant de la faible assimilabilité du zinc. Les résultats présentés ici, en se fondant sur cette hypothèse, indiquent que le zinc pourrait ne pas être facilement assimilable dans les farines de maïs, étant donné leurs rapports molaires phytate/zinc élevés

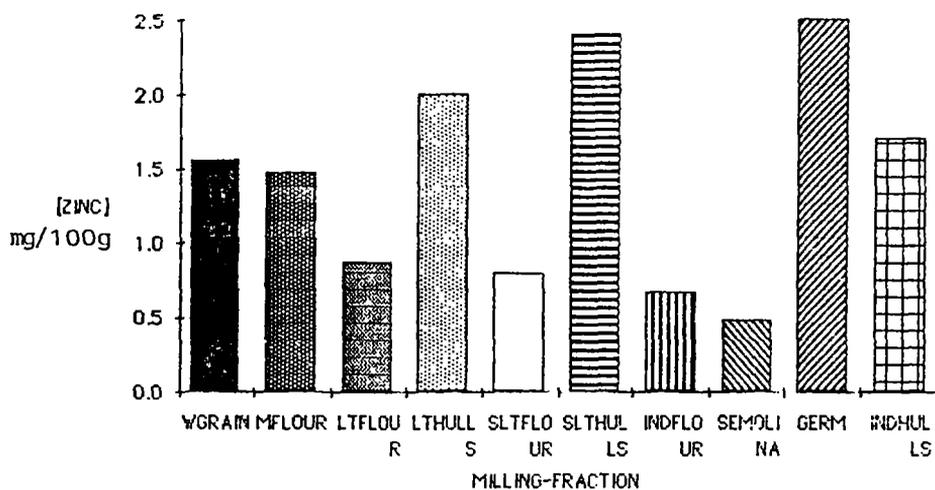


Figure 4. Teneur en zinc des différentes fractions de mouture de maïs obtenues par quatre méthodes différentes.

Influence des différentes méthodes de mouture

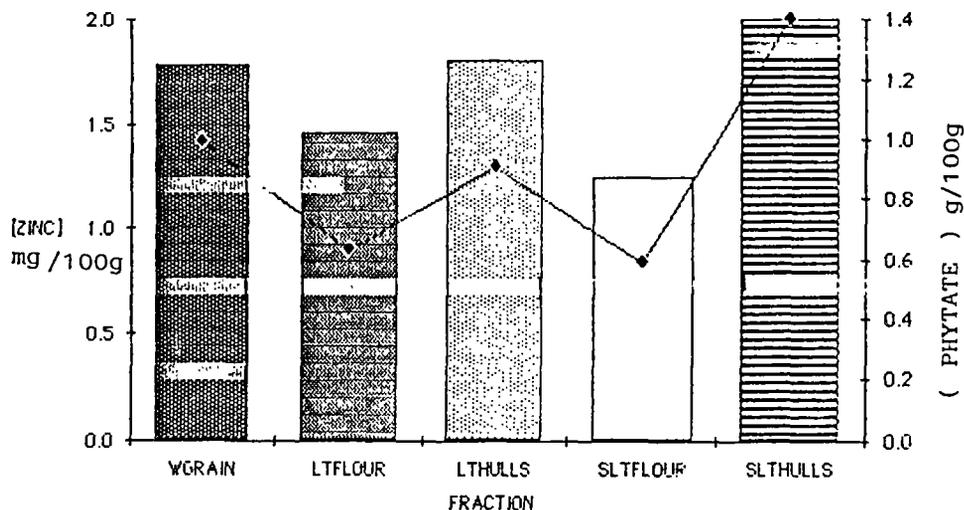


Figure 5. Teneur en zinc et en phytate des différentes fractions de mouture de sorgho obtenues par deux méthodes différentes (locale et semi-locale).

(fig. 3) de 26 : 1 dans les farines obtenues par la technique locale à 36 : 1 dans les semoules produites par la méthode industrielle. Les rapports molaires étaient encore plus élevés dans les farines de maïs moulues grâce aux méthodes locales et semi-locales. Les observations précédentes sur l'influence du rapport molaire phytate/zinc se fondent essentiellement sur des expériences sur l'animal. Les travaux récents de Morris *et al.* [8] ont montré que le rôle inhibiteur du phytate dans l'absorption du zinc est accentué par la teneur en calcium de l'aliment. Mills *et al.* [9] ont donc suggéré que l'on pouvait estimer l'assimilabilité du zinc dans un aliment donné consommé par l'homme de façon plus satisfaisante en calculant le rapport de concentration molaire $([Ca] \times [Phytate]) / [Zn]$. Selon Davies et Mills [10], si ce rapport dépasse 0,3, l'assimilabilité chez l'homme du zinc contenu dans les aliments considérés risque d'être relativement faible. En se fondant sur cette hypothèse, une analyse des données rassemblées dans cette étude (Tableau III), montre que dans la plupart des farines (57 %), sauf

Tableau III. Rapports molaires phytate/zinc et (calcium \times phytate)/zinc dans les farines de maïs et de sorgho obtenues par les différentes méthodes.

Farine	Phytate/zinc	(Calcium \times phytate)/zinc
Maïs		
FIND	36	0,26
Semoule	36	0,31
FTL	26	0,19
FTSL	32	0,30
FMD	34	0,34
Sorgho		
FSTL	44	0,60
FSTSL	69	0,69

FIND : farine industrielle; FTL farine de maïs, technique locale; FTSL : farine de maïs, technique semi-locale; FMD : farine de maïs, technique mécanique directe; FSTL : farine de sorgho, technique locale; FSTSL : farine de sorgho, technique semi-locale.

les farines de maïs obtenues par les procédés industriels, locaux et semi-locaux, le zinc pourrait être relativement moins assimilable que lorsque ces céréales sont consommées brutes. Les rapports molaires ($\text{Ca} \times \text{Phytate}/\text{Zn}$) particulièrement faibles pourraient résulter de la faible teneur en phytate qui pourrait être en partie la conséquence des techniques de mouture utilisées. Dans la méthode de transformation locale du maïs, par exemple, on fait tremper la céréale dans l'eau pendant environ 12 heures. Nous présumons que cette étape active probablement l'action de la phytase dans le produit, ce qui entraîne une dégradation partielle de la teneur en phytate de la céréale et par conséquent de la farine. Bien que nous n'ayons pas étudié cette possibilité particulière, certaines informations contenues dans la documentation existante [11] semblent indiquer que ceci pourrait en effet être le cas dans certaines conditions.

La teneur en fibre détergent neutre de ces farines s'est avérée, dans tous les cas, bien moins élevée que dans la céréale brute. La fraction de mouture contenant les plus grandes quantités de FDN était la cosse. Les farines et les cosses de sorgho contenaient relativement plus de FDN que les farines et les cosses de maïs quelle que soit la technique de transformation. Il est apparu que la FDN avait une incidence dans certains cas de faible assimilabilité biologique minérale du zinc mais on ne s'accorde pas encore sur son effet spécifique sur certains oligo-éléments.

Conclusion

Cette étude montre que les différentes techniques de transformation utilisées couramment dans cette région pour le maïs et le sorgho conduisent à une réduction plus ou moins importante de la teneur en oligo-éléments (zinc, fer et magnésium), en phytate et en fibre dans les farines obtenues. L'acide phytique, le facteur antinutritionnel ayant le plus d'influence sur l'absorption du zinc et du fer, est moins abondant dans les farines obtenues par les méthodes industrielle et semi-locale. De plus, le rapport molaire ($\text{Ca} \times \text{Phytate}/\text{Zn}$) des différentes farines semble indiquer que le zinc pourrait avoir une plus grande assimilabilité dans les farines produites par les méthodes industrielles et semi-locales.

Références

1. Bender AE. (1966). Nutritional effects of food processing. *J Food Tech*; 11 : 261-289.
2. AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). (1975). *Methods of analysis*, 10th ed, Washington DC.
3. Mohamed AI, Perera PJ, Hafez YS. (1986). New chromophore for phytic acid determination. *Cereal Chemistry*; 63 : 475-478.
4. Van Soest PJ. (1967). Use of detergent in the analysis of fibrous feeds. IV Determination of plant cell wall constituents. *J Ass Off Agric Chem*; 50 : 50-55.
5. Reinhold JG, Garcia JS. (1979). Fibre of the maize tortilla. *Amer J Clin Nutr*; 32 : 1326-1329.
6. Oberleas D, Prasad AS. (1976). Factors affecting zinc homeostasis. In : Prasad AS, éd, *Trace elements in Human Health and Disease*, Vol 1, Zinc and Copper. Alan R Liss, New York.
7. Davies NT, Olpin SE. (1975). Studies on the phytate : Zinc molar contents in diets as a determinant of zinc availability to young rats. *Brit J Nutr*; 41 : 590-603.
8. Morris EF, Ellis R. (1980). Effect of dietary phytate : Zinc molar ratio on growth and bone zinc response of rats fed semi-purified diets. *J Nutr*; 110 : 1037-1045.

Influence des différentes méthodes de mouture

9. Mills CF, Davies NT, Quaterman J, Agget PJ. (1985). Metal interactions in the etiology of trace element deficiency and toxicity. *Nutr Res Suppl*; 1 : 471-473.
10. Davies NT, Mills C.F (1985). Interactions involving inorganic nutrients (Mills CF). *Proceedings of the XIII Int. Cong of Nutr.* TG Taylor NK Jenkin, eds. p. 533.
11. Beal L, Mehta T. (1985). Zinc and phytate distribution in peas. Influence of heat treatment, germination, pH, substrate and phosphorus on phytate and phytase. *J Fd Sci*; 50 : 96-101.

5

Bio-assimilation *in vitro* du fer contenu dans différentes préparations de bouillies à base de farines de maïs et de sorgho. Influence des conditions de mouture et de préparation

C.M.F. MBOFUNG, R. NDJOUENKEU.

Department of Food Science and Nutrition. ENSIAC, N'Gaoundéré University Center, N'Gaoundéré, Cameroun

Résumé

L'anémie par déficience en fer est une maladie nutritionnelle largement répandue dans de nombreuses parties du monde, et spécialement dans celles où les apports en fer proviennent d'une nourriture à base végétale.

Mis à part les cas de déficience propre en fer de la ration, l'un des facteurs les plus importants est la faible assimilabilité du fer alimentaire.

Cette assimilation biologique du fer provenant des céréales et produits dérivés est connue pour être influencée par de nombreux facteurs dont certains dépendent des procédés de fabrication et de préparation des aliments.

Dans le présent travail, est étudiée la bio-assimilation *in vitro* du fer dans différentes préparations de bouillies à base de farines de maïs et de sorgho.

Les résultats sont présentés dans le contexte de la variété des inhibiteurs et des promoteurs de l'absorption du fer provenant des divers types de bouillies. La discussion est faite en termes d'avantages et inconvénients des différentes méthodes de fabrication et préparation.

Introduction

La carence en fer est une maladie nutritionnelle largement répandue, surtout dans les groupes vulnérables du point de vue nutritionnel, dans de nombreuses parties du monde (pays développés et en voie de développement) et spécialement dans celles où les apports en fer proviennent d'une alimentation à base végétale [1]. Cette carence en fer cause une large gamme d'anomalies fonctionnelles et physiologiques : diminution de la capacité de travail, modifications d'activité enzymatique, du comportement et même altérations de la fonction cérébrale.

Mis à part les cas de carence propre en fer de la ration alimentaire habituelle, l'une de ses causes les plus importantes est la faible assimilabilité biologique du fer dans les aliments consommés qui contiennent des facteurs antinutritionnels tels que les phytates, les fibres ou les tanins qui complexent cet élément et gênent son absorption intestinale. On sait que ces facteurs antinutritionnels, et en particulier les phytates et les fibres, sont abondants dans les céréales et les aliments à base de céréales, ce qui entraîne une absorption relativement faible des minéraux présents dans ces aliments [5]. Au Cameroun et surtout dans les provinces et les zones écologiques du Nord, les céréales constituent l'alimentation de base et sont consommées sous différentes formes, essentiellement en bouillies par les enfants qui viennent d'être sevrés ainsi que par les adultes au petit déjeuner. Etant donné que la transformation de ces céréales en farines et que les méthodes de mouture puis de préparation des bouillies peuvent avoir une influence sur la teneur en éléments nutritifs et antinutritionnels du produit final, le présent travail vise à déterminer l'effet de ces méthodes de transformation et de préparation sur l'assimilation biologique *in vitro* du fer. Nous espérons également rassembler, grâce à cette étude, des informations permettant d'améliorer les techniques actuelles de transformation et de préparation des aliments et ainsi accroître l'assimilabilité du fer. De même, nous envisageons d'en déduire des informations particulières permettant de mettre au point une formule alimentaire nutritive après le sevrage en utilisant les produits locaux.

Matériel et méthodes

Techniques et transformation

Quatre différentes techniques de mouture des céréales utilisées couramment dans la Province de l'Adamaoua ont fait l'objet de la première partie de cette étude. Il s'agit de (1) la mouture industrielle de la farine – qui est réalisée à Sodéblé à Wasande; (2) la méthode de transformation locale; (3) la méthode de transformation semi-locale; (4) la méthode de mouture mécanique directe, (voir figure 1, page 205).

Préparation des bouillies

Il existe différentes méthodes de préparation des bouillies à base de farine de céréales mais en nous fondant sur une étude réalisée dans un village voisin de Ngaoundéré, nous avons sélectionné deux méthodes en particulier. Il s'agit (1) de la bouillie ordinaire et (2) de la bouillie additionnée d'un extrait d'arachide.

Dans le cas de la bouillie ordinaire, la farine (de maïs ou de sorgho) est tamisée dans un tamis de 0,250 mm et une quantité déterminée de la farine fine obtenue est mélangée à de

l'eau pour faire une pâte. Cette pâte est ensuite versée petit à petit, en remuant, dans une quantité spécifique d'eau bouillante et cuite pendant 5 à 10 minutes, toujours en remuant. L'utilisation de sucre pour adoucir la bouillie est courante mais n'a pas d'intérêt pour la présente étude.

Dans la deuxième méthode de préparation, la farine est tamisée de la même façon mais de l'extrait d'arachide remplace l'eau pour la confection de la pâte et également pour la cuisson. Au cours de la première série d'expériences, chaque type de farine a été transformé en bouillie en utilisant la deuxième méthode, c'est-à-dire en préparant un extrait d'arachide de 50 % du poids de la farine dans une quantité fixe d'eau. L'expérience a été renouvelée en utilisant différentes quantités de pâte d'arachide (0, 30, 50, 100 % du poids) extraite dans chaque cas de la même quantité d'eau. Ces différentes quantités de pâte d'arachide ont été choisies de façon arbitraire afin qu'elles représentent la quantité utilisée couramment (estimée grâce à des observations et à une enquête auprès des femmes du village aux alentours de 30 % du poids de la farine mouillée). La pâte d'arachide utilisée est produite localement en passant des cacahuètes légèrement chauffées et écalées dans un moulin mécanique jusqu'à obtention d'une mouture fine. Toutes les bouillies ont été préparées en deux exemplaires.

Détermination *in vitro*

Nous avons adopté pour l'étude la méthode *in vitro* de Narasinga *et al.* [6] pour déterminer la quantité de fer non hème assimilable dans les aliments. La méthode se fonde sur la libération du fer ionisable des aliments en le soumettant à une digestion pepsine-HCl en simulant le pH de l'estomac à 1,35 et en ajustant ensuite le pH à 7,5 pour qu'il corresponde au pH intestinal simulé. Il a été montré que le fer ionisable mesuré à ce pH était hautement corrélé au fer assimilable absorbé *in vivo*.

a) *Réactifs et matériel* : toute la verrerie utilisée pour les expériences a été lavée avec un détergent liquide, rincée à plusieurs reprises avec de l'eau distillée et plongée pendant six heures dans une solution chlorhydrique normale avant d'être finalement rincée à nouveau dans de l'eau distillée. De l'eau distillée ne contenant aucune trace de fer a été utilisée exclusivement pour cette étude. Tous les produits chimiques utilisés étaient fournis par Sigma Chemical Co et avaient la teneur en fer appropriée.

b) Tous les échantillons préparés ont été séchés à basse température (70 °C) jusqu'à un poids constant, puis pulvérisés dans un moulin de table en acier inoxydable, et passés dans un tamis de 0,25 mm ; la poudre obtenue a été utilisée pour déterminer la quantité de fer totale, soluble et ionisable, de même que la teneur en phytate et en FDN des aliments.

c) *Extraction du fer soluble et ionisable* : 2 g de chacun des échantillons de bouillie ont été mélangés à 25 ml de pepsine HCl et le pH ajusté à 1,35 avant incubation dans une fiole conique de 100 ml à 37 °C dans un bain d'eau à agitation pendant 90 minutes. Après l'incubation, l'échantillon digéré a été centrifugé à 3 000 t/min pendant 45 minutes. Le surnageant est soigneusement transvasé à l'aide d'une pipette dans une autre fiole contenant son propre volume de mélange de bile et de liquide pancréatique puis son pH ajusté à 7,5 avec de la soude, réincubé à 37 °C pendant encore 90 minutes puis secoué et centrifugé à 3 000 t/min pendant 45 minutes. Enfin le surnageant est mis à part dans une éprouvette.

d) La teneur en fer soluble du surnageant final a été déterminée par la méthode de Tenat *et al.* [7] tandis que le fer ionisable (forme libre du fer dans le surnageant) a été déterminé en utilisant un dipyridyl-a,a1, comme le décrit l'AOAC [8]. La quantité totale de fer contenue dans chaque type de bouillie a été déterminée en analysant les solutions des échantillons réduits en cendres en suivant également la méthode de l'AOAC [8].

e) La teneur en phytate des échantillons a été déterminée par spectrophotométrie directe (méthode Mohammed *et al.* [9], tandis que la teneur en fibre détergent neutre a été calculée par la méthode Van Soest [10], modifiée par Reinhold et Garcia [11]. Afin de garantir l'exactitude des différents traitements et analyses, des Matériaux de Référence Standard (Standard Reference Materials), farine de riz SRM 1568 obtenue auprès du US Bureau of Standards) ont été analysés avec chaque lot d'échantillons. Lorsque l'analyse des matériaux référence a abouti à des valeurs différentes des valeurs référence, les échantillons du lot ont été réanalysés avec plus de soin pour garantir l'exactitude du travail.

Résultats et discussion

On s'est aperçu que les bouillies préparées avec de la farine de maïs moulue de quatre façons différentes et de la farine de sorgho moulue de deux façons différentes ont une teneur variable en fer que l'on utilise ou non l'extrait d'arachide. La variation dans chacun des cas est révélée dans le Tableau I. Les bouillies (BFMD) préparées avec de la farine de maïs obtenue par méthode mécanique directe ont la teneur en fer la plus forte (1,76 mg/100 g) tandis que celles (BFIND) préparées avec de la farine de maïs obtenue par la méthode industrielle ont la teneur en fer la plus faible (1,05 mg/100 g). L'utilisation d'extrait d'arachide (50 % du poids dans la préparation des différentes bouillies) augmente les teneurs respectives en fer des bouillies (fig. 1). Cette augmentation va de 67 % dans les bouillies préparées avec la farine de maïs obtenue directement à environ 120 % dans celles préparées avec la farine industrielle. L'assimilation du fer pour les différentes bouillies varie aussi selon la farine utilisée (fig. 2). En pourcentage, l'assimilation du fer s'est avérée plus faible (1,4 %) pour les bouillies à base de farine de maïs directement moulue et plus forte (19 %) quand elles sont à base de farine de maïs obtenue par la méthode locale. En termes absolus cependant, une plus grande quantité de fer est assimilable pour les bouillies FTSL que pour les bouillies de maïs de tout autre type. En ce qui concerne les bouillies de sorgho, les bouillies STSL contiennent une plus grande quantité (relative et absolue) de fer assimilable que les bouillies STL. Les résultats de l'analyse de l'acide phytique et de la FDN montrent (fig. 3 et 4) que les farines ayant une forte teneur en phytate et en FDN contiennent de moins grandes quantités de fer ionisable que celles ayant une faible teneur en phytate et en FDN. Une analyse de régression multiple montre que le pourcentage de fer assimilable peut être estimé à partir de la quantité totale de fer (FET) et

Tableau I. Concentration totale et en % du fer soluble et ionisable (en mg/100 g) et de l'acide phytique dans les bouillies normales de maïs et de sorgho.

Gruel type	Total Iron	Percent soluble	Percent ionizable	Phytic acid (mg)
DMFG	1.76	22	1.4	500
LTFG	1.60	32	19.0	230
SLTFG	1.20	28	7.0	370
INDFG	1.05	18	2.5	400
LTSFG	3.1	15	3.8	630
SLTSFG	2.90	24	10.0	300

DMFG : Directly milled flour gruel; LTFG :Local technology flour gruel; SLTFG : Semilocal technology flour gruel; INDFG : Industrial flour gruel; LTSFG : Local technology sorghum flour gruel; SLTSFG : Semilocal technology sorghum flour gruel.

de la teneur en phytate (PHY) de chacune des bouillies grâce à l'équation suivante :
 $\% \text{ Ion.Fe} = 25,46 - 7,09 \text{ FET} + 0,008 \text{ PHY}$.

Afin de déterminer l'influence de la méthode de préparation sur l'assimilabilité du fer dans les différentes bouillies, on n'a utilisé que deux types de farine : de la farine de maïs obtenue par la méthode semi-locale (MTL) et de la farine de sorgho obtenue par la méthode semi-locale (SSL). En analysant ces bouillies, préparées avec 0, 30, 50 et 100 % d'extrait d'arachide par rapport au poids mouillé extrait d'une solution, on a découvert une variation considéra-

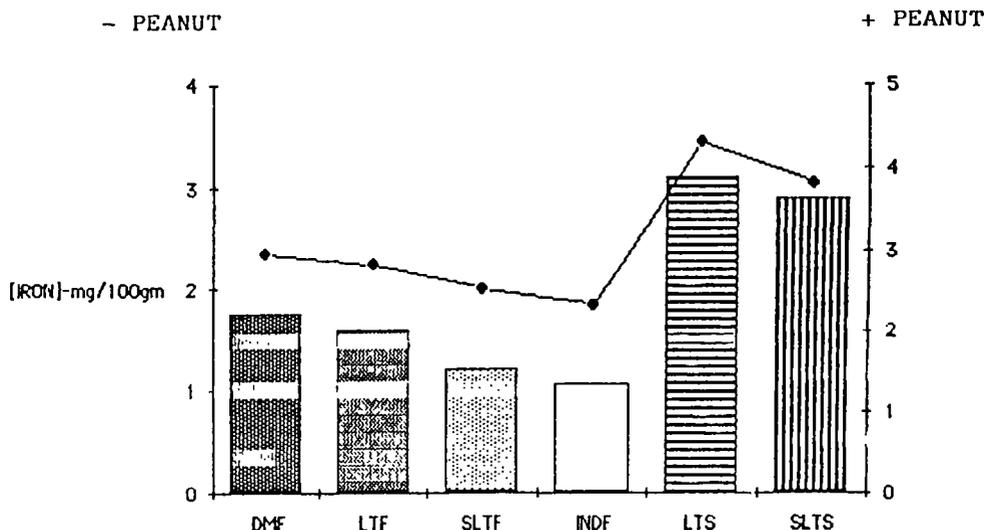


Figure 1. Teneur en fer des bouillies obtenues à partir des différentes farines avec (lignes) ou sans (colonnes) extrait d'arachides.

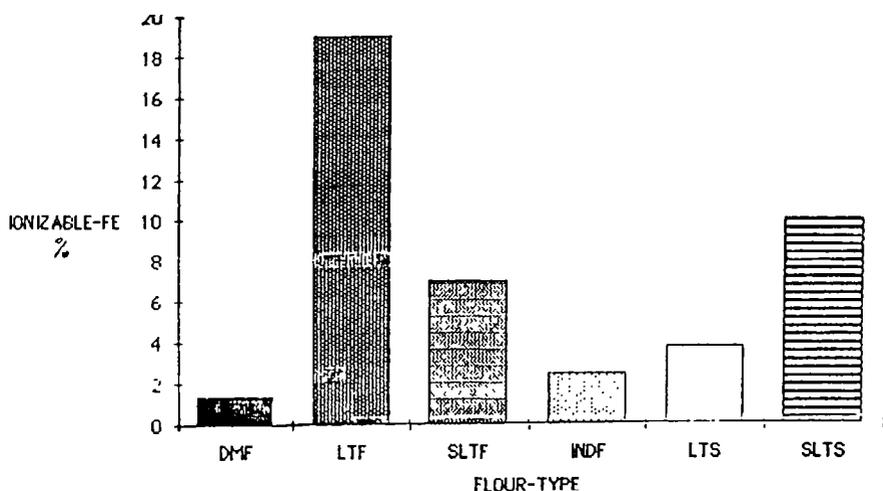


Figure 2. Pourcentage de fer ionisable dans les bouillies de farine de maïs et de sorgho obtenues par les différentes méthodes de mouture.

ble de la teneur en fer total, soluble et ionisable et en phytate (Tableau II). Bien qu'en augmentant la concentration de l'extrait d'arachide dans les bouillies, on aboutit à une augmentation de la teneur totale en fer et la quantité totale de fer soluble; cette dernière, en termes relatifs, a tendance à décroître avec l'augmentation de la teneur en fer des bouillies. Le fer ionisable et par conséquent le fer assimilable montrent un profil différent (fig. 5). Les quantités relatives de fer assimilable semblent diminuer avec l'augmentation de la concentration de l'extrait d'arachide utilisé.

Une analyse de l'incidence de la teneur en phytate des bouillies sur l'assimilabilité du fer montre qu'une augmentation du phytate entraîne une diminution de la quantité de fer assimi-

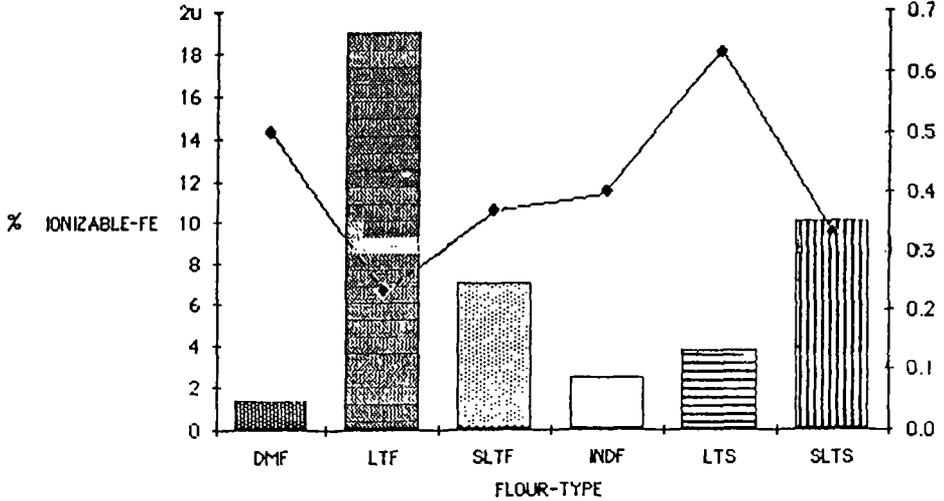


Figure 3. Pourcentage en fer ionisable dans les bouillies obtenues à partir de différentes farines en liaison à leur concentration en phytate.

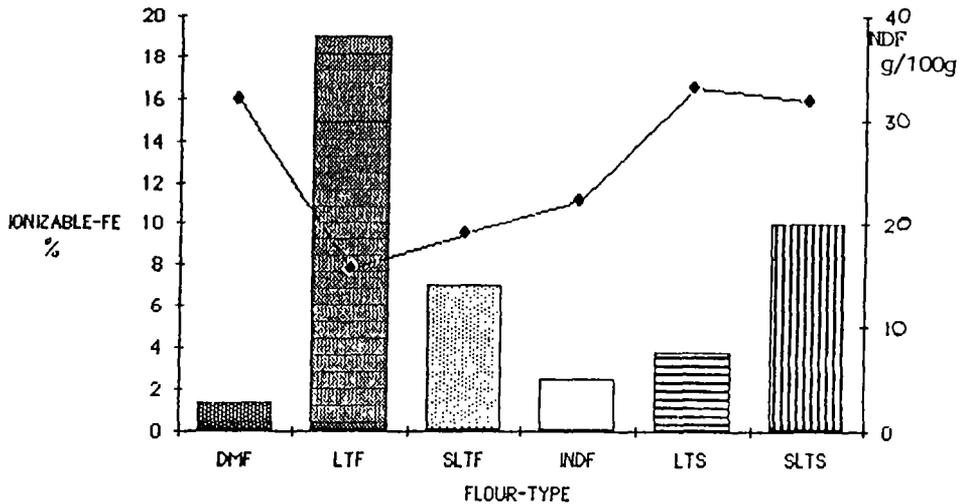


Figure 4. Pourcentage de fer ionisable dans les bouillies obtenues à partir des différentes farines par rapport à leur teneur en NDF.

Tableau II. Pourcentage de fer soluble et ionisable dans les bouillies de différentes farines de maïs (LTM) et de sorgho (SLS).

Gruel	Total iron mg/100 g	% soluble Iron	% ionizable Iron	Phytate g/100 g
LTM0	1.60	32	19	0.23
LTM30	2.40	36	13	0.30
LTM50	2.94	30	10	0.33
LTM100	4.30	28	7.4	1.20
SLS0	2.51	24	10	0.33
SLS30	3.30	26	8.4	0.41
SLS50	3.68	25	7.2	0.78
SLS100	4.68	24	4.9	1

0, 30, 50 and 100 indicate the percentages of maize or sorghum flour by wet-weight of peanut paste extracted into solution and used for the making of the gruel.

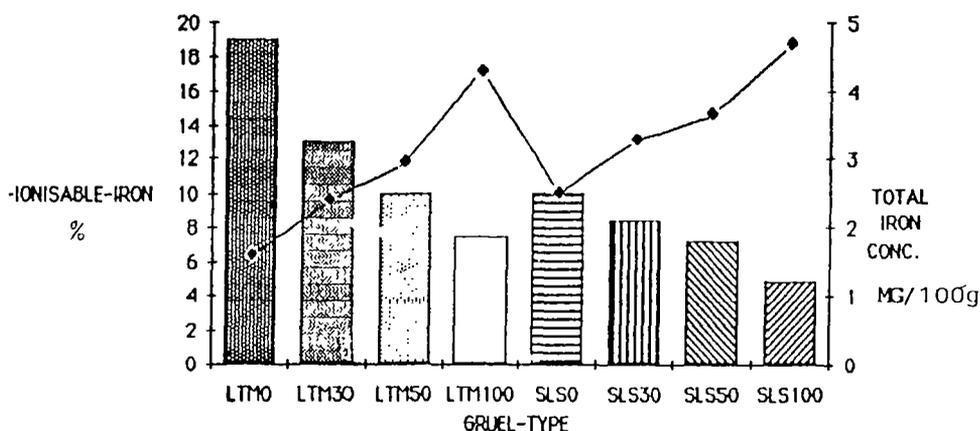


Figure 5. Pourcentage de fer ionisable (colonnes) et total (lignes) dans les bouillies par rapport aux techniques de mouture et préparation.

lable. Une teneur en acide phytique d'environ 0,40 mg % semble être le point critique en deçà duquel une diminution de la concentration a un effet positif considérable sur l'assimilabilité du fer et au delà duquel une augmentation de la teneur en phytate semble n'avoir que peu ou pas d'effet sur l'assimilabilité du fer (fig. 6).

On peut déduire de cette étude que les méthodes de transformation et de préparation ont une influence sur la concentration et l'assimilation biologique du fer dans les bouillies de maïs et de sorgho. La composition des farines produites dépend donc de l'efficacité de la méthode surtout au moment de l'écoassage. Avec le procédé industriel, la séparation des germes du grain ajoutée à l'écoassage, entraîne une diminution considérable de la quantité d'éléments nutritifs dans le produit final, comme le montre par exemple la faible teneur en fer de la farine. Avec le procédé local, il se peut également qu'en plus de la diminution de la valeur nutritive du produit final, il se produise une pollution entraînée par le trempage et le lavage des grains, etc. (Cependant, cet aspect n'a pas été étudié).

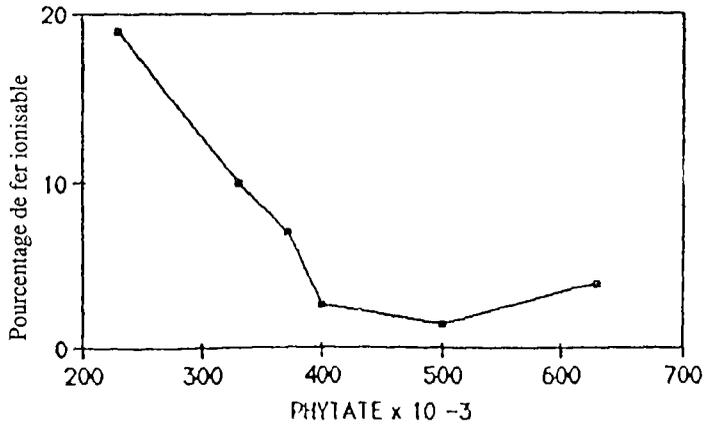


Figure 6. Pourcentage de fer ionisable dans les bouillies par rapport à leur teneur en phytate.

La faible assimilation biologique du fer dans les bouillies préparées avec différentes farines semble confirmer l'incidence des méthodes de transformation et de préparation sur ce paramètre. La corrélation fortement négative entre la teneur en phytate et en FDN et l'assimilabilité du fer est en accord avec les résultats de différentes études [12, 13] sur les effets antinutritionnels des phytates et des fibres. La variation de la teneur en phytate des farines semble indiquer que les différentes méthodes de transformation n'ont pas la même efficacité en ce qui concerne l'écoassage ce qui tend à réduire la teneur en phytate et en fibre de ces farines.

La technique semi-locale de transformation de la farine produit des bouillies qui ont une teneur en fer ionisable relativement plus élevée. Il est probable qu'en plus du fait que la méthode d'écoassage mécanique provoque une plus grande perte des fractions du grain de la céréale contenant les phytates, le trempage des grains pendant 12 heures contribue également à une baisse de la teneur en phytate par le biais de l'activation de l'action de la phytase. Bien que nous n'ayons pas étudié cet aspect, d'autres auteurs ont montré qu'un trempage et une germination prolongés des grains ont tendance à accroître l'activité de la phytase [14] et provoquent par conséquent une baisse de la teneur en phytate de la céréale et de ses produits. La relative absence d'augmentation du fer assimilable au delà d'une concentration de phytate dans la bouillie de 0,40 g/100 g et l'existence d'une assimilation biologique plus forte pour les bouillies où la concentration en phytate est en deçà de cette limite, suggère que l'utilisation de l'extrait d'arachide en quantités d'environ moins de 50 % du poids de la farine pourrait (du point de vue de l'assimilation du fer) être idéale dans la préparation des bouillies de maïs et de sorgho.

Références

1. Who. (1975). Control of nutritional anaemia with special reference to iron deficiency. Who Tech, report, series no. 580, Geneva.
2. Dallman PR. (1982). Manifestations of iron deficiency. *Semin Hematol*; 19 : 19-30.
3. Voudim MB, Woods HF, Mitchell B, Graham-South DG, Callender S. Human platelet monoamine oxidase activity in iron deficiency anaemia. *Clin Sci*; 48 : 289-295.

4. Cantwell RJ. (1974). The long term neurological sequelae of anaemia in infancy. *Paediatrics Res*; b : 342.
5. Hallberg L, Solvell L. (1967). Absorption of hemoglobin iron in man. *Acta Medica Scandinavica*; 181 : 335-352.
6. Narasinga Rao BS, Prabhavathi T. (1978). An in vitro method for predicting the bioavailability of iron from foods. *Amer J Clin Nutr*; 31 : 169-175.
7. Tennat GB, Greenman DA. (1969). Determination of iron in solutions containing iron complexes. *J Clin Pathol*; 22 : 201.
8. AOAC. (1965). Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists. 10th ed, Washington, DC.
9. Mohamed AI, Ponnampereuma AJ, Hafez VS. (1986). A new chromophore for phytic acid determination. *Cereal Chem*; 63 : 475-478.
10. Van Soest PJ. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds a rapid method for the determination of fibre and lignin. *J Assoc Agric Chem*; 46 : 829.
11. Reinhold JG, Garcia JS. (1979). Fibre of the maize tortilla. *Amer J Clin Nutr*; 32 : 1326-1329.
12. Hussain R, Patwardham VN. (1959). The influence of phytate on the absorption of iron. *Ind J Med Res*; 47 : 675.
13. Cummings JH. (1978). Nutritional implications of dietary fibre. *Amer J Clin Nutr*; 31 : 521-529.
14. Beal L, Mehta T. (1985). Zinc and phytate distribution in peas. Influence of heat treatment. Germination substrate and phosphorus on pea phytate and phytase. *J Food Sc*; 50 : 96-101.

6

Transformation traditionnelle de quelques céréales cultivées en Côte d'Ivoire

F. ABOUA, J. NEMLIN, A. KOSSA, A. KAMENAN

Centre Ivoirien de Recherches Technologiques (CIRT), 08 B.P. 881, Abidjan 08, Côte d'Ivoire

Résumé

Différents modes de transformations traditionnelles de cinq céréales en farine (mils, sorghos, fonios, riz et maïs) ont été répertoriés et décrits. Les grains de mil et de sorgho sont décortiqués au mortier de bois et au pilon après humidification, les sons étant séparés des grains par vannage ou par flottation. Les grains sont alors broyés soit au mortier, soit à la machine électrique, diesel, ou à essence (moulins à marteaux) et les granulés obtenus sont tamisés. Les grains de fonios sont pilés, lavés et séchés au soleil. Le produit obtenu n'est pas tamisé. Pour le décortiquage des grains de riz, la méthode utilisée consiste à piler soigneusement le paddy sec au mortier en bois et au pilon ou au moulin à marteau électrique. Les grains de maïs sont décortiqués et moulus. Les différentes farines obtenues servent à la préparation des mets traditionnels et à la confection des pâtes alimentaires. Toutes ces techniques traditionnelles de transformation des céréales en farine sont ensuite comparées à un procédé de fabrication traditionnelle améliorée de la farine de maïs.

Introduction

La culture céréalière ivoirienne est caractérisée par une forte production de riz (*Oriza sativa*) : 514 000 t de riz-paddy, et de maïs (*Zea maïs*) : 520 000 t de maïs-grain. Le mil (*Pennisetum typhoides*) et le sorgho (*Sorgho bicolor moench*) ne représentent respectivement que

41 000 t et 22 500 t, cultivés et consommés essentiellement dans le Nord du pays. Le fonio (7 200 t) est cultivé seulement dans le Nord-Ouest. (Statistiques Agricoles, 1984).

Riz et maïs sont des cultures en voie d'expansion en Côte d'Ivoire en raison de leur bon rendement et de leur facilité d'emploi.

Matériels et méthodes en transformation traditionnelle

Préparation des mils, sorghos et fonios

Cas des mils et sorghos (Diagrammes 1 et 2).

Décorticage et lavage. Les grains de mil et de sorgho sont lavés pour les débarrasser des impuretés. Ils sont décortiqués au mortier de bois et au pilon. L'humidité préalable du grain facilite le décorticage au pilon. Les sons sont préparés par vannage ou par flottation. Ils servent à nourrir la volaille.

Mouture. Les grains sont à nouveau broyés soit au mortier, soit à la machine actionnée par un moteur électrique diesel ou à essence (moulins à marteaux). La farine est tamisée. Les refus de tamis peuvent être remoulus et retamés à volonté. La farine grossière ou semoule sert à préparer certains plats tels que les bouillies. La farine fine est utilisée pour la confection des mets suivants :

— Le «toh». La préparation consiste à ajouter à de l'eau bouillante de la farine en la malaxant à l'aide d'une spatule en bois jusqu'à consistance voulue. Le «toh» peut être consommé associé à de la sauce, de la viande et du poisson.

— Le «dagnan». C'est de la farine humidifiée et salée, fermentée pendant trois jours, puis séchée au soleil. La pâte est consommée telle qu'elle.

— Le «dêguê». La farine est jetée dans l'eau salée et cuite à la façon du couscous ou de l'attiéké.

— La «farine mime». Après cuisson à sec, les grains de mil devenus jaunes sont broyés soit au mortier en bois et au pilon, soit par un moulin à marteau ou sur une pierre plate. On en sépare une farine qui peut être consommée avec du sucre.

— Le «dolo» ou «tiapalo». Les grains décortiqués sont trempés dans l'eau pendant deux jours. Ils sont couverts de pailles ou de feuilles de bananier et mis à fermenter dans un endroit humide pendant deux jours. Ils sont ensuite séchés au soleil pour en faciliter le broyage. La farine blanche qui en résulte est mélangée à de l'eau à laquelle on ajoute de la farine de feuilles de baobab pour améliorer le goût ou des extraits de tiges fraîches de gombo. Le mélange est cuit pendant 24 heures à feu de bois, tout en le remuant avec des spatules en bois pour empêcher son dépôt sur la paroi de la marmite. Le tout est fermenté durant 24 heures dans une marmite hermétiquement fermée. La filtration du produit se fait à travers la paille de riz ou du chiendent. Le jus jaunâtre très sucré est porté à l'ébullition, puis fermenté pendant 24 heures. Après ces opérations, une partie du jus est mise à fermenter et un dégagement gazeux se produit. On recueille le liquide surnageant qui est directement consommé. L'autre partie est filtrée avant sa consommation.

Cas du fonio (Diagramme 3)

Les grains de fonio sont lavés, séchés au soleil, pilés. Le produit est cuit comme le riz au gras. C'est le «fesro». La farine de fonio peut être utilisée pour la préparation du «toh».

Préparation du riz et du maïs

Cas du riz

Pour décortiquer les grains en milieu familial, la technique utilisée consiste à piler avec précaution le paddy sec pour enlever la première enveloppe. Le décortiquage se fait au mortier en bois et au pilon ou au moulin à marteau électrique. Le riz décortiqué est consommé sous différentes formes :

— Le «bôlo». C'est une préparation particulière de riz. La farine grossière obtenue après broyage des grains de riz est humidifiée, salée ou sucrée et enveloppée dans une ou deux feuilles de jonc ficelées. Elle est cuite à l'eau.

— La bouillie de riz. Le riz décortiqué est cuit à l'eau jusqu'à l'obtention d'une bouillie consommée avec du sucre.

— Le riz cuit à l'eau. Ce riz est consommé avec la sauce.

— Le riz «au gras». Le riz est cuit dans une sauce de tomates à laquelle on ajoute de l'huile d'arachide ou de palme raffinée ou de la viande.

Cas du maïs (Diagramme 4)

Le maïs frais peut être braisé à feu de bois ou cuit à l'eau après épluchage. Cette forme de consommation du maïs est très appréciée par les Ivoiriens.

Les grains de maïs décortiqués et moulus donnent une farine blanche utilisée pour diverses préparations. Les produits alimentaires de seconde transformation à base de farine de maïs sont le «toh», les beignets, les galettes, etc...

Procédé traditionnel amélioré

Procédé de fabrication de la farine de maïs (Diagramme 5)

Il faut considérer et ne jamais perdre de vue que la préparation des produits alimentaires requiert un soin particulier et une hygiène très stricte, si bien que la moindre inattention peut avoir des effets néfastes sur la qualité des produits finis. L'élaboration d'un aliment est une suite d'opérations qui ont chacune leur importance et qu'il faut effectuer avec minutie sur une chaîne de fabrication. Si une seule de ces opérations n'est pas réalisée correctement, le produit final en est toujours affecté.

Contrôle de la qualité du maïs

Le contrôle doit s'effectuer à la collecte des grains des maïs, il faut le faire avec soin. Plusieurs facteurs sont à prendre en considération en particulier la classification selon les variétés (maïs blanc, maïs rouge, etc...).

Ceci permettra de choisir le mode d'usinage et le produit à élaborer. En effet, en industrie alimentaire, la qualité du produit final est tributaire de la qualité de la matière première. C'est pourquoi à la collecte en plus du tri et les variétés, l'attention se portera également sur les taux d'humidité, d'impureté, les défauts et diverses caractéristiques physiques des grains de maïs.

Réception

Arrivés à l'usine les sacs seront repesés, la qualité des grains à nouveau vérifiée et les sacs séparés selon les variétés et la qualité. Une comptabilité précise du produit entrant sera tenue.

Nettoyage

Il est très important de travailler sur des grains propres, tant pour la longévité du matériel technique que pour la qualité du produit fini. A l'aide d'un nettoyeur les grains de maïs seront dépoussiérés, débarrassés des déchets; de même, un séparateur magnétique placé en tête de l'appareil retiendra tous les objets contenant du fer et mélangés aux grains.

Triage densimétrique

Il faut, si l'on veut stocker ou transformer un produit, avoir une matière première bien propre et homogène, d'où la nécessité d'un triage dit «par densité», très efficace pour séparer les grains sains des pierres et des grains piqués par les insectes et qui risquent de contaminer tout le stock. Ce triage sera effectué par flottation.

Séchage

Pour éviter les risques de pourriture pendant le stockage, les grains sont séchés jusqu'à un degré d'humidité maximal de 15 %. Les grains sont ensuite stockés dans des silos munis d'un système de ventilation et par lequel il est possible d'envoyer des insecticides pour la désinfection du stock.

Trempage

Les grains de maïs propres et bien triés sont mis à tremper dans de l'eau afin de remplir leur péricarpe et pouvoir l'enlever plus facilement par la suite.

Décorticage

Cette opération peut être effectuée à l'aide d'une machine telle que les décortiqueuses à café (procédé Engelberg) disponibles sur le marché local et qui sont largement utilisées actuellement dans les décortiqueries artisanales de maïs. Une grande partie du «son» détaché de l'endosperme (amande) passe à travers la grille de l'appareil.

Flottation

L'opération a pour but de séparer par densité le reste du «son» qui n'est pas passé à travers les grilles du décortiqueur. Cette opération doit se faire assez rapidement pour ne pas humidifier les amandes mais permettre à la potasse de faire son effet.

Séchage

Il est nécessaire de ramener ensuite les produits obtenus à l'humidité de 15 % afin de leur assurer une conversion convenable. L'endosperme sera séché séparément du «son».

Broyage-tamisage

L'endosperme est réduit en poudre à l'aide de broyeurs à meule ou à marteaux selon la grosseur désirée des particules. A l'aide de tamis vibrant les particules obtenues sont triées en fonction de leur taille. Les plus grosses particules sont réintroduites dans le broyeur. Finalement on pourra obtenir deux types de farines commercialisables : l'une à fines particules et l'autre à particules moyennes.

Transformation industrielle

Minoterie

La production de farine de blé est essentiellement celle des grands moulins d'Abidjan (GMA) dont les installations ont une capacité de 700 t/j de grains traités, correspondant à une production annuelle de 150 000 t/an de farine ($285 \text{ j} \times 700 \text{ t} \times 0,75$). En 1979-80, les ventes du GMA ont porté sur 133 420 t de farine, dont 97 000 t pour les boulangeries.

Pâtes alimentaires

La CIPA, filiale de GMA, a produit en 1979-80 environ 1 900 t de pâtes alimentaires à partir de semoule de blé dur importée. Quinze p.cent de cette production ont été exportés.

Biscuiteries

Il existe trois biscuiteries industrielles (CIPA, SABI, Gaufrivoire). La plus importante d'entre elles est la CIPA qui a produit en 1979-80, 2 300 t de biscuits secs dont 44 % ont été exportés au Burkina-Faso, Niger, Mali, Togo et Congo [2].

Boulangeries

La plus grande consommation de pain se fait dans les centres urbains. Le pain fabriqué à partir soit de la farine seule du blé, soit du mélange de blé et de manioc.

Maiseries

L'Institut pour la Technologie et l'Industrialisation des Produits Agricoles Tropicaux (TI-PAT) a procédé en 1974 à des expériences de panification de farines composées comprenant de 10 à 15 % de farine de maïs, il avait conclu sur la possibilité de développer ce produit et proposé la création d'une minoterie de maïs. Cette proposition est restée sans suite.

Projet soja

La première production de soja, obtenue en 1980, a été traitée par l'usine Trituraf (huilerie de coton). La culture du soja n'a pas été développée et le projet soja est resté sans suite.

Conclusion

La transformation des céréales en Côte d'Ivoire est réalisée en grande partie encore au niveau familial où elle concerne uniquement les femmes. Le décorticage et la mouture des céréales sont de plus en plus mécanisés dans les villages. Il n'existe pas de mouture industrielle du mil et du sorgho permettant de fabriquer des produits de qualité susceptibles de concurrencer les produits céréaliers d'importation, notamment dans les centres urbains. L'introduction des farines composées dans les fabrications de pain, pâtisserie, pâtes alimentaires, biscuits, peut permettre de limiter l'importation de la farine de blé. La solution de tous ces problèmes est la transformation régionale des produits vivriers locaux en aliments traditionnels de haute qualité nutritionnelle organoleptique et marchande. Enfin, le maïs est en voie d'expansion rapide en Côte d'Ivoire ainsi que le riz. Ce développement est lié à l'introduction progressive surtout du maïs dans la consommation humaine et animale. Pour la consommation humaine, c'est surtout le maïs blanc, plus ou moins vitreux selon les goûts, qui tendra à se développer car il peut donner lieu à de nombreuses transformations secondaires identiques à celles traditionnellement opérées sur les céréales (mil et sorgho) : «toh», couscous...

Références

1. Statistiques agricoles. (1984). Ministère de l'Agriculture, Côte d'Ivoire.
2. Scetagri (1982). Technologie des céréales traditionnelles dans les pays du Sahel; son rôle dans l'autosuffisance alimentaire, pp. 78-79.
3. Ministère de la Coopération et du Développement, France.

7

Étude d'une ligne semi-industrielle d'usinage du riz

A. BERGERET, J.F. CRUZ, F. TROUDE

Programme de mécanisation post-récolte, CEEMAT-CIRAD, Domaine de Lavalette, Avenue du Val de Montferrand, 34100 Montpellier, France

Résumé

L'usinage mécanique du riz est classiquement réalisé à deux niveaux :

- d'une part, les rizeries industrielles classiques qui produisent un riz de qualité commerciale mais supposent un investissement lourd et un approvisionnement suffisant;
- d'autre part, les décortiqueurs-blanchisseurs artisanaux qui fournissent à faible débit (150 à 250 kg/h) un riz à fort taux de brisures consommé localement.

L'objectif du programme présenté est de créer une ligne de traitement débitant 500 kg/h et composée de modules indépendants pour permettre en s'adaptant aux possibilités de financement et aux conditions de récolte la création en zone rurale d'unités de type semi-industriel aptes à fournir un riz commercialisable en zone urbaine.

Ceci permet d'accroître la plus-value apportée par l'usinage et de la maintenir en zone rurale en facilitant la création d'entreprises par des opérateurs privés ou des groupements ruraux.

La ligne comprend 5 modules : nettoyeurs, séchoir, décortiqueur blanchisseur, trieur, module d'emballage.

L'avancement du programme et les résultats acquis sont présentés.

Transformation du riz

Le riz, troisième production céréalière à l'échelle mondiale, vient en première position dans les pays en voie de Développement et constitue la base de l'alimentation de nombreux pays. En Afrique, sa culture est développée dans de nombreux programmes en culture pluviale ou irriguée. La production est en partie autoconsommée mais participe également à l'alimentation des villes, dont l'approvisionnement est souvent tributaire d'importations coûteuses en devises qui déséquilibrent la balance commerciale de nombreux Etats.

Consommé en grain, et non pas en farine ou semoule, le riz fait appel pour sa transformation à des matériels spécifiques : décortiqueur pour séparer les enveloppes externes (balles) et blanchisseur pour éliminer les couches périphériques et le germe.

Cette transformation est réalisée classiquement à deux niveaux :

— en premier lieu, en milieu traditionnel par pilonnage manuel. Procédé très largement employé mais laborieux, n'autorisant que de faibles débits et n'ayant qu'un rendement faible (inférieur à 60 %) et un taux de brisures élevé (supérieur à 30 %).

— en second lieu, l'usinage industriel en rizerie où les débits sont de plusieurs tonnes par heure. Le riz est usiné dans une succession d'appareils réalisant chacun une opération unitaire. Les diagrammes d'usinage sont au point et les performances techniques satisfaisantes. La généralisation de leur emploi se heurte toutefois à plusieurs difficultés :

- investissement élevé en équipements de stockage et d'usinage,
- frais élevés et longs délais pour l'organisation de la collecte dans un vaste rayon,
- charges fixes élevées et difficultés de gestion.

Entre ces deux niveaux, le stade artisanal (ou semi-industriel) est encore très peu développé en Afrique. Le seul matériel classiquement utilisé est le décortiqueur Engelberg dont le principe est un cylindre métallique horizontal cannelé tournant dans un carter grillagé à sa partie inférieure. Très rustique, ce matériel a un débit de l'ordre de 150-200 kg/h et des performances limitées avec un rendement global de l'ordre de 60 % et un fort taux de brisures (souvent supérieur à 30 %).

Dans le cadre de son programme Mécanisation Post-Récolte, l'un des objectifs du CEEMAT est la mise au point d'une ligne d'usinage artisanale répondant au cahier des charges suivant :

- ligne composée de modules pouvant être acquis indépendamment (séchoir, nettoyeur-séparateur, décortiqueur-blanchisseur, unité d'emballage, générateur d'air chaud à balle de riz)
 - débit minimum 500 kg/h de paddy
 - qualité d'usinage permettant d'améliorer le rendement global et de concurrencer les riz importés sur le marché
 - simplicité de conception facilitant l'entretien et la réalisation locale totale ou partielle.

Conception du décortiqueur-blanchisseur

Le matériel présenté ici est le prototype N° 2 dont la conception résulte des enseignements recueillis par l'étude d'un premier prototype et d'une unité expérimentale.

Il est constitué de modules indépendants superposés :

- Alimentation – Décorticage – Nettoyage – Blanchiment.

Module alimentation

Il se compose d'une trémie de forme pyramidale d'une capacité de 50 litres (suffisante pour une alimentation discontinue à partir de produits en sacs). La base de la trémie est pourvue d'un aimant évitant l'entrée de pièces métalliques dans la machine, d'une trappe d'alimentation et d'une vanne manuelle de réglage de débit. Après essais, il a été possible de supprimer le rouleau engreneur initialement prévu pour régulariser l'alimentation.

Module décortiqueur (fig. 1)

Le principe retenu est celui d'un décortiquage par rouleaux souples. Les balles sont arrachées par cisaillement lors du passage du grain (paddy) en deux rouleaux horizontaux et tangents tournant en sens inverse à des vitesses différentes.

Caractéristiques techniques

Dimensions des rouleaux. Les dimensions retenues : diamètre 165 mm, longueur 127 mm correspondant aux dimensions standard des rouleaux couramment commercialisés de façon à faciliter l'approvisionnement en pièces de rechange.

Nature des rouleaux. Suite à des essais réalisés dans les rizeries de Camargue, nous avons choisi, comme matériau constitutif des rouleaux, un élastomère de la famille des caoutchoucs de polyuréthane dont la résistance à l'abrasion est réputée être très supérieure à celle des caoutchoucs naturels et des autres caoutchoucs synthétiques. Nous poursuivons des essais d'endurance avec ce matériau. La confection des rouleaux, réalisée par moulage d'un matériau souple sur un noyau métallique, pourrait être l'objet de création d'une petite industrie de fabrication dans les pays utilisateurs.

Entraînement des rouleaux. Les arbres des rouleaux sont entraînés par un système pignons et chaîne. Cet entraînement de type «positif» a été préféré à un entraînement par poulies et courroies; il permet d'éviter les phénomènes de glissement et maintient constante la différence de vitesse périphérique entre les rouleaux.

Vitesses de rotation, écartement des rouleaux. La différence de vitesse tangentielle entre les rouleaux est d'environ 3,5 m/s. L'écartement peut être réglé par action sur une manette placée sur un côté de la machine.

Enfin, un amortisseur de chute, placé à la verticale du passage entre les rouleaux, ralentit la vitesse d'entrée dans le module nettoyeur du mélange riz cargo-balles.

Module nettoyeur

En tête du module, un plan incliné muni de barrettes verticales divise et élargit le flot de produit cargo-balles sortant du décortiqueur. Le mélange chute ensuite dans la chambre de nettoyage où il est traversé par un flux d'air créé par un ventilateur centrifuge. Les produits légers (balles, immatures, pailles) sont évacués par ce flux d'air à l'extérieur de la machine. Le cargo ainsi nettoyé peut être dirigé soit hors de la machine (sortie cargo), soit vers le module blanchisseur au moyen d'un simple volet basculant.

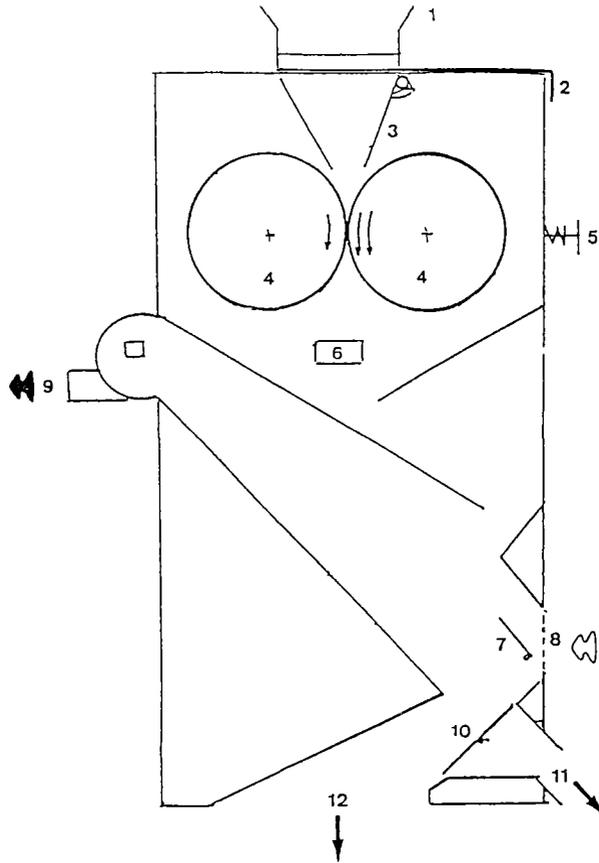


Figure 1. Schéma de l'ensemble décortiquage-nettoyage.

1. Trémie d'alimentation. 2. Trappe d'alimentation. 3. Vanne de réglage de débit. 4. Rouleau. 5. Manette de réglage des rouleaux. 6. Amortisseur de chute. 7. Volet de réglage du flux d'air. 8. Grille d'aspiration d'air. 9. Sortie des balles. 10. Vannes de sortie du cargo. 11. Sortie cargo. 12. Sortie vers le blanchisseur.

Module blanchisseur (Fig. 2)

Le principe retenu est celui d'un blanchiment par friction et abrasion combinées. Dans la chambre de blanchiment les grains sont usinés en couche épaisse entre des grilles extérieures et un cylindre abrasif central.

Le cylindre central est constitué :

- d'une vis d'alimentation en aluminium qui force l'entrée du produit dans la chambre.
- d'un empilement de meules abrasives.

Deux grilles en tôle perforée entourent ce cylindre. Elles sont montées sur un bâti amovible permettant leur démontage rapide pour l'entretien.

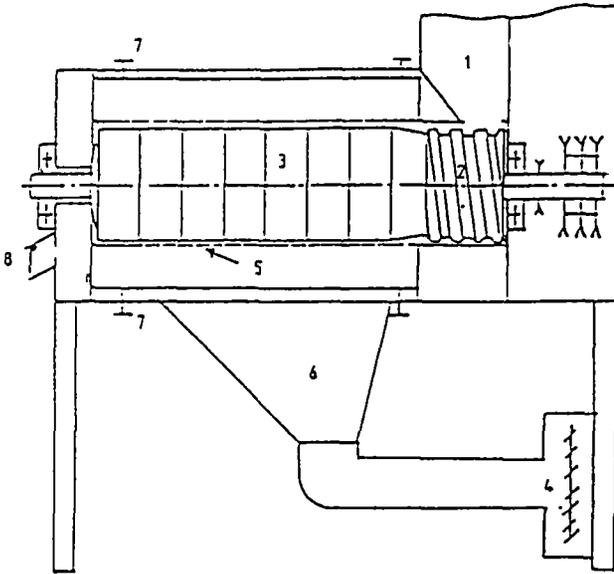
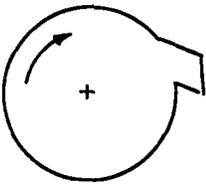


Figure 2. Schéma du module «blanchisseur».

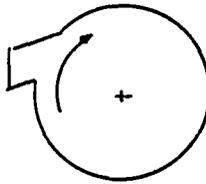
1. Entrée du riz cargo.
2. Vis d'alimentation.
3. Cylindre abrasif.
4. Ventilateur d'aspiration des sons.
5. Grille.
6. Trémie de récupération des sons.
7. Freins.
8. Sortie du riz blanchi.

En parties supérieure et inférieure de la chambre de blanchiment, deux freins longitudinaux réglables ont été disposés parallèlement à l'axe du cylindre central.

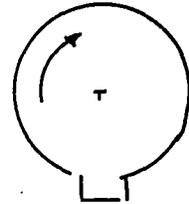
A l'extrémité de la chambre de blanchiment une volute réglable permet de disposer la sortie «riz blanc» à différents niveaux.



Position N° 1
sortie dans le sens
de rotation du cylindre



Position N° 2
sortie sens opposé à la
rotation du cylindre



Position N° 3
sortie
ventrale

Enfin, la chambre de blanchiment est pourvue d'une trémie de récupération des sons qui sont évacués par un ventilateur centrifuge.

Caractéristiques techniques

Elles ont été définies à partir d'un «pilote» sur lequel ont été étudiés différents paramètres :

- dimensions du cylindre abrasif
- vitesse de rotation du cylindre

- constitution et granulométrie des meules
- dimensions de la chambre de blanchiment
- type de grilles
- matériau constitutif des freins : acier, polyuréthane caoutchouc naturel, résines thermoplastiques.

Les caractéristiques retenues sont les suivantes :

- cylindre abrasif : longueur totale : 600 mm, diamètre : 200 mm; vitesse de rotation du cylindre : 1 400 t/mn; meules de granulométrie moyenne.
- dimension de la chambre (espace grille-cylindre) : 7 mm.
- grilles à trous longs
- freins métalliques

Entraînement de la machine

Pour les essais, la machine a été entraînée par un moteur électrique de 13 kW équipé d'un embrayage manuel. L'ensemble des transmissions est réalisé par poulies et courroies trapézoïdales.

Caractéristiques générales

Largeur : 0,70 m, longueur : 1,20 m, hauteur : 2,10 m.

Poids approximatif : 550 kg.

L'unité de décorticage-blanchiment a été conçue en tenant compte des contraintes suivantes :

- limitation du nombre de réglage
- uniformisation de la boulonnerie utilisée
- bonne accessibilité aux organes d'usure
- standardisation des éléments constitutifs nobles : poulies, courroies, chaîne, pignon.

Essais du prototype n° 2

Les essais ont été réalisés avec du riz long de Camargue à 13-14 % d'humidité.

Essais de décorticage

Le réglage de tout dispositif de décorticage est toujours un compromis entre l'obtention d'un taux élevé de grains décortiqués et le maintien du taux de brisures dans une limite tolérable.

Réglage de l'écartement entre les rouleaux.

Le taux de décorticage dépend directement de l'espacement entre les rouleaux comme le montrent les résultats du Tableau I.

Le meilleur décorticage est donc obtenu pour un écartement des rouleaux de 0,4 mm.

Tableau I

Ecartement des rouleaux en mm	Grains non décortiqués (%)
0,25	12,4
0,30	12,8
0,35	11
0,40	10
0,50	11,5
0,55	12

Essais de décortiquage. Réglage de la machine

Différence de vitesse tangentielle entre rouleaux : 3,5 m/s.

Espacement entre les rouleaux : 0,4 mm.

Pour un débit en paddy de 500 kg/h, on obtient :

- un rendement de décortiquage de 80 %
- un taux de décortiquage de 92 % à 94 %
- un taux de brisures en cargo variant entre 3 % et 4 %

Tableau II

Essais	n° 1	n° 2	n° 3
Poids de l'échantillon (g)	5 000g	10 000g	15 000g
Durée de décortiquage (s)	36"	70"	105"
Débit (kg/h)	500	514	514
Poids de produit en sortie cargo (g)	4 000g	7 950g	12 030g
Rendement de décortiquage (%)	80 %	79,5 %	80,2 %
Poids de paddy dans le cargo (g)	320 g	470 g	750 g
Taux de décortiquage (%)	92 %	94 %	94 %
Taux de brisures (%)	3,7 %	4,2 %	3,3 %

Essais de nettoyage

Les différentes parties du mélange sortant du module décortiqueur (cargo, paddy non décortiqué, balles, et impuretés diverses) sont séparées par ventilation dans le module nettoyeur. Différentes géométries de chambres ont été testées afin de définir les vitesses d'air permettant cette séparation.

Les vitesses critiques définies expérimentalement sont :

- arrachement et transport des balles et grains vides : $V > 6$ m/s.
- non-entraînement du cargo et du paddy non décortiqué : $V < 4$ m/s.

Essais de blanchiment

Variantes étudiées. Lors des essais de blanchiment, les trois positions de la «sortie riz blanc» ont été testées :

1. sortie haute latérale (sens de rotation du cylindre)
2. sortie haute latérale (sens inverse de rotation du cylindre)
3. sortie basse centrale.

Ces trois séries d'essais ont été réalisées avec différents réglages de freins.

Les tests d'usinage ont porté sur des échantillons de paddy de 20 kg, et la mesure du taux de brisures a été faite à partir d'échantillons de 100 g.

Les résultats d'essais sont donnés dans les tableaux III, IV et V.

Tableau III. Sortie du riz blanc en position n° 1. Riz long, Humidité : 14 %, Température : 27,5°C.

Débit (kg/h)	Réglage freins (en mm)		Θ Sortie (°C)	Rendement usinage (%)	Taux de brisures (%)
	Inf.	Sup.			
570	4	4	42	66,3	24,2
570	4	5	42,7	65,7	23,6
570	4	7	41,5	68,4	23,5
570	5	4	41,5	68,4	24
570	5	5	41	68,5	23,3
570	5	7	42	69,5	22,4
570	6	4	39,2	67,3	24,6
570	6	5	40	68,7	23,3
570	6	6	40	68,8	23,3
570	6	7	40,5	67,3	24,3
570	7	4	39	67,3	22,9
570	7	5	41	65	23,7
570	7	6	41	64	23,4

Résultat : Le rendement d'usinage reste en permanence inférieur à 70 % avec un taux de brisures élevé (20 %).

Analyse des résultats. La Position n° 1 pour la sortie riz blanc conduit à des taux de brisures nettement trop importants (> 20 %) et doit être définitivement abandonnée.

La Position n° 2 est préférable car elle permet un rendement d'usinage proche de 70 % avec des taux de brisures assez peu élevés (10 % à 15 %). Cette dernière disposition semble assurer un meilleur remplissage de la chambre de blanchiment et donc un meilleur usinage du produit. On note ici une certaine influence du réglage des freins. Un écartement entre meule et freins de 4 mm entraînant toujours un taux de brisures supérieur à 14 %. Au delà de 4 mm, une analyse statistique multicritères serait nécessaire pour préciser l'influence des différents paramètres et en particulier celle des freins.

La sortie basse, enfin, conduit à des rendements d'usinage très élevés (toujours supérieurs à 70 %) avec des taux de brisures toujours inférieurs à 10 %. Le produit est peu travaillé et peu brisé. Là encore, le réglage des freins ne semble pas avoir une influence significative sur les rendements.

Étude d'une ligne semi-industrielle d'usinage du riz

Tableau IV. Sortie du riz blanc en position n° 2. Riz long, Humidité : 14 % Température : 22°C.

Débit (kg/h)	Réglage freins (en mm)		θ Sortie (°C)	Rendement usinage (%)	Taux de brisures (%)
	Inf.	Sup.			
550	4	4		69	14,8
576	4	5	36	68	14,2
568	4	7	34	69	14,6
541	5	5	35,3	68,7	13,4
555	5	6	36	68	13,6
540	5	7	33	71,1	13,9
555	6	4		70,3	14,9
527	6	5	35	70,5	13,9
580	6	7	34,5	70,3	10,3
546	7	4		69,2	14,9
419	7	5	34	70,2	10,6
441	7	6	33	72	10,7
576	7	7	37	70,3	10,7

Résultat : Le rendement d'usinage est proche de 70 % avec un taux de brisures variant entre 10 % et 15 %.

Tableau V. Sortie du riz blanc en position basse n° 3. Riz long, Humidité : 14 %, Température : 19°C.

Débit (kg/h)	Réglage freins (en mm)		θ Sortie (°C)	Rendement usinage (%)	Taux de brisures (%)
	Inf.	Sup.			
526	4	4	32	73,7	8,6
520	4	5	31	74,6	9,1
562	4	6	33	75	9,5
514	4	7	30	74,7	8,8
526	5	4	30	73	8,6
572	5	5	35,8	72	8,6
500	5	6	32	72,8	8,7
526	5	7	32	76,8	8
552	6	4	34,5	75,3	10,1
569	6	5	33	74,5	9
500	6	6	30	75,2	8,2
514	6	7	32	74	8,5
532	7	4	31	73,7	9,4
540	7	5	30	71,8	8,4
514	7	6	31	74,7	8,2

Résultat : Le rendement d'usinage est toujours supérieur à 70 % et le taux de brisures inférieur à 10 %.

Conclusion

Les différents essais réalisés en France au cours de cette étude sont très encourageants et seront, nous l'espérons, confirmés par des essais de longue durée en Afrique (prévus au cours du 2^e trimestre 1988 à la SAED-Sénégal).

Les résultats intéressants obtenus permettent d'envisager, pour un proche avenir, la mise sur le marché d'une machine performante s'inscrivant dans le cadre d'une modernisation des unités artisanales de transformation du riz.

8

Simplification d'une décortiqueuse en vue d'une fabrication artisanale

J. NANCE

Catholic Relief Service (CRS). The Gambia program. P.O. Box 568, Banjul, Gambie

Résumé

A partir d'une décortiqueuse développée par PRL (Canada) pour le CRDI, l'auteur réalise une adaptation aux conditions d'une utilisation rurale en Gambie : l'appareil testé par le CRS pendant 3 ans est désigné sous l'appellation : «Mini-CRS-Dehuller».

L'objectif de rusticité consiste à n'utiliser que des pièces simples et des matériaux aisés à se procurer localement. De géométrie identique au modèle PRL mais considérablement simplifiée, la machine peut être installée sur un moteur électrique ou diesel pour environ 800 US \$.

Introduction

Une décortiqueuse à disque abrasif, pouvant traiter des lots allant jusqu'à 7 kg a été mise au point par le «Prairie Research Laboratory» (PRL) au Canada pour le Centre de Recherche en matière de Développement International (CRDI). Elle avait tout d'abord été conçue pour servir de prototype d'essai en laboratoire mais il est apparu que sa taille correspondait parfaitement aux besoins des régions rurales en Afrique Occidentale, où les femmes ont l'habitude d'apporter en moyenne 5,2 kg de céréales à traiter à la fois et veulent récupérer leurs propres céréales décortiquées.

C'est ainsi qu'un modèle a été testé dans un village de Gambie par les Services du Secours Catholique (CRS) dans une minoterie alimentée par moteur diesel. Les résultats furent excellents pendant plus de deux ans mais des problèmes d'entretien se sont posés. Les habitants du village ont montré une nette préférence pour les céréales décortiquées mécaniquement bien

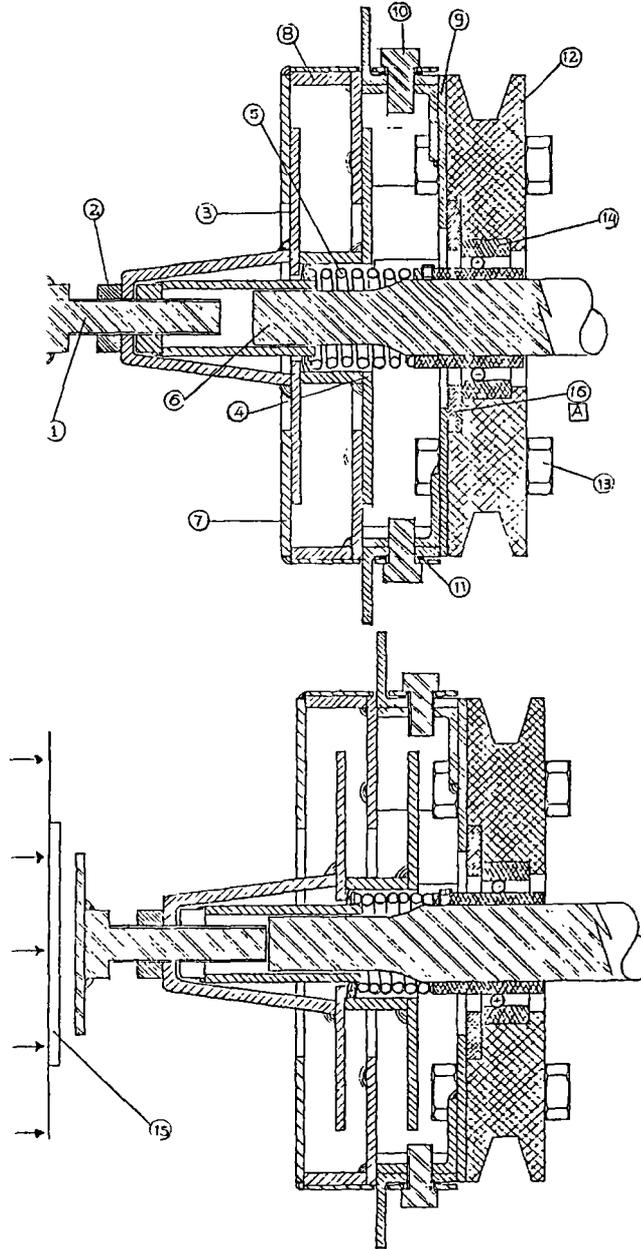


Figure 1. La décortiqueuse gambienne Mini-CRS. Assemblage général de l'embrayage.

qu'il ait fallu expérimenter des procédés de nettoyage et de cuisson pendant un certain temps avant que le système dans son intégralité ne devienne opérationnel. Les principaux problèmes rencontrés concernaient les matériaux (fissurations, détériorations mécaniques).

Parallèlement, on avait conçu et réalisé localement un système de remplacement fondé sur les mêmes principes mais en utilisant autant que possible des matériaux existant dans les régions rurales de Gambie et en n'ayant recours qu'aux techniques de fabrication disponibles. Un projet conjoint du CRDI et du CRS est alors né et l'appareil a été testé pendant environ trois ans.

Pendant cette période, le choix s'est porté sur le deuxième modèle mais une attention particulière a été accordée aux questions de fiabilité et de tolérance concernant la fabrication. Une série préliminaire de plans a été réalisée courant 1986 en adoptant une tolérance de base de +/- 3 mm qui correspondait aux capacités de précision de fabricants même analphabètes. Ces schémas ont conduit à des essais et des machines fabriquées par des artisans sur cette base et avec l'aide d'un prototype, sans supervision directe, ont été testées et continuent de l'être pour en vérifier la fiabilité. Certaines modifications mineures ont été et sont encore pratiquées mais le projet est sur le point d'aboutir à un système commercialisable. On l'a nommé la Mini-Décortiqueuse CRS.

Précisions concernant les modifications

La décortiqueuse possède deux modes d'utilisation fondamentale : le fonctionnement simple et direct avec un moteur électrique s'arrêtant entre les lots, et la transmission à courroie avec un moteur diesel qui tourne de façon continue couplé à un embrayage qui permet d'arrêter l'arbre au moment du déchargement. Toutes les modifications aboutissant à la version à transmission directe ont été testées pendant plus de deux ans sans qu'aucun problème ne se pose et le modèle a fonctionné tous les jours pendant plus de vingt mois dans un centre d'exploitation commerciale. On ne reverra donc plus cette partie de la conception, et la fabrication de décortiqueuses de ce type destinées à la vente en Gambie a commencé.

La conception d'un système d'embrayage réalisable par des artisans n'utilisant que des outils manuels et pouvant néanmoins fonctionner constamment à environ 2 000 t/min s'est avérée plus difficile. Plusieurs prototypes ont été exploités sans problème pendant plus d'un an mais des fêlures sont apparues récemment en raison de l'usure et nécessitent de revoir l'épaisseur des pièces et des rayons. Cette partie du système fait donc encore l'objet d'études, la fabrication et l'utilisation n'étant autorisées qu'avec un contrôle.

Ces modifications peuvent être classées en quatre catégories : (1) modifications internes du tambour; (2) renforcement ou simplification du tambour et de l'armature de soutien; (3) transformation des commandes soit pour faciliter la fabrication, soit pour réduire l'usure, soit pour faciliter l'utilisation; (4) modification du système d'embrayage.

Modifications internes

Angle des disques extérieurs

Le PRL avait défini un angle de 6° pour les disques extérieurs afin d'éviter les points morts; cependant, comme la vitesse n'est pas contrôlée régulièrement dans les villages, cela peut entraîner des tensions sur les limites recommandées aux fabricants, conduisant à une rupture,

fréquentre des disques. La Mini CRS utilise un angle de 5° et aucune rupture ne s'est produite en près de trois ans.

Complexité de l'arbre

Le PRL avait mis au point un arbre de fabrication et de mécanisme complexes nécessitant un atelier d'usinage très bien équipé et des mécaniciens qualifiés. La Mini-CRS possède un arbre simple en acier «brillant»; le serrage des disques se fait par extension des barres d'espace-ment non ajustées en aluminium, de façon à remplir la distance entre les roulements, et le serrage final se fait par un espacement ajustable avec trois boulons de 8 mm équidistants. Encore une fois, il n'y a eu aucun problème pendant trois ans.

Fuite de céréales

Le PRL utilisait un joint d'étanchéité en caoutchouc pour empêcher les pertes à travers le couvercle mais celui-ci a commencé à prendre du jeu au fur et à mesure de l'utilisation et les tentatives de réparation n'ont abouti qu'à de plus fortes pertes. La Mini-CRS est équipée de déflecteurs simples en équerre soudés au tambour, de plaques latérales et d'un couvercle de façon à renvoyer les grains vers l'intérieur. Ceci a parfaitement fonctionné pendant près de trois ans bien qu'il continue à se produire de faibles fuites de sons du fait du mauvais ajustement des couvercles. Dans deux cas, les soudures ont lâché à cause des vibrations.

Renforcement ou simplification

Charnière du couvercle

Le PRL utilisait une charnière de piano en longueur continue, ce qui convient pour empêcher les fuites de matières, mais n'est pas disponible en Afrique et insuffisamment résistant; de plus, il fallait remplacer toute la longueur en cas de détérioration. La Mini-CRS utilise des gonds de porte qui peuvent être obtenus sur place, sont plus solides et peuvent être facilement et individuellement remplacés. Un déflecteur placé en dessous empêche les fuites de grains. Encore une fois, sur une période de près de trois ans, seulement deux unités ont dû être remplacées en raison de l'effet de la fatigue due à la fréquence d'ouverture du couvercle. Ce problème a été résolu au cours de ces deux dernières années en adaptant un taquet qui bloque le couvercle à la manivelle du tambour.

Assemblage de l'armature et des glissières

Le PRL avait fabriqué son modèle avec des plaques de tôle de 3 mm coupées et pliées par des presses à moteur et cependant des fêlures importantes se sont produites surtout au niveau des écrous maintenant les roulements. La Mini-CRS est constituée de plaques en équerre de 40 mm, offrant une symétrie et une précision suffisantes grâce à l'utilisation de calibres. Les barres transversales permettent de construire la glissière simplement avec une seule plaque de tôle fine (1,5 mm). En près de trois ans, trois ou quatre fêlures seulement se sont produites et toutes ont pu être facilement réparées. Toutes étaient localisées au point de jonction (peu important) de l'armature latérale, de la barre transversale et de la glissière ce qui semble indiquer qu'il existe un problème de tension secondaire lorsque la glissière est ajustée; par conséquent, il faudra revoir cette partie et éventuellement en modifier légèrement la conception. Il convient de signaler que ces fêlures n'ont pas eu d'effet sur l'utilisation.

Simplification d'une décortiqueuse

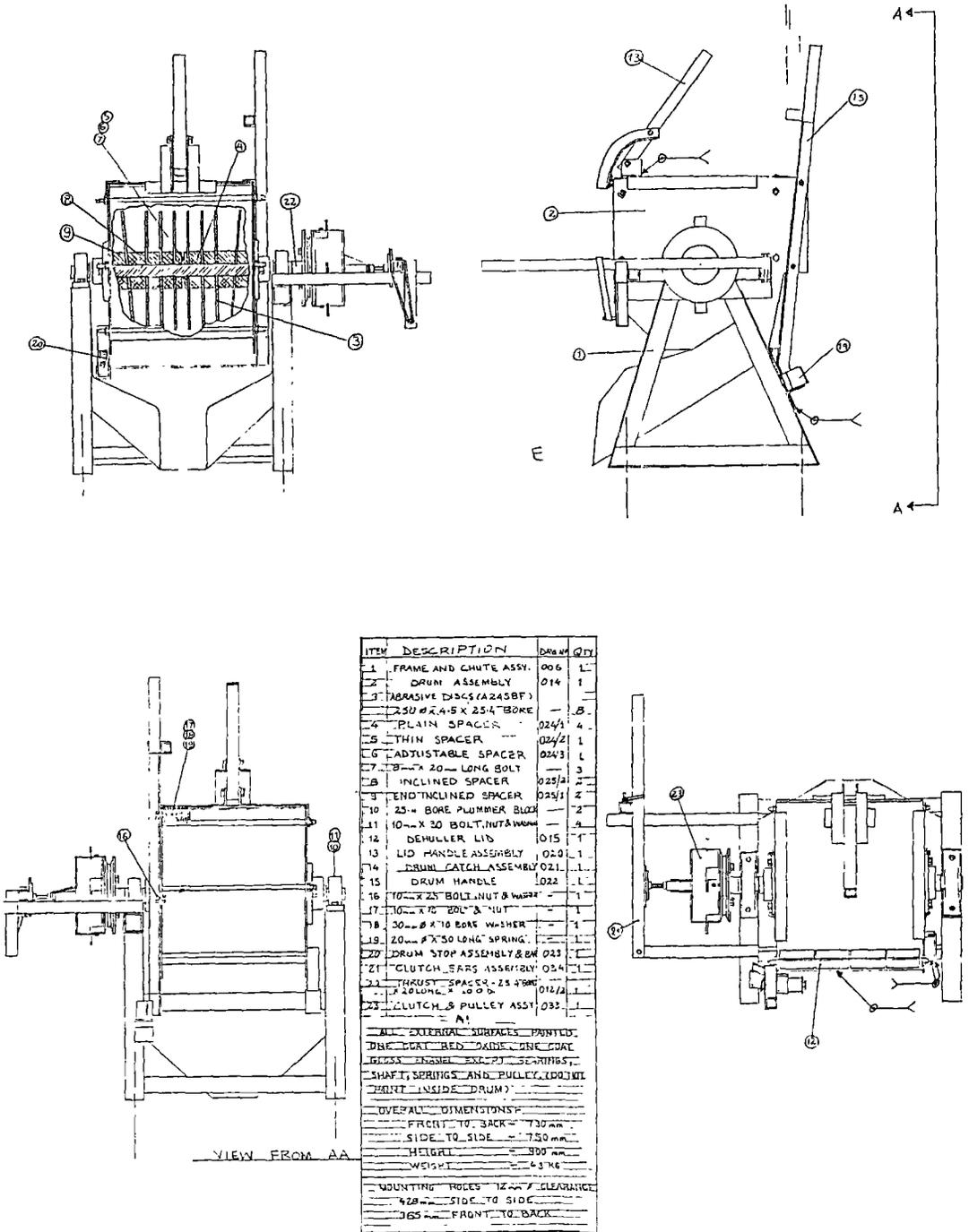


Figure 2. La décortiqueuse Mini-CRS. Assemblage général.

Modification des commandes

Verrouillage du couvercle

Le PRL avait équipé son modèle d'un simple verrou à cale qui fonctionnait bien à l'origine mais n'a pas pu être ajusté lorsque l'usure est apparue. Les utilisateurs devaient donc fixer ce couvercle avec des liens, etc. La Mini-CRS utilise une attache à levier fabriquée en équerre. C'est un procédé plus résistant et en trois ans environ seulement deux modèles ont dû être réajustés. Etant donné que cette attache a la forme d'un crochet recourbé, on peut l'ajuster facilement avec un marteau.

Loquet du tambour

Le PRL utilisait une cheville à ressort, dans un trou sur la plaque de gauche. Ceci s'usait très rapidement et produisait vibrations et bruits. Pour mettre le système en marche, l'utilisateur devait faire le tour de la machine deux fois pendant le cycle de chargement et de déchargement. La Mini-CRS possède une longue manivelle en équerre à la portée de l'utilisateur, situé à l'avant et à droite, qui se déclenche avec un loquet à cale sur l'armature. Le retour se produit de façon automatique et tout utilisateur peut à présent effectuer le cycle de chargement/déchargement en moins de 15 secondes. Ce système a fonctionné pendant plus de deux ans mais, comme l'usure et le bruit restaient importants, il a été adapté un ressort d'arrêt pour atténuer les vibrations et donner une certaine liberté au système de verrouillage automatique. Ce dispositif modifié a été utilisé avec succès pendant plus de 20 mois.

Système d'embrayage

Le PRL utilisait un système d'embrayage à «billes» de verrouillage, ce qui ne provoquait pas un échauffement trop grand à l'arrêt, bien qu'il y ait une forte usure des chevilles qui le connectaient au levier de commande; toutefois, il causait un fort échauffement des roulements lorsqu'il était en état de marche (la plupart du temps lorsqu'il fonctionnait pour tout le village) conduisant presque à la panne. Il a complètement cessé de fonctionner en moins de six mois. La Mini-CRS utilise un système à double plaque sèche en tôle et boulonné à une poulie en aluminium qui tourne librement sur un roulement. Lors de la marche, tout l'assemblage est relié par un ressort et tourne librement comme un système de transmission pour entrer en contact avec l'armature ou le levier de commande. Pour arrêter la transmission, on tire le levier et on le verrouille, ce qui déclenche un frein sur l'extrémité extérieure de l'embrayage, arrête l'arbre et comprime le ressort en même temps, sépare les plaques de l'embrayage et permet à la poulie de continuer à tourner librement avec la courroie, avec seulement une friction mineure dans l'unité de roulement à billes. Quelques problèmes ont été soulevés par ce système d'embrayage, notamment au niveau du tambour de l'embrayage extérieur qui effectue la transmission et en raison des normes de qualité des poulies qui sont fabriquées dans des ateliers locaux mal équipés et sans tourneurs qualifiés. Cependant, de légères modifications pratiquées récemment : installation d'une attache pour le roulement et réduction de la tension au niveau du tambour, semblent avoir résolu ces problèmes. Nous ne possédons pas encore d'informations complètes sur le fonctionnement régulier du dernier modèle dans son intégralité. La question de la poulie semble avoir été résolue (aucune défaillance en plus de six mois) mais les essais des derniers modèles de tambour pour l'embrayage ont été faussés par l'utilisation, de la part des artisans, de tôle trop fine (1,2 mm au lieu de 1,5) et il est probable qu'il faudra augmenter cette épaisseur par sécurité.

Performance et rentabilité

Les Mini-Décortiqueuses CRS ont maintenant fonctionné sous surveillance pendant plus de deux ans. Des essais très complets ont notamment été réalisés avec un modèle installé sur moteur électrique dans une minoterie commerciale, située dans une ville de province. Le modèle a parfaitement fonctionné pour tous les types de céréales ayant fait l'objet de tests, bien que des disques différents aient été essayés conduisant à des résultats sensiblement différents. On procède encore à l'heure actuelle à l'étude des données mais on sait dès à présent, qu'une estimation précise du niveau d'alimentation nécessaire et de l'énergie consommée pendant le décortiquage de chaque type de lot de céréales, sera bientôt disponible. Les essais comparatifs réalisés avec des moteurs diesel installés dans les villages aboutissent à des taux de rentabilité très bas mais encore une fois il faut continuer l'étude de cet aspect. Les céréales traitées en Gambie consistaient essentiellement en du petit mil («Bullrush» Millet, *Pennisetum typhoideum*), des quantités moins importantes de sorgho (Red Sorghum, *Sorghum vulgare*), de sorgho blanc (White Sorghum, *Sorghum margaritifera*), et de maïs (*Zea Mays*); de plus, de petites quantités de findi (*Digitalia exilis*), de riz et de sésame ont été traitées avec succès.

Ces décortiqueuses coûtent de 650 à 800 \$US selon le système de transmission. Le matériel auxiliaire, comme l'armature de base, la vanneuse manuelle et les poulies, coûte entre 250 et 450 \$US selon l'installation tandis qu'un moteur électrique approprié et un démarreur peuvent être obtenus localement pour environ 400 \$US; on n'inclut pas le prix d'un moteur diesel étant donné que l'énergie de réserve d'une minoterie fonctionnant avec un diesel est largement suffisante pour alimenter la Mini-CRS et que l'on n'envisage pas qu'une décortiqueuse soit installée dans une zone rurale sans qu'il y soit associée une telle unité. Le coût total d'une Mini-Décortiqueuse CRS dans une minoterie, en y incluant le coût des bâtiments locaux va donc de 1350 à 1650 \$US.

Le revenu journalier du processus de décortiquage va de 3,20 à 5,50 \$US selon le prix et le marché local tandis que les coûts d'exploitation, combustible (gas oil ou électricité), remplacement des disques, salaires du personnel, réparations et divers permettent un bénéfice journalier allant d'environ 1,60 à 4,30 \$US. On amortirait donc l'acquisition de la machine (en tenant compte de la dépréciation et des intérêts) en 17 à 67 mois d'utilisation. Les chiffres indiqués ci-dessus proviennent de statistiques de fonctionnement des minoteries en Gambie. Ils se fondent sur un tarif de 0,02 à 0,03 \$US par kilogramme, appliqué aux clientes individuelles qu'elles soient membre d'une association villageoise ou de passage dans un centre commercial. En Gambie, il faut à une femme de la campagne environ deux à trois heures pour gagner de quoi payer le traitement (mouture et décortiquage) d'une quantité suffisante de céréales pour nourrir les siens pendant deux jours. La durée du traitement traditionnel (pilage manuel) est d'environ quatre heures donc les femmes d'un groupe gagnent en une semaine plus de trois heures en temps de préparation de la nourriture grâce à la mécanisation et la communauté réalise également des bénéfices supplémentaires avec les légumes, denrées ou objets artisanaux produits par les femmes pour payer ce traitement.

Sans décortiquage mécanique, le gain de temps réalisé uniquement sur la mouture (environ une heure et demie tous les deux jours) est entièrement consommé par les tâches supplémentaires effectuées pour la payer tandis qu'un système complet permet de réaliser une nette économie de temps.

9

L'expérience sénégalaise dans le domaine de la transformation primaire des céréales locales : bilan et perspectives

M. DIOUF

Institut de Technologie Alimentaire (ITA), B.P. 2765, Dakar, Sénégal

Résumé

Au Sénégal comme dans la plupart des pays en voie de développement, notamment ceux du Sahel, les céréales constituent la base de l'alimentation des populations rurales et urbaines. La production nationale ne couvre que partiellement les besoins.

Le déficit céréalier est comblé par les importations commerciales et l'aide de la communauté internationale. Dans ce cadre, le riz et le blé représentent environ 90 % des importations.

Le gouvernement s'est fixé en conséquence des objectifs dans le cadre de sa politique d'auto-suffisance alimentaire. Ces objectifs sont matérialisés par une politique céréalière volontariste :

— 1974, «Loi-Programme Agricole»,

— 1976, rapport sur les «Actions Planifiées de Production céréalière, 1977-1985», dont la synthèse a abouti au «Plan d'Investissement Alimentaire» qui visait la couverture de 92 % des besoins céréaliers par la production nationale en 1985,

— 1984, la «Nouvelle Politique Agricole» met l'accent sur la culture du maïs tout en préservant les acquis en ce qui concerne le mil et le sorgho.

Cette grande volonté d'accroître la production céréalière se justifie par les habitudes alimentaires sénégalaises. En effet, les produits céréaliers entrent dans la composition des principaux repas sous des formes diverses :

— à partir de la farine de mil, sorgho et maïs : bouillies, pâtes, couscous, beignets;

— à partir des semoules : bouillies, pâtes;

— à partir des brisures : bouillies, plats cuits à l'huile ou à l'eau, avec ou sans sauce.

Place et importance des céréales dans l'agriculture

Au Sénégal comme dans la plupart des pays en voie de développement, notamment ceux du Sahel, les céréales constituent la base de l'alimentation des populations rurales et urbaines.

Plusieurs espèces et variétés de céréales sont cultivées mais les principales sont : les mils (millets) et sorghos, le maïs et le riz. La production nationale ne couvre cependant que partiellement (60 %) les besoins, les mils et sorghos représentant la part la plus importante. Le déficit céréalier est comblé par les importations commerciales et l'aide alimentaire de la communauté internationale sous formes diverses. Dans ce cadre, le riz et le blé représentent environ 90 % des importations.

Ainsi, au cours des dernières années, les importations commerciales de riz ont atteint 320 000 tonnes en moyenne et celles de blé 82 000 tonnes, quantités auxquelles il faut ajouter l'aide alimentaire dont environ 27 000 tonnes de blé.

En conséquence, la dépendance céréalière vis-à-vis de l'extérieur a pesé annuellement pour plus de 500 000 tonnes évaluées à plus de 50 milliards de francs CFA, compte non tenu des produits dérivés des céréales tels que biscuits et aliments pour groupes particuliers (enfants, malades...).

Ces chiffres d'autant plus préoccupants que la production nationale est caractérisée par son irrégularité (cycle de sécheresse et attitude des paysans) ont amené le gouvernement à se fixer des objectifs dans le cadre de sa politique d'autosuffisance et de sécurité alimentaire. Ces objectifs ont été matérialisés par les étapes suivantes :

1974 : Loi-Programme Agricole

Elle avait pour objet de «faciliter le financement d'investissements destinés à contribuer à la résorption progressive du déficit vivrier du Sénégal»; un programme d'ensemble des actions à mettre en oeuvre avait été préparé à tous les niveaux (recherche agronomique, production de semences, approvisionnements en intrants, infrastructures agricoles).

La surestimation des prévisions de production et de ressources nécessaires au financement des actions n'a pas permis la réalisation des effets escomptés.

1976 : Plan d'Investissement Alimentaire

Ce plan a défini en termes qualitatifs et quantitatifs les problèmes alimentaires et proposé des solutions dans le cadre d'une politique intégrée pour couvrir 92 % des besoins céréaliers en 1985 et réduire les importations de produits céréaliers à 75 000 tonnes.

Il s'agissait en matière de politique céréalière de maintenir les programmes de cultures irriguées et de poursuivre une «politique délibérée» pour accélérer de façon marquée des programmes de culture pluviale.

La promotion de la consommation grâce à une meilleure transformation, une politique de prix adéquate et une bonne organisation de la commercialisation sur toute la filière devaient sous-tendre cette politique céréalière.

1984 : La Nouvelle Politique Agricole

Fondée sur le «désengagement de l'Etat» et la «responsabilisation» du producteur, elle met l'accent sur le développement de la production de maïs tout en maintenant les acquis en ce qui concerne les mils et sorghos.

L'insuffisance des facteurs de production qui ne sont plus donnés à crédit comme par le passé et l'état d'organisation de la commercialisation n'ont pas encore permis de constater d'amélioration significative.

Formes de consommation

Cette volonté d'accroître la production céréalière se justifie par les habitudes alimentaires sénégalaises : les produits céréaliers entrent en effet dans la composition de tous les repas principaux, sous formes diverses.

A partir des farines, le principal plat est le couscous : fins granulés agglomérés par brasage et cuits à la vapeur. Le couscous auquel est mélangé le «lalo» (solution visqueuse de gomme ou poudre de feuilles de baobab) est mangé avec une sauce ou du lait frais ou caillé. Le couscous est fermenté ou non selon les goûts des ethnies. On prépare également des bouillies d'épaisseurs (viscosités) diverses à partir de la farine agglomérée ou non, des pâtes telles que le «sangle» ou «lakh» et des beignets.

A partir des semoules, préparation de pâtes et bouillies.

A partir des brisures. Les brisures de mil mais surtout de maïs obtenues par broyage peuvent être utilisées dans la préparation des plats habituellement à base de riz et cuits à l'eau ou au gras. Cette forme de consommation est particulièrement courante dans les zones maïsicoles.

Transformation primaire des céréales locales

La transformation primaire a pour finalité la fabrication de produits finis crus tels que farines, semoules et brisures. Nous traiterons successivement de la technique traditionnelle, de la mécanisation ou technique artisanale et de la technique industrielle.

Technique traditionnelle, indigène ou villageoise

Elle est basée sur l'emploi du moteur et du pilon de bois et comprend deux phases principales : le décorticage et le broyage.

Le décorticage consiste à humidifier le grain nettoyé au préalable puis à le piler vigoureusement dans le mortier pendant une durée variable en fonction de la nature du grain et de l'énergie transmise par la personne.

L'humidification confère à l'enveloppe du grain une certaine souplesse, ce qui contribue à préserver l'intégrité du grain et facilite le décorticage. Au terme de l'opération, la séparation du son et de l'amande se fait par vannage et/ou tamisage.

Les grains décortiqués sont alors lavés à grande eau et égouttés. Cette opération permet de parfaire la séparation du son et de l'amande mais aussi d'éliminer les petites pierres et le sable

par l'immersion et transvasement sélectif. Après égouttage, le grain est à environ 30 % d'humidité.

Le grain est ensuite mis au repos pendant une durée variable, ce qui permet d'homogénéiser l'humidité et d'accroître la friabilité de l'amande mais aussi de le faire fermenter en fonction des goûts.

Le broyage ou la mouture est la seconde phase de pilage qui se fait avec le même mortier et le même pilon. Cependant, certaines ménagères disposent de mortiers et pilons pour chacune des deux phases, le fond des mortiers et la forme de la tête des pilons étant différents. Cette phase comprend plusieurs «passages de mortier-pilon» suivis de tamisage. Le nombre des passages est fonction de la vigueur de l'attaque mais aussi des quantités que l'on désire obtenir par type de produit.

Technique artisanale ou mécanisation

Elle constitue en une étape intermédiaire entre la technique traditionnelle et la technique industrielle, et comporte les deux principales phases que sont le décortiquage et le broyage.

Les machines à décortiquer utilisées au Sénégal travaillent par abrasion (marteau, meules ou disques abrasifs). Le décortiquage se fait par voie sèche. La séparation du son et du grain décortiqué est assurée par un système de tamisage ou d'aspiration incorporé à la décortiqueuse ou non. L'utilisation des décortiqueuses mécaniques est peu répandue mais un programme de diffusion et de vulgarisation de ces types de machines est en cours d'exécution, notamment en zone rurale. Généralement, les femmes décortiquent ou font décortiquer au préalable leur grain par voie humide avant de le faire moudre mécaniquement.

Le broyage (ou la mouture) consiste à réduire le grain décortiqué en particules de granulométrie variable selon les utilisations. Les machines généralement utilisées sont des broyeurs à marteaux (originellement employés en provenderie) ou à meules. La finesse du produit obtenu dépend de la friabilité du grain et de la dimension des trous du tamis (grille perforée), toutes choses égales par ailleurs (vitesse de rotation, type et forme des marteaux,...).

Ces types de broyeurs qui sont assez répandus dans les zones rurales et les quartiers populaires des villes travaillent presque exclusivement à façon.

Transformation industrielle

Les essais d'application de la technique de mouture du blé n'ont pas abouti à des résultats satisfaisants, compte tenu des différences morphologiques et physiologiques entre le grain de blé et les grains de nos céréales locales (taille, forme, dureté, nature des enveloppes,...).

Ainsi, sur recommandation de l'ITA, les minoteries industrielles ont opté pour la voie sèche et le décortiquage préalable avant la mouture.

Le décortiquage est basé sur le même principe que celui de la technique artisanale.

La mouture peut alors être faite soit à l'aide d'appareils à cylindres pour la fabrication de semoules et brisures en grandes proportions, soit à l'aide de broyeurs à marteaux ou à meules pour la fabrication de farines.

Il convient à cet effet de signaler que la capacité est réduite de façon significative lorsque sur un moulin équipé d'appareils à cylindres on veut fabriquer de la farine en proportion plus importante, surtout quand il s'agit du mil. En effet, la finition est plus longue du fait de la plus grande vitrosité du mil sec.

Acquis et perspectives de la recherche

La Recherche technologique a jusqu'ici travaillé à l'élaboration de techniques et procédés de fabrication permettant d'améliorer les rendements et de préserver la qualité nutritionnelle des produits dérivés.

Dans ce cadre, il faut souligner que le procédé de transformation par voie sèche a de nombreux avantages par rapport à la voie humide traditionnelle :

- accroissement du rendement en produits finis;
- augmentation de la durée de conservation du fait de la plus grande stabilité;
- limitation du lessivage partiel des protéines;
- meilleure adaptation au circuit dit moderne de distribution.

Des recherches en cours visant à maîtriser les possibilités de conformer les produits issus de la transformation mécanique (artisanale et industrielle) aux goûts des consommateurs permettront de favoriser la modernisation de la transformation primaire de nos céréales locales en milieu urbain et rural.

10

Étude d'un décortiqueur adapté aux besoins de transformation artisanale des mils, maïs et sorgho au Sénégal

H.M. MBENGUE

ISRA/CNRA, Bambey, Sénégal

Résumé

Malgré les efforts entrepris dans le passé par la Recherche et les constructeurs en vue de mécaniser le décortiquage des céréales locales au Sénégal, les modèles connus et/ou commercialisés n'ont pas donné satisfaction au niveau de la transformation artisanale. Il s'agit principalement des modèles COMIA-FAO et PRL-Hill Thresher Supply.

C'est ainsi que l'ISRA et la SISMAR, grâce à un financement CRDI, ont mené des recherches sur le mini-décortiqueur PRL afin de l'améliorer et de l'adapter aux conditions locales d'utilisation. Ces recherches ont abouti à la mise au point du mini-décortiqueur ISRA-SISMAR muni d'un système de nettoyage du grain décortiqué et capable de travailler correctement sur de petites quantités de céréales non calibrées. Le décortiquage se fait à sec et par abrasion à l'aide de disques en résinoïde. Par un système de vidange à volets renforcés pratiquement au fond de la chambre de décortiquage et actionné par des câbles, le produit est recueilli dans une trémie puis acheminé dans le séparateur par gravité et par vis-sans-fin. Des brosses nettoient le grain et forcent le son au travers d'un tamis. Le son et les fines brisures sont alors aspirés et refoulés vers un cyclone, tandis que le grain nettoyé est récupéré par une goulotte fixée sur le couvercle du séparateur.

Neuf unités pilotes ont été installées dans huit villages et une ville de l'intérieur. Les résultats technico-économiques enregistrés sur une période de sept mois sont globalement satisfaisants et permettent d'envisager une plus large diffusion de ce type de décortiqueur au Sénégal.

Introduction

Le mil, le sorgho et le maïs demeurent l'essentiel de l'alimentation des populations rurales sénégalaises. Les divers plats constituant cette alimentation de base sont le couscous*, le lakh** et le gnélang*** faits à partir de farine et sankhal de mil, maïs ou sorgho [8]. Même si ces plats ont des méthodes de préparation différentes, ils ont une caractéristique commune qui est le décortilage préalable du grain. Traditionnellement, il est fait en humide, au mortier de bois. Le suivi des opérations de décortilage manuel effectué par le CNRA de Bambey fait ressortir des débits horaires moyens de 8 kg pour le mil souna et 7,5 kg pour le maïs à des taux de décortilage respectifs de 22,8 % et 19,7 % [1, 3, 4]. Les produits obtenus par la voie traditionnelle ont une forte teneur en eau (28 % en moyenne, base sèche) et de ce fait ne se conservent pas plus d'une journée, à moins d'être séchés ultérieurement.

L'opération de décortilage-mouture étant donc pratiquement quotidienne, elle s'avère être l'une des tâches les plus contraignantes pour la femme sénégalaise qui lui consacre en moyenne 3 à 4 heures par jour [8]. Si la mouture mécanique est devenue aujourd'hui une réalité au Sénégal, il n'en est pas de même du décortilage qui demeure une opération essentiellement manuelle tant en milieu urbain que rural : de récentes enquêtes dans le Bassin arachidier ont montré que 76,3 % de la population ont fait appel au moins une fois ou utilisent régulièrement les services d'un moulin, alors que seulement 0,6 % de la même population ont utilisé ou utilisent encore les services d'un décortiqueur [7].

Si donc nous assistons de nos jours à une évolution des habitudes alimentaires vers des mets d'origine étrangère, c'est en partie lié au manque d'équipement pour effectuer le décortilage de façon adéquate au niveau artisanal. Toutes les études faites dans ce domaine prouvent que les populations urbaines sont prêtes à consommer des céréales locales lorsque celles-ci ont subi une première transformation et sont conditionnées comme les céréales importées [3, 8].

Quelques expériences d'introduction du décortilage mécanique des céréales locales au Sénégal

Devant les importantes contraintes quotidiennes de la femme sénégalaise, la Recherche s'est très tôt intéressée à la mise au point de principes de décortilage et de mouture à sec des céréales locales. Grâce à l'appui de la société Tropiculture (Association de constructeurs de matériels agricoles pour cultures tropicales) et d'un de ses constructeurs : FAO (Fonderies et Aciéries de l'Ouest), un groupe de transformation complet Eurafric (décortilage-nettoyage-mouture-blutage) a été testé à partir de 1959 à Bambey. Malgré les mauvais résultats obtenus

(*) Le couscous est obtenu par cuisson de la farine (particules de diamètre inférieur à 0,4 mm) à la vapeur, cette farine étant préalablement fermentée ou non suivant les ethnies et sa destination finale. Il est ensuite consommé sous différentes formes : à la sauce d'arachide, au poisson, à la viande, avec du niébé, au lait, etc...

(**) Le lakh est une bouillie confectionnée à partir du sankhal (particules de diamètre compris entre 0,5 et 1,5 mm). On le consomme généralement avec du lait et/ou une sauce à base de fruit de baobab, d'arachide, d'huile de palme, de fruit de tamarinier, etc... d'autres formes de lakh sont le ngourbane et le niéribouna.

(***) Le gnélang est obtenu à partir du grain décortiqué entier ou du sankhal. La préparation est identique à celle du riz.

Étude d'un décortiqueur

avec le décortiqueur à rotor cylindrique, le gouvernement sénégalais introduit 250 groupes dans le milieu rural en 1962. Ce fut un échec complet.

Le groupe FAO présente en 1964 un décortiqueur-nettoyeur à rotor conique, l'Eurafric M 164. Cet appareil a connu un succès limité au Sénégal où il a été vendu à quelques 200-300 exemplaires; il n'est plus vendu aujourd'hui [6].

A partir de 1978, le CNRA de Bambey a entrepris des tests sur un décortiqueur mis au point par le Prairies Regional Laboratory de Saskatchewan (PRL) au CANADA. Les résultats techniques ont été satisfaisants, mais les tentatives d'introduction en milieu rural ont échoué parce que cet appareil ne s'adapte pas au travail à façon, tel qu'il est pratiqué actuellement par les utilisateurs. Par contre, l'expérience de l'unité pilote de Bambey montre qu'il s'insère bien dans une chaîne de travail en continu [3, 5].

Le Tableau I résume les spécifications techniques des modèles FAO et PRL introduits au Sénégal.

Tableau I

	COMIA-FAO	PRL-HILL SUPPLY
Poids avec moteur	300 kg	300 kg
Mode d'entraînement	Moteur thermique ou moteur électrique	Moteur thermique ou moteur électrique
Puissance nécessaire	10 CV (m. thermique) 7,5 CV (m. électrique)	10 CV (m. thermique) 8 CV (m. électrique)
Pièces travaillantes	Cône métallique abrasif à axe horizontal et rotor muni de 3 battes réglables en caoutchouc	12 meules en carborundum ou en résinoïde de 27 cm de diamètre et espacées de 1,5 à 3 cm
Vitesse de rotation des organes abrasifs	Fonction de la céréale (700-1300 tours/mn)	Fonction de la céréale (800-1200 tours/mn)
Système de nettoyage	Ventilateur et tamis	Aspirateur et cyclone
Débit horaire	130-150 kg	100-150 kg
Coût en F CFA en TTC avec moteur thermique de 10 CV	2 600 000	3 800 000

Ces données montrent que :

— les débits et les coûts sont trop élevés pour justifier une utilisation individuelle et même villageoise. Les enquêtes menées sur le matériel de transformation montrent en effet que les quantités quotidiennement traitées par les machines varient de 30 à 90 kg en milieu rural. Dans ces conditions, le prix de revient du décortiquage scille entre 25 et 30 F CFA/kg [4, 6, 7].

— les cibles préférentielles ne peuvent être que les zones urbaines, péri-urbaines, semi-urbaines et les gros villages.

Le décortiqueur COMIA-FAO nécessite que les grains soient calibrés, ce qui est difficile à réaliser dans les milieux traditionnels où le mélange de grains de grosseur variable est le cas le plus courant. En outre, les battes en caoutchouc s'usent très rapidement (durée de

vie = 5,5 tonnes). Ceci constitue une importante contrainte quand on sait que l'approvisionnement en pièces détachées est très aléatoire en milieu rural. Cet aspect, lié au manque de formation des utilisateurs, explique probablement le peu de succès rencontré par ce type de décortiqueur.

Le décortiqueur PRL ne peut fonctionner correctement qu'à partir d'une charge minimale de 15 kg. Ceci exclut tout travail à façon dans le contexte sénégalais car les quantités individuelles transformées par les ménages sont en moyenne de 4-5 kg [8]. C'est ce qui explique son échec en milieu rural, mais également son comportement satisfaisant en milieu urbain où il est intégré dans une chaîne continue de décortilage-mouture-conditionnement-commercialisation [3].

Mise au point d'un décortiqueur adapté aux céréales cultivées au Sénégal

Les différents modèles de décortiqueurs introduits au Sénégal n'ayant pas donné les résultats attendus, le problème du décortilage mécanique restait tout entier. C'est ainsi qu'est né le projet de «création d'un décortiqueur à céréales adapté aux besoins du monde rural». Ce projet, financé par le Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI), est mené conjointement par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) et la Société Industrielle Sahélienne de Mécanique, de Matériels Agricoles et de Représentation (SIS-MAR).

Méthodologies

Essais de décortilage mécanique

Pour chaque type de grain, on détermine l'influence de la nature du disque abrasif, de la vitesse de rotation, du temps de séjour et de la quantité de grains sur la qualité du décortilage et sur la consommation de carburant.

Deux types de disques (carborundum et résinoïde) ont été utilisés. La charge de grains a varié de 0,5 à 8 kg, le régime des disques de 1200 à 3000 tours/minutes, et le temps de séjour des grains dans la chambre de décortilage de 1 mn 30 s à 5 mn. Il s'agit ainsi d'un dispositif expérimental à analyse factorielle avec quatre facteurs. Chaque traitement a été répété 3 fois.

Choix des sites pilotes et suivi des unités

Les sites d'implantation ont été choisis en rapport avec les services d'encadrement, ceci en fonction du potentiel de traitement d'un éventuel système de décortilage-mouture et du degré d'organisation des groupements.

Les opérateurs sont formés au CNRA. Cette formation a porté sur le fonctionnement et l'entretien des machines, ainsi que sur la tenue des fiches journalières et mensuelles de suivi où sont mentionnées les quantités transformées, les consommations de carburant et de lubrifiants, les pannes et leurs causes, les dépenses diverses, etc...

Résultats et discussions

Essais sur mini-décortiqueur PRL

Avec les meules en carborundum, les taux de décortilage ont varié de 5,65 à 20,52 % pour le mil souna, et de 6,25 à 17,84 % pour le maïs, ceci pour des charges allant de 2 à 7,5 kg, des régimes de rotation des meules de 1 500 à 2 000 tours/mn et des temps de séjour de 3 à 5 minutes. Les petites charges de grains sont mal décortiquées, même en prolongeant les temps de séjour et en augmentant le régime des meules.

La consommation spécifique de gas-oil a varié de 4,13 à 18 ml/kg pour le mil souna et de 4,36 à 17,5 ml/kg pour le maïs. Les plus faibles consommations spécifiques sont obtenues en pleines charges et aux bas régimes de rotation. *Autrement dit, avec les meules en carborundum, il est préférable de fonctionner à pleine charge avec de bas régimes de rotation.*

Avec les disques en résinoïde, le taux de décortilage a varié de 6,4 à 35 % pour le mil souna et de 13 à 31,5 % pour le maïs, avec des charges allant de 0,5 à 8 kg, des régimes de rotation de 2 000 à 3 000 tours/mn et des temps de séjour de 3 à 5 minutes. D'une façon générale, le taux de décortilage augmente avec le temps de séjour et la vitesse des disques. Par contre, les variations en fonction de la charge de grains sont plus complexes : de 0,5 à 4 kg, le taux de décortilage diminue progressivement, puis augmente de 4 à 8 kg. Ainsi, *les plus faibles taux de décortilage sont obtenus avec des charges comprises entre 3,5 et 4,5 kg.*

Les consommations spécifiques de gas-oil varient de 2,4 à 13,3 ml/kg pour le mil souna, et de 4 à 18,5 ml/kg pour le maïs. Elles diminuent avec les grandes charges, mais augmentent avec le temps de séjour et le régime de rotation des disques.

En comparant les résultats obtenus avec les meules en carborundum et ceux avec des disques en résinoïde, on se rend compte que :

1. Les disques en résinoïde réalisent des taux de décortilage supérieurs à ceux des meules en carborundum avec les petites quantités de grains. Ceci s'explique probablement par la plus grande vitesse de rotation des disques en résinoïde et par leur surface de contact plus importante avec le grain.
2. La consommation spécifique de carburant est beaucoup plus élevée avec les meules qu'avec les disques de résinoïde. En effet, l'énergie nécessaire pour actionner les meules est supérieure à celle requise pour faire tourner les disques.
3. Les disques en résinoïde s'usent beaucoup plus vite que les meules en carborundum. Après les essais, le poids et les dimensions des meules en carborundum n'ont pratiquement pas varié, alors que les disques en résinoïde ont vu leur diamètre diminuer de 5 mm en moyenne et leur poids de 20 g. Les essais ont porté sur environ 2 000 kg pour chaque type d'organe abrasif.

Essais sur mini-décortiqueur ISRA/SISMAR

Nous avons testé quatre prototypes de mini-décortiqueur ISRA/SISMAR inspirés du modèle de base PRL. Sur les trois premiers prototypes, la principale innovation par rapport au mini-PRL est la présence d'un système de nettoyage du grain décortiqué.

Sur le quatrième prototype, le système de basculement a été supprimé et un dispositif de vidange à volets renforcés a été aménagé au fond de la chambre de décortilage. La chambre a été elle-même divisée en deux afin de permettre un meilleur contact surface abrasive/grain. Une trémie à deux éléments pour le grain brut complète ce prototype.

Avec ce quatrième prototype, nous avons eu une amélioration notable de la qualité du décortiquage, surtout en ce qui concerne le mil souna. Les taux de décortiquage ont varié de 15 à 27 % pour le mil souna et de 12 à 26 % pour le maïs, ceci pour des temps de séjour de 1 mn 30 s. et des vitesses de rotation des disques de 1 800 à 2 200 tours/mn. Les plus faibles taux de décortiquage sont obtenus avec 4 kg, tandis que les plus élevés sont obtenus avec 0,5 kg.

Quant à la consommation spécifique de carburant, elle varie de 2,5 à 18,5 ml/kg pour le mil souna et de 4,5 à 19,5 ml/kg pour le maïs. Comme on le voit, ces consommations ne sont pas tellement différentes de celles du mini-PRL équipé de disques en résinoïde.

Suivi des unités placées en milieu réel

Le suivi s'est opéré sur 9 unités dont une en milieu urbain. Les villages choisis peuvent polariser entre 10 et 20 autres petits villages. Il convient enfin de signaler que les décortiqueurs installés sont des modèles du 3^e prototype, le 4^e ayant été fabriqué à partir des observations faites sur le terrain au niveau du troisième.

Le Tableau II donne les performances des décortiqueurs mis en place, pour la période allant du 15 Juin au 31 Décembre 1987. L'analyse du tableau montre que les quantités transformées en milieu rural sont en général très faibles : elles varient de 22 à 174 kg/jour avec une moyenne de 60 kg/jour. Par contre, l'unité de la ville de Bignona a décortiqué 212 kg/jour. Si nous excluons les commerçants qui font traiter des quantités allant jusqu'à une tonne, les ménages aussi bien urbains que ruraux font décortiquer des quantités moyennes de 3-4 kg. Ceci a double effet : l'élévation de la consommation spécifique de carburant, et une usure rapide des disques.

En effet, les plus faibles consommations spécifiques sont atteintes en pleine charge, c'est-à-dire entre 6 et 10 kg, tandis que les taux de décortiquage les plus bas se vérifient avec des charges comprises entre 3,5 et 4,5 kg, toutes conditions égales ailleurs; avec des apports moyens de 3-4 kg, il faut donc augmenter les temps de séjour, d'où une augmentation de la consommation de carburant. D'autre part, avec les faibles apports, les disques ne travaillent qu'avec les extrémités qui sont en contact avec le grain et n'utilisent donc pas toute la surface abrasive disponible. Ces disques étant peu épais (3 mm), l'usure dans le sens du diamètre est très rapide. Les disques de Bignona et de Khandiar qui travaillent souvent sous pleine charge ont eu des durées de vie respectives de 24 tonnes et 18,5 tonnes, tandis que les autres ont une durée de vie moyenne de 3 tonnes. Le suivi a également montré que le maïs use plus rapidement les disques que le mil.

Les principales anomalies de fonctionnement concernent principalement le système de séparation, le levier de l'embrayage et le système de basculement de la chambre de décortiquage. Sur beaucoup de décortiqueurs les tamis mal usinés ne s'adaptent pas très bien au fond de la carcasse de telle sorte qu'une partie du grain se retrouvait dans le son. Les brosses sont souvent la cause de rupture des tamis lorsqu'elles sont mal ajustées. Quant aux systèmes d'embrayage et de basculement, ils sont sujets à une rapide usure entraînant à long terme leur rupture. C'est sur la base de ces résultats que la SISMAR a modifié le troisième prototype en fixant la chambre de décortiquage. Cette modification a entraîné la suppression de l'embrayage, de deux paliers et du système de basculement.

Les calculs faits à partir des données du suivi donnent des prix de revient réels variant de 20 à 10 F CFA/kg pour des quantités moyennes allant de 25 à 210 kg/jour. Du point de vue strictement économique, les résultats obtenus en milieu rural révèlent une sous-utilisation notoire des équipements, ce qui a pour effet d'augmenter le coût de revient des prestations. Cependant, nous pensons que ces résultats sont globalement satisfaisants. En effet, la période considérée correspond à celle dite de la «soudure», moment où les céréales locales font défaut

Tableau II

Site et population	QUANTITES TRANSFORMEES (kg)												Moyenne journalière (kg/l)	Consom- mation spécifique (ml/kg)
	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total	Gas-oil consommé (1)	Jours ouvrables				
BAILA 1 400 hbts	754,5	1 584,5	1 458	1 283,5	1 062	535	235,5	6 914	126	178	38,84	18,2		
BAMBA TIATENE 1 700 hbts	1 246,5	2 322,5	2 274,5	1 359	2 380,5	1 401	2 167	13 151	182	204	64,46	13,84		
BIGNONA (V) 24 000 hbts	3 213	8 502,5	6 483,5	5 229	4 510,5	3 581,5	3 056,5	34 576,5	342	163	212,13	12,5		
HAMDALLAYE TESSAN 1 000 hbts	809	1 300	1 186,5	811,5	720	929,5	934	6 690,5	126	172	38,90	18,83		
KARTIACK 2 300 hbts	693	736	656	684	580	272	150	3 771	-	160	23,57	-		
KEUR SAMBA KANE 3 700 hbts	-	-	196,5	658	2 030,5	2 264	3 949	9 098	133	109	83,47	14,62		
KHANDIAR 700 hbts	-	109	2 194,5	4 798,5	1 996	5 793	3 599	18 492	181	106	174,45	9,79		
LAMBAYE 5 000 hbts	-	323	689	505,5	793,5	1 396	1 548	5 255	82	159	33,05	15,6		
MONT-ROLLAND 5 000 hbts	-	88,5	642,5	237	354,5	550,5	516,5	2 389,5	-	103	23,20	-		

(V) = ville.

et durant lequel les moyens financiers des ménages paysans sont très modestes. Devant l'insuffisance de ses moyens, la femme donne généralement la priorité à la mouture mécanique, car, selon elle, c'est l'opération la plus difficile à réaliser manuellement. D'autre part, le décortiquage mécanique étant pratiquement une nouveauté, les populations n'y sont pas encore habituées. Enfin, les premières enquêtes socio-économiques faites au niveau des femmes montrent que ces dernières sont très satisfaites des services du décortiqueur et s'organisent pour une « appropriation » véritable de cette innovation technique. Elles veulent en effet collecter le surplus de production et le vendre sous forme de grain décortiqué et de farine au niveau des villes. Autour du groupe décortiqueur-moulin, les services de l'encadrement organisent également divers projets : embouche bovine et ovine, banques de céréales, champs collectifs, etc... D'autres enquêtes sont prévues afin de mieux connaître l'impact et la mécanisation du décortiquage et de la mouture sur le milieu.

Conclusion

Les travaux menés par l'ISRA et la SISMAR ont permis de mettre au point un décortiqueur adapté aux besoins de la transformation artisanale des céréales locales au Sénégal. Les résultats technico-socio-économiques obtenus en milieu réel sur une période de 7 mois sont globalement satisfaisants et permettent d'envisager une plus large diffusion de ce type de décortiqueur dans les années à venir. D'ores et déjà, plusieurs projets villageois s'articulent autour de l'ensemble décortiqueur-moulin, ce qui prouve que cette innovation technique est bien acceptée par les populations impliquées : une tentative d'appropriation véritable est en cours. Il s'agit maintenant d'étudier avec la SISMAR les structures à mettre en place (circuit de commercialisation, service après-vente, formation des utilisateurs, etc...) afin que cet outil puisse fonctionner correctement tant en milieu rural qu'en milieu urbain.

Références

1. Diop A. (1980). Essais d'ajustement du moulin Jacobson et paramètres de base pour le décortiquage. ISRA-CNRA/Bambey, Sénégal.
2. Mbengué HM. (1982). Décortiquage et mouture mécanique à sec des céréales au Sénégal. Etude technico-socio-économique du système dans le milieu. Collection : Etudes techniques du CNRA-ISRA-CNRA/Bambey, Sénégal.
3. Mbengué HM. (1985). Projet de Technologie post-récolte, 79-0066 phase II, Rapport final. Document de Travail D/Système N° 85-10, ISRA, D/Systèmes, Dakar, Sénégal.
4. Mbengué HM. (1986a). Les équipements et matériels de traitement post-récolte des céréales au Sénégal. Document de Travail D/Système N° 86-5, ISRA, D/Systèmes, Dakar, Sénégal.
5. Mbengué HM (1986b). La mécanisation de la transformation des céréales au Sénégal : aspects techniques et nutritionnels. Document de Travail D/Système N° 86-7 ISRA, D/Systèmes, Dakar, Sénégal.
6. Mbengué HM, Havard M. (1986a). La technologie post-récolte du mil au Sénégal. Importance relative des filières et des techniques utilisées. Etude des différents niveaux de mécanisation. Document

Étude d'un décortiqueur

- de Travail D/Systèmes N° 86-2. Machinisme Agricole Tropical N° 93, ISRA, D/Systèmes, Dakar, Sénégal, pp. 22-56,.
7. Mbengué HM, Havard M. (1986b). Résultats d'enquêtes sur la technologie post-récolte des céréales au Sénégal. Document de Travail D/Systèmes N° 86-6, ISRA, D/Systèmes, Dakar, Sénégal.
 8. Yaciuk G. (1977). Résultats de l'enquête sur la technologie post-récolte en milieu rural au Sénégal. ISRA-CNRA/Bambey, Sénégal.

11

Étude de deux procédés de fermentation traditionnelle de couscous de mil (*Pennisetum typhoides*)

B. N'DIR, R.D. GNING

Institut de Technologie Alimentaire (ITA), B.P. 2765, Dakar, Sénégal.

Résumé

Le mil, céréale traditionnelle de base au Sénégal, peut constituer une alternative intéressante en termes de coûts-bénéfices par rapport aux grains importés (blé et riz). Ceci n'est possible qu'en réorientant les modèles de consommation vers des produits traditionnels améliorés et rationalisés.

Après avoir mis au point un procédé de fabrication de couscous non fermenté et non fermentescible (donc peu adapté aux goûts sénégalais), l'ITA réalise une étude sur la fermentation traditionnelle du couscous de mil.

Deux procédés ont été testés conformément aux pratiques artisanales : (1) fermentation lente la nuit à 25 °C pendant 12 à 20 h et (2) fermentation rapide au soleil à 30 °C pendant 3 à 5 h. La fermentation a été suivie à travers les modifications microbiologiques et biochimiques du substrat, et une évaluation sensorielle a été menée sur les produits finis.

Deux types de farines de mouture par voie humide et par voie sèche, technologie ITA, ont été comparés pour les deux process. L'emploi pour le brassage à grande eau d'une eau salée (à 3 % de NaCl) semble avoir un effet significatif sur la qualité organoleptique du couscous.

Introduction

Le mil est la base traditionnelle de l'alimentation sénégalaise. Sa valorisation et son développement représentent donc une alternative intéressante en terme de coûts/bénéfices par rapport au riz et au blé importés [1]. Cependant ceci n'est possible que par une réorientation des modèles de consommation en favorisant l'amélioration et la rationalisation des techniques traditionnelles de transformation et conservation dont la fermentation.

L'Institut de Technologie Alimentaire (ITA) a déjà mis au point un procédé pilote de mouture sèche, et de fabrication de couscous de mil non fermenté et non fermentés cible qui ne répond pas au goût de certains consommateurs sénégalais habitués au couscous traditionnel fermenté.

Ceci justifie l'importance de notre travail qui a pour but d'étudier deux procédés de fermentation traditionnelle de la farine et du couscous de mil tout en comparant les comportements des farines obtenues soit par mouture humide (technologie traditionnelle, A); soit par mouture sèche (technologie de l'ITA, B). Nous cherchons également à expliquer certains détails opératoires, comme l'emploi de l'eau salée au moment du brassage, que la tradition a appris à respecter.

Matériel et méthodes

Résumé des technologies/abréviations

Nous avons expérimenté les deux principaux procédés de fermentation traditionnelle du couscous de mil dans des calebasses en bois, en comparant les farines A et B :

Farine A. Farine obtenue par mouture humide (les grains décortiqués sont lavés à l'eau douce puis moulus au moulin villageois après un repos de 15 mn environ; ceci permet d'obtenir pour un même tamis de sortie du moulin une farine plus fine que par voie sèche);

Farine B. Farine obtenue par mouture sèche (les grains décortiqués sont aussitôt moulus tels quels au moulin à marteau de l'ITA).

Procédé 1. Fermentation lente de la farine (juste après mouture) qui se fait à la tombée du jour; pendant la nuit (12 h – 20 h à 26 °C);

Procédé 2. Fermentation rapide de la brassée (farine obtenue juste après mouture brassée à grande eau) qui se fait au soleil le jour (3 h – 5 h à 32 °C environ).

Conditions de fermentation

Nous nous sommes efforcés dans la mesure du possible de standardiser au maximum les conditions expérimentales pour ne pas introduire des causes de variation indépendantes des facteurs étudiés. En particulier, nous avons utilisé les mêmes ustensiles, la même personne (la brasseuse) et les mêmes matières premières (grains de mil, poids de 10³ grains égal à 5,1 g, sel et autres denrées nécessaires à la fabrication du couscous fini à des fins de dégustation).

Pendant la fermentation *en procédé 1*, les farines sont étalées sur les parois des calebasses; par contre, *en procédé 2*, les brassées sont tassées à l'intérieur des calebasses.

Paramètres microbiologiques et biochimiques

Pour étudier la fermentation, nous avons suivi en 3 répétitions les modifications biochimiques (AOAC, ICC) et microbiologiques en employant des méthodes classiques ou recommandées [2, 3, 4].

— l'indice d'acidité de la matière grasse (mgKOH/100 g) indique une dissolution hydrolytique (lipolyse) de la graisse.

— le degré d'acidité d'après Schulerud est du à des acides gras libres, phosphates acides et éventuellement à des acides organiques forts, libres (ml NaOH 1N/100 g).

Ensuite, des analyses organoleptiques sont réalisées sur les couscous finis par un jury entraîné de 14 membres à l'aide d'un système ordinal de neuf points (de 1 à 9).

Résultats et discussions

Procédé 1

Marche de la fermentation

Les résultats moyens obtenus sont résumés dans le Tableau I. Ils mettent en évidence des différences sensibles entre les farines A et B. On remarque la relative stabilité biochimique des farines B à 9,57 % d'humidité initiale comparativement aux farines A à 30,78 % d'humidité initiale. Pour les farines A les plus grandes variations sont observées au niveau de l'acidité; les sucres réducteurs sont très faiblement utilisés.

Les valeurs d'indice d'acidité de la matière grasse et le degré d'acidité des farines B ne représentent pas au bout de 18 h de fermentation par le Procédé 1 respectivement que 16,58 % et 12,03 % de celles trouvées pour les farines A acides fermentées. La forte hydratation initiale de la farine A favorise le développement microbien et l'action des enzymes notamment des lipases qui hydrolysent la matière grasse. Il se produit une acidification grasse avec un pH final de 4,51 contre 6,53 pour la farine B douce non fermentée. Pour la farine A, ceci est caractéristique d'une maturation, qui blanchit la farine et lui donne des propriétés organoleptiques répondant au goût sénégalais [5, 4].

Les résultats montrent que c'est la faible teneur en eau initiale des farines B qui est le premier facteur limitant leur fermentation acide; dans les fermentations en milieu solide, c'est l'eau libre qui conditionne la croissance microbienne et l'action des enzymes [6].

Des mesures d'humidité relative (HR) de l'air à l'aide du thermohygromètre «Scientific 93310, Bioblock» ont montré une augmentation sensible de l'HR de l'air à l'intérieur des Calebasses contenant les farines A humides; au temps t_2 , après 12 h de fermentation, cette HR représente plus de 12,5 % de celle de l'air ambiant à 25° C. L'augmentation de l'HR de l'air dans les Calebasses semble résulter d'un échange d'eau de la farine A au profit de l'air intérieur; en partant d'une teneur en eau initiale 30,78 %, on obtient après 18 h de fermentation 27,39 % d'eau soit une réduction de 11,01 %. Cette perte en eau libre va défavoriser la consommation des sucres réducteurs encore présents et provoquer rapidement un ralentissement ou un arrêt de la croissance; il se produit alors un métabolisme secondaire efficace générateur d'arôme. Il faut signaler que cet aspect de la microbiologie du couscous de mil et encore insuffisamment connu pour être pleinement exploité.

Tableau I. Marché de la fermentation des farines A et B obtenues respectivement par mouture humide et mouture sèche.

DUREE (heure)	F A R I N E S A							
	Humidité %	ph	Sucres réducteurs %	Degré d'acidité %	Indice d'acidité %	Cendres %	Matières grasses %	Protéines (Nx6,25) %
to (0)	30,78	5,39	1,02	5,01	98	1,18	4,32	10,13
t1 (6)	28,75	4,72	1,15	15,45	150	0,98	3,88	10,41
t2 (12)	27,88	4,54	0,95	20,84	224	0,99	4,21	10,79
t3 (18)	27,39	4,51	1,03	24,36	259	0,99	4,22	10,54

DUREE (heure)	F A R I N E S B							
	Humidité %	ph	Sucres réducteurs %	Degré d'acidité %	Indice d'acidité %	Cendres %	Matières grasses %	Protéines (Nx6,25) %
to (0)	9,57	6,49	0,93	2,76	33	1,20	4,45	10,29
t1 (6)	10,30	6,50	0,95	2,80	38	1,25	4,35	10,73
t2 (12)	10,21	6,46	0,94	2,80	40	1,25	4,35	10,51
t3 (18)	10,30	6,53	0,84	2,93	43	1,20	4,34	10,18

Tableau II. Evolution de la flore microbienne des farines A et B (nombre de germes/gramme).

	F A R I N E A							
	(1)* $\times 10^7$	(2) $\times 10^5$	(3) $\times 10^3$	(4) $\times 10^5$	(5) $\times 10^4$	(6) $\times 10^4$	(7) $\times 10^4$	(8) $\times 10^3$
to (0)	21,5	3,7	6,5	0,4	151,0	44,6	2,6	26,0
t1 (6)	679,0	153,3	4,7	45,6	197,3	1143,7	0,1	10,0
t2 (12)	1355,0	19,4	ND**	83,3	49,0	71,7	71,7	ND
t3 (18)	2556,7	0,4	ND	16,0	1,5	45,4	45,4	ND

	F A R I N E B							
	(1) $\times 10^7$	(2) $\times 10^3$	(3) $\times 10^3$	(4) $\times 10^3$	(5) $\times 10^2$	(6) $\times 10^3$	(7) $\times 10^3$	(8) $\times 10^3$
to (0)	58,4	30,0	50,0	ND	ND	ND	ND	168,0
t1 (6)	6,1	70,0	21,0	ND	0,4	ND	ND	60,9
t2 (12)	1,3	ND	14,5	12,5	1,0	ND	ND	ND
t3 (18)	1,7	ND	7,1	6,7	2,2	23,0	ND	ND

* (1) Flore aérobie à 30°C; (2) Flore halophile; (3) Coliformes fécaux; (4) Streptocoques fécaux;

(5) Staphylocoques et microcoques; (6) Levures; (7) Moisissures; (8) Bactéries lactiques.

** ND : Non détecté.

Au contraire, à l'intérieur des calebasses contenant les farines B qui prennent de l'eau au repos, on remarque une diminution de l'HR de l'air. Ce gain en eau des farines B est plutôt lié au caractère hygroscopique de la farine sèche et n'est pas en relation avec l'eau métabolique produit de la consommation du glucose pendant la fermentation car il n'y a pas d'utilisation des sucres. La quantité d'eau gagnée reste insuffisante pour assurer un développement microbien et une acidification. C'est pourquoi la farine B obtenue par l'ITA reste douce non fermentée et non fermentiscible par le Procédé 1.

Evolution de la microflore

Au Tableau II on constate que les farines A et B ont des charges microbiennes totales comparables : au temps t_0 , on dénombre respectivement $21,5.10^7$ et $58,4.10^7$ germes totaux/gramme pour les farines A et B. La flore halophile, les streptocoques fécaux, les staphylocoques et microcoques, les levures et moisissures sont moins représentés dans les farines B à faible teneur en eau (9,57 %). Pour les farines A contrairement aux farines B, les charges microbiennes des différents groupes microbiens varient beaucoup pendant la maturation et leur équilibre évolue; ceci explique les différences de températures enregistrées dans les farines A (30–33 °C) et B (26–29 °C) pendant le repos (18 h) pour une température ambiante égale à 25–26 °C. Ces différences traduisent une plus grande activité métabolique dans les farines A obtenues par mouture humide.

Procédé 2

Déroulement de la fermentation

Nous avons expérimenté une série d'essais de fermentation de la farine brassée au soleil avec ou sans eau salée (solution aqueuse stabilisée à 3 % de NaCl); les résultats moyens figurant aux Tableaux IIIa, IIIb et IIIc montrent une différence d'humidité entre les farines : les farines A fines ont besoin d'une plus grande hydratation au brassage que les farines B, grossières [6]. Toutefois, l'humidité initiale des farines B (31,00 % est suffisante pour induire une fermentation acide au bout de 4 heures de repos au soleil à 32° C; après une première précuisson les paramètres biochimiques des couscous obtenus des farines A et B apparaissent globalement comparables.

Les données analytiques sur l'emploi de l'eau salée au moment du brassage (Tableau IIIb) mettent en évidence l'influence du sel sur l'hydratation des farines A et B. Ceci va influencer la granulométrie des couscous. En fin de fermentation de la brassée on remarque pour toutes les farines, sous l'effet du sel, une augmentation du degré d'acidité et une diminution de l'indice d'acidité de la matière grasse : la baisse du pH combinée à l'action du sel favorise la production d'acides organiques forts en assurant la croissance de bactéries halophiles Gram +. Les variations biochimiques constatées et dues à l'action du sel auront des répercussions certaines sur les qualités organoleptiques des couscous finis.

Caractéristiques organoleptiques

Les caractéristiques organoleptiques des couscous finis des différentes séries d'essais sont résumées dans le Tableau IV.

En ce qui concerne les couscous non salés obtenus par le *procédé 2*, l'analyse sensorielle donne une note globale de 58,9 pour le couscous A (farine brassée et fermentée au soleil durant 4 heures) et 59,8 pour le couscous B (farine B brassée et fermentée au soleil durant

Tableau III. Déroulement de la fermentation des farines A et B brassées.

IIIa. Brassage avec de l'eau non salée.

Durée (heure)	F A R I N E S A							
	Humidité %	Sucres réducteurs %	pH	Degré d'acidité %	Indice d'acidité %	Cendres %	Matières grasses %	Protéines (N x 6,25) %
t0 (0)	38,60	1,11	6,32	4,07	41	1,18	3,56	10,42
t1 (2)	36,75	1,09	5,53	6,32	55	1,09	3,86	10,00
t2 (4)	36,37	1,0	4,79	7,86	70	1,01	4,23	10,42

Durée (heure)	F A R I N E S B							
	Humidité %	Sucres réducteurs %	pH	Degré d'acidité %	Indice d'acidité %	Cendres %	Matières grasses %	Protéines (N x 6,25) %
t0 (0)	31,00	0,97	6,53	3,62	26	1,52	3,30	9,98
t1 (2)	30,97	0,95	6,00	4,43	30	1,25	3,48	9,65
t2 (4)	30,73	0,98	5,88	5,73	50	1,20	4,30	10,73

IIIb. Brassage avec de l'eau salée stabilisée à 3 % de NaCl.

A								
t0 (0)	39,80	1,06	6,23	5,81	17	1,13	3,25	10,20
t1 (2)	39,47	1,32	5,90	6,60	18	1,17	3,25	10,27
t2 (4)	37,37	1,29	4,70	8,78	28	1,15	3,50	10,31

B								
t0 (0)	32,80	1,05	6,19	4,46	12	1,16	3,75	10,46
t1 (2)	32,56	0,97	6,19	5,20	14	1,51	3,70	9,98
t2 (4)	31,73	1,19	5,10	6,30	17	1,36	3,40	10,30

IIIc. Couscous précuits à la vapeur pendant 15 mn.

A								
Couscous précuit non salé	42,69	0,77	5,52	5,23	15	1,08	4,80	10,42
Couscous précuit salé	38,17	0,85	5,31	5,70	9	1,33	3,26	10,06

B								
Couscous précuit non salé	34,87	0,70	5,96	3,07	8	1,18	3,93	11,04
Couscous précuit salé	35,48	0,82	5,97	3,10	8	1,48	3,02	10,39

Tableau IV. Résultats d'analyses sensorielles.

TRAITEMENTS	CARACTÉRISTIQUES						Note Globale
	Couleur (1)*	Texture (2)	Arôme (3)	Goûts particuliers (2)	Sapidité (2)	Acidité (3)	
I.							
Procédé 1 :							
Farine A sans NaCl	7,0 ± 1,08	6,4 ± 1,60	6,2 ± 1,13	2,6 ± 2,09	4,4 ± 1,45	4,6 ± 2,06	61,3
II.							
Procédé 2 :							
Farine A sans NaCl	6,1 ± 1,30	5,6 ± 1,84	5,4 ± 1,50	2,9 ± 2,20	4,9 ± 1,20	4,9 ± 2,03	58,9
III.							
Procédé 2 :							
Farine A sans NaCl	6,8 ± 1,48	6,7 ± 1,86	6,3 ± 1,38	2,9 ± 2,28	6,2 ± 1,25	5,0 ± 2,21	67,3
IV.							
Procédé 2 :							
Farine B sans NaCl	7,1 ± 0,86	6,2 ± 1,12	5,7 ± 1,27	2,6 ± 2,10	4,2 ± 1,83	4,8 ± 2,01	59,8
V.							
Procédé 2 :							
Farine B avec NaCl	6,8 ± 1,69	5,9 ± 1,90	6,1 ± 1,46	2,8 ± 2,22	6,1 ± 1,70	4,9 ± 2,10	64,5

* Coefficient de pondération.

4 heures) contre 61,3 pour le couscous du *procédé 1* (farine A préfermentée pendant 18 heures à 25–26 °C), une note globale de 60 étant considérée comme couscous moyen.

L'emploi au brassage, en *procédé 2*, de l'eau salée stabilisée à 3 % de NaCl améliore la qualité organoleptique des couscous quel que soit le type de farine utilisée : on obtient une note globale de 67,3 pour les couscous A contre 64,5 pour les couscous B. Le sel contribue à la couleur (11,48 %), à l'arôme (16,67 %) et à la texture (19,64 %) du couscous A; par contre pour le couscous B le sel développe surtout l'arôme (7,02 %) et la saveur à raison de 45,24 % contre 26,53 % pour le couscous A.

Conclusions

L'ensemble des résultats obtenus nous permet de tirer un certain nombre de conclusions partielles :

— La farine A obtenue à l'ITA par mouture sèche reste douce et non fermentée en *procédé 1* en raison du facteur limitant qui est l'eau libre. Toutefois, le consommateur, selon ses goûts et ses besoins, peut la faire fermenter après hydratation en *procédé 2*.

— En *procédé 2*, qui est une fermentation rapide, l'emploi d'une solution aqueuse de NaCl à 3 % au brassage améliore globalement la qualité organoleptique des couscous A et B. Le sel est à la fois un facteur gustatif et un facteur de qualité technologique influençant la texture du couscous.

— Les résultats moyens de cette étude nous ont permis de comprendre certains détails opératoires que la tradition a appris à respecter sans en connaître les motifs.

Références

1. Chinsman B. (1984). Choice of technique in sorghum and millet milling in Africa Symposium on the Processing of Sorghum and Millet : Criteria of quality of grains and products for Human Consumption. ICC/CRAT. 4-5 June 1984, Vienne, 22 p.
2. Moreau C, et Pelhate J. (1964). Choix de milieux sélectifs pour l'analyse des mycoflores osmophiles. Bull Soc Mycol Fr; 80 (2) : 234-246.
3. Refai MK. (1981). Manuel sur le Contrôle de la qualité des produits alimentaires. 4. Analyses microbiologiques. Etude FAO : Alimentation et Nutrition, FAO, Rome 1981.
4. Ndir B, Gning RD. (1987). Etude des profils microbiologiques et biochimiques des farines et couscous-précuits de mil (*Pennisetum typhoides*) vendu sur le marché de Dakar. 3^e Journées Scientifiques Internationales du GERM, 4-9 Octobre 1987, Nianning, Sénégal (*sous presse*).
5. Rainbault M. (1981). Fermentation en milieu solide. Croissance de champignons filamenteux sur substrat amylicé. Travaux et Documents de l'ORSTOM, n^o 127, ORSTOM, Paris, 281 p.
6. Perten H, Fall C, Abert P. (1974). Etude de la fabrication du couscous de mil en vue de sa fabrication industrielle, Rapport technique n^o 136, FAO, Rome, 9 p.

12

Expériences de décortiquage mécanique des céréales (mil, sorgho, maïs) au Sénégal

I. SECK

SISMAR, BP 3214, Dakar, Sénégal.

Résumé

Deux types de décortiqueuses mécaniques ont été expérimentées au Sénégal la COMIA-FAO et la PRL/Hill Tresher.

Si la première introduite depuis 1962 a connu une certaine diffusion en milieu urbain et péri-urbain, la seconde n'a pas franchi le stade d'expérimentation depuis 1978.

Les raisons des échecs de l'une et de l'autre peuvent être classées en deux catégories :

1) Prix élevés limitant ainsi la diffusion au niveau des populations consommatrices des céréales locales, populations qui se trouvent être les plus économiquement faibles;

2) Inadaptation aux conditions locales de consommation des céréales :

— grains non calibrés, pouvant aller du mil au maïs en passant par le sorgho. D'où une réelle difficulté de décortiquage homogène par la COMIA-FAO qui est conçue pour une grosseur de grains homogène,

— décortiquage à façons, où d'une opération à la suivante la céréale peut changer du mil au maïs par exemple. D'où une souplesse d'utilisation qui exclut le principe de la COMIA-FAO,

— quantités décortiquées variant de un à une dizaine de kilogrammes par client donc une inadaptation de la PRL.

Depuis 1984, un projet financé par le CRDI est en cours au Sénégal, avec comme objectifs principaux, la mise au point d'une décortiqueuse adaptée aux conditions locales et d'un prix accessible aux populations.

Cette décortiqueuse est déjà en essai en milieu villageois et les études se poursuivent pour une meilleure adaptation.

Introduction

Jusqu'à la fin des années 1950, les techniques de transformation des céréales sont restées au stade artisanal au Sénégal.

Du battage à la mouture, la transformation utilisait le moyen traditionnel du «mortier--pilon». Le processus, très pénible, est entièrement laissé aux mains des femmes.

A l'exception du battage, la chaîne de transformation nécessite un lavage à l'eau préalable qui a pour but de ramollir le péricarpe des grains pour en faciliter le décortiquage ou de diminuer la vitrosité pour des facilités de mouture.

Cet humectage rend la conservation difficile au delà d'une journée (fermentation) : le décortiquage et la mouture traditionnelles sont donc, de ce fait, des «corvées» quotidiennes pour les femmes.

En milieu rural, mais surtout en zone urbaine, la réticence de plus en plus grande des femmes face à de telles «corvées» a favorisé très rapidement la consommation de céréales importées entièrement transformées (riz, farines, etc...).

La mécanisation de la transformation des céréales locales a donc été perçue très tôt comme une des solutions permettant d'en favoriser la consommation et la production et, par voie de conséquence, de limiter les importations de riz.

Mais, si pour le battage et la mouture mécaniques les expériences tentées ont conduit à une très large vulgarisation (moulin à marteaux par exemple), les décortiqueuses mécaniques introduites à partir de 1962 en milieu rural ont connu des échecs parce qu'inadaptées aux conditions socio-économiques locales.

C'est ainsi que, depuis 1984, un projet financé par le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI) est mené au Sénégal par la Société Sahélienne de Mécaniques, de Matériels Agricoles et de Représentations (SISMAR) et l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). L'objectif principal en est la création d'une décortiqueuse adaptée aux conditions locales et d'un prix accessible aux populations. Après des essais en station concluants au CNRA de Bambey, neuf exemplaires sont en essai dans huit villages et une ville depuis juin 1987 et les premiers enseignements tirés de cette expérience en milieu réel ont confirmé l'adaptation de la technologie employée au milieu tout en permettant de modifier la conception de la décortiqueuse pour la rendre plus robuste et surtout pour en diminuer le prix.

Au stade actuel du projet, la phase de commercialisation est envisagée durant le deuxième trimestre de 1988.

Expérience de la décortiqueuse FAO M164

Dès 1962, quelques 250 groupes de transformation complète (décortiquage, nettoyage, mouture, blutage) ont été introduits au Sénégal mais on ne peut parler d'expérience réelle car l'opération a été un véritable échec. Par la suite, en 1964, la société Fonderies et Ateliers de l'Ouest (FAO) a introduit la décortiqueuse Eurafic M164.

Description et fonctionnement de la FAO M164 (fig. 1)

Elle est constituée d'une trémie (A) à ouverture réglable qui alimente en grains entiers le décortiqueur (B) proprement dit. Le décortiqueur est constitué d'une chambre tronconique garnie intérieurement d'une pierre abrasive (B1) à l'intérieur de laquelle tourne un rotor coaxial portant trois (03) battes en caoutchouc (B2). Selon la taille du grain à décortiquer l'espace entre la pierre abrasive et les battes est ajustable.

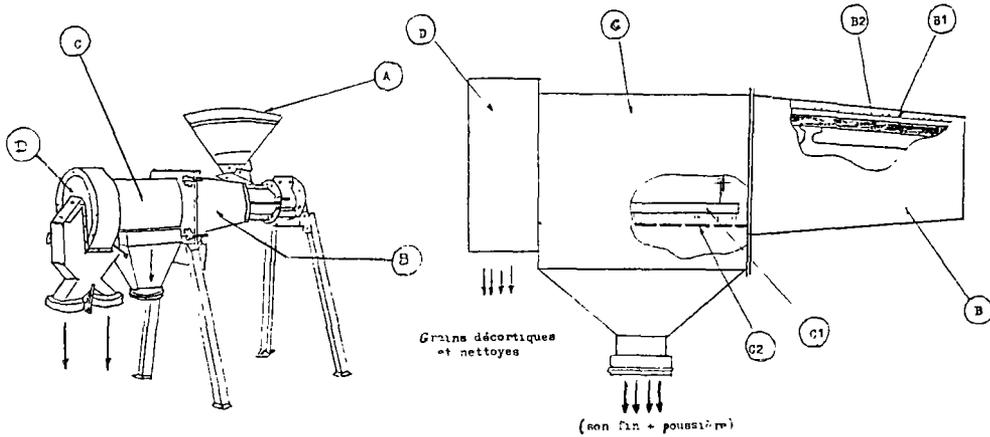


Figure 1. Décortiqueuse FAO M164.

Le décortiquage est obtenu par frottement du grain contre l'abrasif au moyen des battes. Le mélange grains décortiqués et son passe ensuite dans le nettoyeur (C) où il est brassé par trois brosses à axe horizontal (C1) contre un tamis cylindrique (C2). Les poussières et le son fin passent au travers du tamis pour être récupérés sous le nettoyeur. Un aspirateur (D) placé à l'extrémité du séparateur parachève le nettoyage du grain décortiqué en aspirant les glumes et le gros son. Le grain décortiqué et nettoyé est ensuite récupéré à travers deux sorties placées sous l'aspirateur.

L'ensemble est équipé d'un moteur diesel de 10 CV (ou électrique 7,5 CV).

Contraintes et inconvénients

Nécessité de grains calibrés

Le principe du décortiqueur nécessite, pour un décortiquage homogène, d'avoir un grain calibré de forme suffisamment ronde. Or, le grain apporté par les femmes au décortiquage n'est jamais homogène; il arrive que pour des raisons d'insuffisance de production de l'une ou l'autre, deux céréales soient mélangées (mil-maïs ou mil-sorgho ou les trois ensemble). Dans un pareil cas, le grain le plus gros est seul à être décortiqué ou écrasé.

Défaut de souplesse d'utilisation

Par défaut de pouvoir régler à volonté le temps de séjour du grain dans le décortiqueur, il est très difficile de fixer *a priori* les taux de décortiquage désirés. De ce fait, pour un même type

de grains un seul taux de décortiquage est presque imposé à tous les utilisateurs de la décortiqueuse. Or, selon les mets à préparer et selon les milieux, le taux de décortiquage désiré est plus ou moins important.

Inexistence d'un service après-vente

Le regarnissage du cône abrasif et le manque de pièces de rechange (brosses et battes en caoutchouc) ont été les principaux problèmes de maintenance rencontrés au niveau des quelques exemplaires de FAO M164 en exploitation.

Expérience de la décortiqueuse PRL/Hill Thresher

En 1978, l'ISRA a mené des tests de décortiquage mécanique avec un autre modèle de décortiqueuse mis au point par le Prairie Regional Laboratory (PRL) de Saaskatchwan au Canada. L'objectif principal de ce projet était de mettre à la disposition des populations rurales une décortiqueuse adaptée à leurs conditions socio-économiques.

Description et fonctionnement de la PRL (fig. 2)

Ce modèle de décortiqueuse utilise toujours le principe de l'abrasion à sec du péricarpe des grains de céréale. L'abrasif, ici, est constitué par 13 meules en carborundum (B1) montées sur un axe horizontal à l'intérieur d'une chambre. Le grain entier est introduit dans la chambre de décortiquage (B) par une trappe à ouverture réglable située sous la trémie (A).

À l'extrémité opposée de la chambre sont aménagées trois sorties dont :

- une supérieure à travers laquelle le ventilateur (C) aspire le son et les glumes vers le cyclone (D),
- une latérale munie d'un bec verseur (B2) à trappe et servant à la récupération du grain décortiqué et nettoyé,
- une axiale permettant une vidange complète de la chambre si nécessaire. L'ensemble est équipé d'un moteur diesel de 10 CV (ou électrique de 8 CV).

Résultats des essais de la PRL/Hill Thresher

Le calibrage du grain n'est plus nécessaire. En effet, le grain à décortiquer n'est plus contraint à rouler dans un espace pré-réglé entre une batte en caoutchouc et une meule fixe. Il est brassé «librement» entre des meules tournantes à interface constant. Ce principe répond nettement mieux à la nature et à la forme des céréales locales.

Le temps de séjour du grain dans la chambre est réglable à volonté en ajustant les ouvertures des trappes d'entrée et de sortie. Cette particularité offre l'avantage de régler le taux de décortiquage désiré sans écraser les grains les plus gros.

La taille de la chambre de décortiquage fait que, pour obtenir un décortiquage homogène, la charge minimale requise est de 15 kg. Cela constitue un handicap majeur pour un décortiquage à façon où les quantités apportées par les femmes sont de l'ordre de 5 kg.

Cette dernière particularité exclut l'utilisation de la PRL en milieu rural au Sénégal. Cependant, son utilisation en milieu urbain pour un système continu de transformation-conditionnement s'est avérée positive.

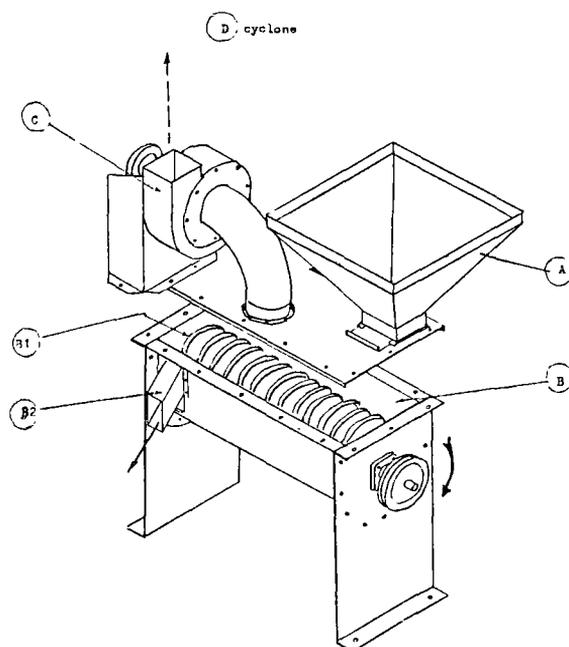


Figure 2. Décortiqueuse PRL/Hill Thresher.

Création d'une décortiqueuse adaptée aux conditions locales

Les expériences menées avec les deux modèles de décortiqueuses, la FAO M164 et la PRL, n'ont pas abouti à une solution satisfaisante. Cependant, elles ont largement contribué à la définition des conditions d'acceptabilité du décortiquage mécanique en milieu rural sénégalais. Ces conditions ont constitué les objectifs assignés au projet «Création d'une décortiqueuse adaptée au Sénégal», à savoir :

- *décorticage-à-façon* sur des charges allant de 1 à 8 kg,
- *décorticage homogène de grains non calibrés,*
- *taux de décorticage réglable selon les habitudes culinaires,*
- *réduire au minimum les interventions de l'opérateur rural dont le niveau de technicité est souvent très faible,*
- *limiter autant que possible les pièces d'usure,*
- *enfin, mettre au point une décortiqueuse à un prix compatible avec les revenus du monde rural.*

Il s'agit, en fait, de tester la mini-décortiqueuse PRL en station et de l'améliorer pour mieux l'adapter aux conditions locales.

Tests de la mini-décortiqueuse PRL

Description et fonctionnement (fig. 3).

Elle est constituée d'un ensemble de 5 meules en carborandum (ou 8 disques en résinoïde (1) régulièrement espacés sur un axe horizontal. L'axe tourne à l'intérieur d'une chambre fermée à sa partie supérieure par un couvercle à charnière (2). L'ensemble du décortiqueur peut tourner autour de l'axe des disques grâce à deux paliers (3) montés sur la chambre. Ce mouvement de rotation est freiné par une goupille de blocage placée latéralement.

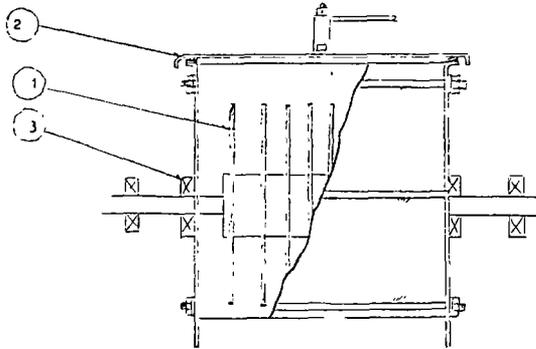


Figure 3. Mini-décortiqueuse PRL.

Après le temps de séjour désiré, la rotation des disques est arrêtée au moyen d'un embrayage monté sur leur axe. La vidange du mélange (grains décortiqués-son) est alors obtenue par retournement de la chambre sur un tablier. La séparation du son est faite en dehors de la machine par vannage manuel ou mécanique.

Résultats des tests de la mini-décortiqueuse PRL

Les résultats de la Mini-PRL pour la qualité du décortilage sont consignés dans la communication de l'ISRA. Il faut simplement ajouter que des observations techniques ont été faites sur les points suivants :

- faiblesse de l'axe des disques qui a tendance à fléchir sous charge maximale (8 kg environ) surtout avec les meules en carborandum,
- manque de fiabilité de l'embrayage,
- défaut d'étanchéité de la chambre de décortilage.

Améliorations de la mini-PRL

Les améliorations de la Mini-PRL ont porté sur les points suivants :

- l'axe des disques a été renforcé
- la chambre de décortilage est entièrement soudée
- un séparateur de son est incorporé à la décortiqueuse
- l'embrayage est incorporé au moteur.

Description et fonctionnement de la Mini-PRL améliorée (fig. 4)

Le principe de décortiquage est le même que celui de la Mini-PRL.

Après décortiquage, le mélange grains décortiqués et son est renversé sur une trémie (B) au fond de laquelle une vis d'Archimède (B1) le pousse à l'intérieur d'un séparateur (C).

Le séparateur (C) comporte un système de brassage du mélange au moyen de deux brosses en nylon (C1) et d'un tamis amovible (C2).

Le son est récupéré au travers du tamis et à la partie inférieure du séparateur par un aspirateur (D) qui le renvoie vers un cyclone (E).

Le grain décortiqué et nettoyé est récupéré par une sortie placée sous le couvercle (C4) du séparateur.

L'ensemble de la machine fonctionne avec un moteur diesel de 6 CV.

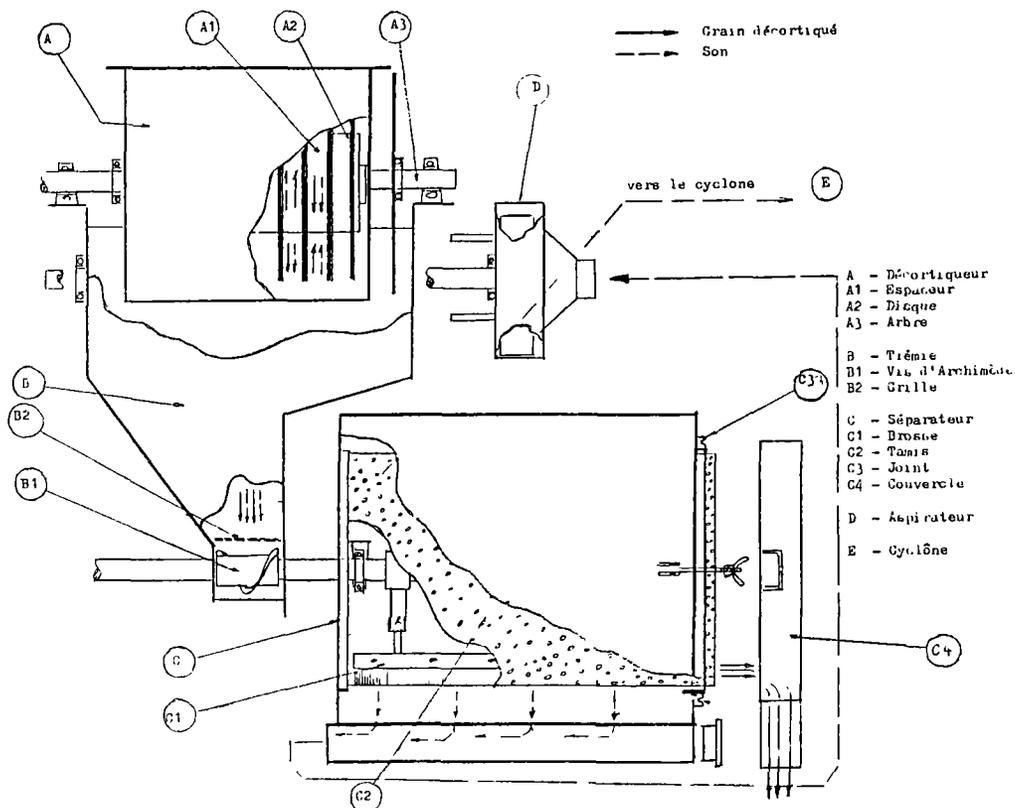


Figure 4. Mini-PRL améliorée.

Résultats des essais en milieu rural

Ne seront mentionnés ici que les résultats susceptibles de modifier la conception de la décortiqueuse; les autres figurant dans la communication de l'ISRA. Après 7 mois d'essais en milieu rural et dans 9 villages à conditions différentes les enseignements suivants ont été tirés :

Sur les coûts d'exploitation. Dans les villages où la charge moyenne par opération est généralement inférieure à 4 kg, les disques en résinoïde ont été usés sur 50 mm de leur diamètre au bout de 3 tonnes décortiquées. De plus, la consommation de carburant, liée à l'efficacité de décortilage est de l'ordre de 18 à 20 litres par tonne de grains entiers. Par contre, dans les villages où la charge moyenne est de l'ordre de 6 à 8 kg, les disques n'ont été changés qu'à environ 25 tonnes décortiquées et la consommation de carburant tombe à 12 – 14 litres par tonne.

Sur le comportement technique. (1) Les nombreuses manipulations de l'embrayage du moteur pour le démarrage et l'arrêt du décortilage ont quelquefois entraîné un mauvais fonctionnement de l'embrayage. (2) Après récupération de la charge décortiquée et nettoyée, il reste toujours un tantième non éjecté par les brosses à l'intérieur du séparateur. (3) L'opération de retournement-vidange de la chambre de décortilage est pénible et cause souvent des accidents à l'opérateur.

Décortiqueuse CIS (fig. 5).

Les observations tirées des essais en milieu rural du modèle amélioré de la Mini-PRL ont abouti à la mise-au-point de la décortiqueuse CIS (CRDI – ISRA – SISMAR) dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

Au niveau du décortiqueur. La chambre de décortilage (B) est constituée de deux compartiments indépendants l'un de l'autre. Elle est surmontée d'une trémie d'alimentation (A) à deux descentes, une pour chaque compartiment.

Les disques abrasifs (4 par compartiment) sont montés sur un même axe horizontal.

La vidange de chaque compartiment est assurée par une trappe basculante (B1) commandée par un câble et se fait de manière indépendante de l'autre.

L'ensemble de la chambre est boulonné sur la trémie de récupération (C).

Au niveau du séparateur. Le principe du séparateur (D) est le même que celui du modèle Mini-PRL amélioré. La forme du tamis (D1) est cependant tronconique. De plus l'auget à vis d'Archimède, permettant l'introduction du mélange grains décortiqués-son n'est plus intégré à la trémie de récupération mais est solidaire du séparateur.

L'ensemble séparateur est boulonné sur la trémie de récupération (C). Le débit d'introduction du mélange grains décortiqués-son dans le séparateur est réglé par une trappe à glissière (D2).

Au niveau de l'aspirateur. L'aspirateur (E) n'est plus monté sur son axe indépendant mais directement sur l'axe du décortiqueur.

Avantages de la décortiqueuse CIS

La division de la décortiqueuse en deux compartiments indépendants offre l'avantage de décortiquer deux charges différentes en décalant leur introduction dans la chambre. D'où une économie substantielle de carburant pour le décortilage à façon (5 à 6 litres par tonne décortiquée).

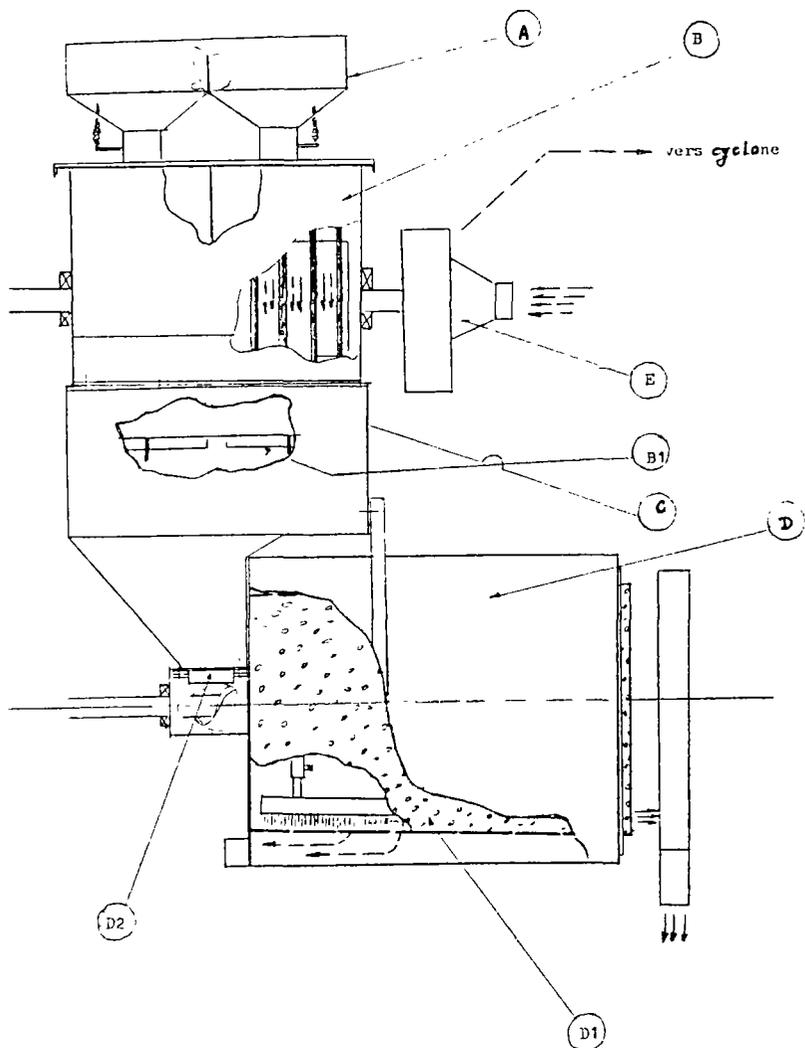


Figure 5. Décortiqueuse CIS.

Par ailleurs, dans le cas des faibles charges, un seul des deux compartiments est utilisé. Ce qui signifie que les conditions optimales de travail (meilleur décortiquage et plus longue durée de vie des disques (voir page 280) peuvent être réalisés même pour des quantités de 3 kg par charge. La forme tronconique du tamis du séparateur permet une récupération totale du grain nettoyé. Les opérations de chargement et de vidange de la décortiqueuse pouvant se faire en marche, l'embrayage sur le moteur n'est plus nécessaire. Il en est de même des deux paliers de retournement.

La nouvelle position de l'aspirateur a conduit à l'économie d'un arbre, d'une poulie, d'une courroie et deux paliers. Les vibrations, donc les sources de détérioration de la machine, ont

été réduites au minimum. Enfin, la conception modulaire de l'ensemble de la machine offre l'avantage pour l'acheteur, de pouvoir l'acquérir graduellement.

Conclusion

La décortiqueuse CIS mise au point grâce à la collaboration entre le CRDI, l'ISRA et la SISMAR est bien adaptée au décortilage des céréales locales (mil, sorgho, maïs, etc...).

Les préoccupations actuelles sont donc d'en assurer une large diffusion et de mettre en place un service après-vente fiable.

Par ailleurs, le moteur diesel étant l'intrant le plus coûteux dans une telle décortiqueuse en milieu rural, l'objectif immédiat est de mettre au point un groupe complet de transformation décortilage, nettoyage, mouture fonctionnant avec une seule unité motrice.

Les aspects liés à l'impact socio-économique de décortilage mécanique en milieu rural et urbain sont consignés dans la communication de l'ISRA.

PARTIE IV

Programme d'action

Président de séance : K. FOUA-BI

1

Valeur nutritive et comportement des céréales au cours de leurs transformations

J.C. FAVIER

ORSTOM-CIQUAL, 16, rue Claude Bernard, 75005 Paris, France

Résumé

Depuis les temps les plus reculés, les transformations des céréales ont pour but de faciliter leur stockage et leur transport ainsi que de les rendre plus agréables à consommer et plus digestibles. Les procédés industriels viennent s'ajouter ou se substituer aux procédés traditionnels pour apporter un changement d'échelle de production et un gain de productivité avec, idéalement, une plus grande diversité des produits, l'amélioration de leurs qualités et de leur disponibilité ainsi que des progrès économiques et sociaux.

Malgré quelques particularités, les différentes céréales présentent de grandes similitudes en ce qui concerne la composition chimique et la valeur nutritionnelle. De plus, les constituants biochimiques se répartissent dans les diverses régions anatomiques du grain de façon similaire quelle que soit l'identité génétique de la céréale.

C'est pourquoi les opérations technologiques qui fractionnent le grain en ses différentes régions anatomiques conduisent à des produits dont la composition évolue avec l'intensité du traitement tout en restant semblable d'une céréale à l'autre. Ainsi, pour l'ensemble des céréales, on peut dire que, très schématiquement, les farines, semoules ou grains polis sont d'autant plus concentrés en amidon et appauvris en protéines, minéraux et vitamines que le décorticage et le blutage sont intensifs; en revanche, la biodisponibilité de ces nutriments s'améliore quand la teneur en fibre diminue.

D'autres traitements, tels que ceux qui font intervenir l'action de l'eau, de la chaleur ou les fermentations, peuvent modifier la composition et les propriétés physicochimiques ou biochimiques des produits.

De tous les procédés, ceux qui conservent le mieux aux céréales leur valeur nutritionnelle sont fréquemment les procédés traditionnels. En conséquence, il faut s'attacher à les reproduire ou à les remplacer, conduisant ainsi à des produits de qualité nutritive comparable.

Les traitements des céréales après récolte ont pour but de permettre leur stockage et leur transport dans de meilleures conditions, de faciliter leur utilisation, de les rendre plus agréables à consommer et plus digestibles.

Structure et composition des grains de céréales

En considérant le grain entier de diverses céréales, on constate une grande analogie dans leur composition chimique mais aussi quelques différences (Tableau I).

— Dans toutes les espèces, le grain est essentiellement glucidique avec 60 à 75 % de glucides digestibles (amidon principalement). Les céréales apparaissent ainsi comme des aliments essentiellement énergétiques : 330 à 385 kcal/100 g.

— Le taux de fibre diététique est variable (2 à plus de 30 %). Il dépend notamment de la taille du grain, les grains de faibles dimensions (petits mils) ayant une plus grande proportion d'enveloppes.

— La teneur en protéines va de 6 à 18 % dans les cas extrêmes mais se situe le plus souvent entre 8 et 13 %. Malgré cette modicité relative, les céréales réalisent souvent à elles seules un apport protidique très important en raison de leur prépondérance dans la ration de nombreuses populations. Qualitativement, ces protéines sont médiocres : l'acide aminé limitant est la lysine; dans le cas du maïs, le tryptophane présente également un grave déficit et constitue l'acide aminé limitant secondaire. La concentration des acides aminés soufrés est plus

Tableau I. Composition des céréales (pour 100 g de grain à 10 % d'humidité).

		Blé	Sorgho	Mil	Maïs	Riz brun
Protéines	(g)	13	11	10,6	9,5	8,3
Lipides	(g)	1,8	3,2	4,1	4,0	1,6
Glucides disponibles	(g)	61,6	59,3	73,2	66	75
Fibre diététique	(g)	11	14,5		9	4
Calcium	(mg)	60	26	22	16	22
Phosphore	(mg)	312	330	286	220	250
Fer	(mg)	7,6	10,6	20,7	3,6	2,0
Thiamine (Vit. B ₁)	(mg)	0,35	0,34	0,30	0,33	0,36
Riboflavine (Vit. B ₂)	(mg)	0,12	0,15	0,22	0,10	0,06
Niagine (Vit. PP)	(mg)	6,1	5,3	4,7	3,1	7,0
Pyridoxine (Vit. B ₆)	(mg)	0,5			0,4	0,67
Acide panthoténique	(mg)	0,8	1,2	1,25	0,65	1,70
Biotine	(mg)	7			6	12

D'après F.A.O., 1970, [4].

élevée que dans les légumineuses, d'où l'intérêt de l'association des céréales et des légumineuses qui se supplémentent ainsi mutuellement.

— Les lipides sont relativement peu abondants mais ils sont extrêmement intéressants par la forte proportion des acides gras polyinsaturés.

— Les céréales sont peu minéralisées : la teneur en phosphore est élevée, celle du calcium est faible (sauf pour l'éléusine), et ne suffit pas à neutraliser tout l'acide phytique. L'acide phytique insolubilise également Mg, Zn, Fe.

— A l'exception du maïs jaune et de certains mils qui contiennent des caroténoïdes actifs, les céréales n'ont pas d'activité vitaminique A. La vitamine C fait défaut également. Les germes sont riches en vitamine E. Les vitamines du groupe B sont présentes (à l'exception de la vitamine B₁₂, mais décorticage et blutage en éliminent une bonne partie.

Structure du grain (fig. 1, Tableau II)

Composition des différents organes (fig. 2, Tableau III)

Les couches externes (péricarpe et testa) sont caractérisées essentiellement par leur teneur

— non négligeable en protéines (7 %), lipides (2 %), minéraux et vitamines du groupe B (à l'exception de la vitamine B₁₂ absente du règne végétal)

— très élevée en fibre (ou glucides pariétaux ou glucides indigestibles : cellulose, hémicelluloses, lignine qui n'est pas un glucide proprement dit). Rappelons que la fibre joue un rôle physiologique important en permettant la progression normale du bol alimentaire dans le tube digestif et en favorisant certains métabolisme (cholestérol, triglycérides). Mais elle joue aussi un autre rôle très important en diminuant la digestibilité des autres constituants de la ration, notamment les protéines.

La testa de certains sorghos pigmentés est riche en polyphénols (tanins), ce qui accroît leur résistance aux oiseaux et aux intempéries. Mais les tanins diminuent la digestibilité des protéines et du fer en se liant à eux pour former des complexes indigestibles. Par ailleurs, en colorant les farines et semoules, ils les rendent inacceptables ou moins acceptables par les consommateurs.

La couche d'aleurone est extrêmement riche du point de vue nutritionnel. Ainsi, dans le cas du blé (fig. 2), bien que constituant seulement 6 % du poids du grain, elle contient à elle seule

— 16 à 20 % des protéines du grain entier

— 31 % des lipides

— 58 % des minéraux

— 32 % de la thiamine (vitamine B₁)

— 37 à 82 % des autres vitamines du groupe B (B₂, B₆, PP, acide pantothénique).

En raison de sa concentration élevée en nutriments nobles, la couche d'aleurone est parfois appelée «couche merveilleuse». Mais il faut savoir qu'elle contient aussi une quantité notable d'acide phytique (insolubilisant des protéines et des minéraux tels que Ca, Mg, Fe, Zn) et des fibres qui diminuent la digestibilité des constituants de la ration. D'un point de vue histologique, la couche d'aleurone appartient à l'albumen maïs, comme elle adhère fortement aux enveloppes extérieures, elle suit ces dernières lors du décorticage pour constituer le son.

Le germe est riche en minéraux, protéines, lipides et vitamines. Selon les céréales, il contient à lui seul une grande partie, parfois la plus grande partie des lipides et de la vitamine E liposoluble. Le scutellum est très riche en thiamine.

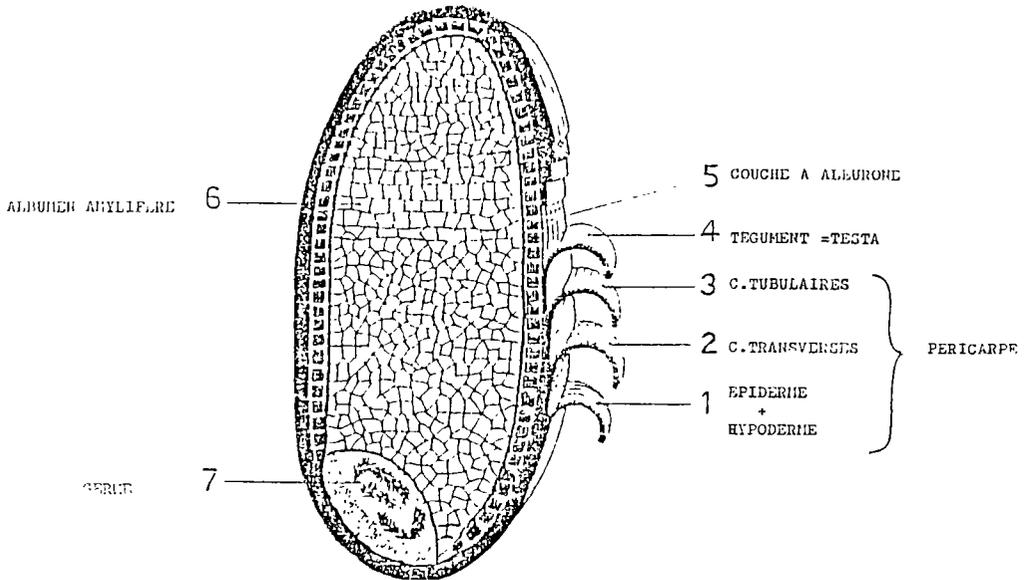


Figure 1. Structure du grain de céréale.

Tableau II. Structure des grains de céréales (% grain entier).

	Blé	Sorgho	Maïs	Riz	Mil
Albumen	82	82	83	90	60
Germe scutellum	3	10	11	4	40
Enveloppes couche à aleurone	15	8	6	6	

D'après Miche, 1980 [21].

L'albumen est la partie du grain la plus importante en volume et en poids : 60 à 90 %.. Il contient principalement de l'amidon; ses teneurs en protéines, lipides, minéraux et vitamines sont plus faibles que celles du germe et des enveloppes. De plus, la qualité nutritionnelle de ses protéines est inférieure à celle des protéines des parties périphériques du grain.

Influence des traitements technologiques

Les connaissances sur la structure et la composition biochimique des céréales permettent de mieux comprendre leur comportement à l'égard des traitements technologiques et l'influence de ces derniers sur la composition et la valeur nutritionnelle des dérivés céréaliers.

Valeur nutritive des céréales au cours de leurs transformations

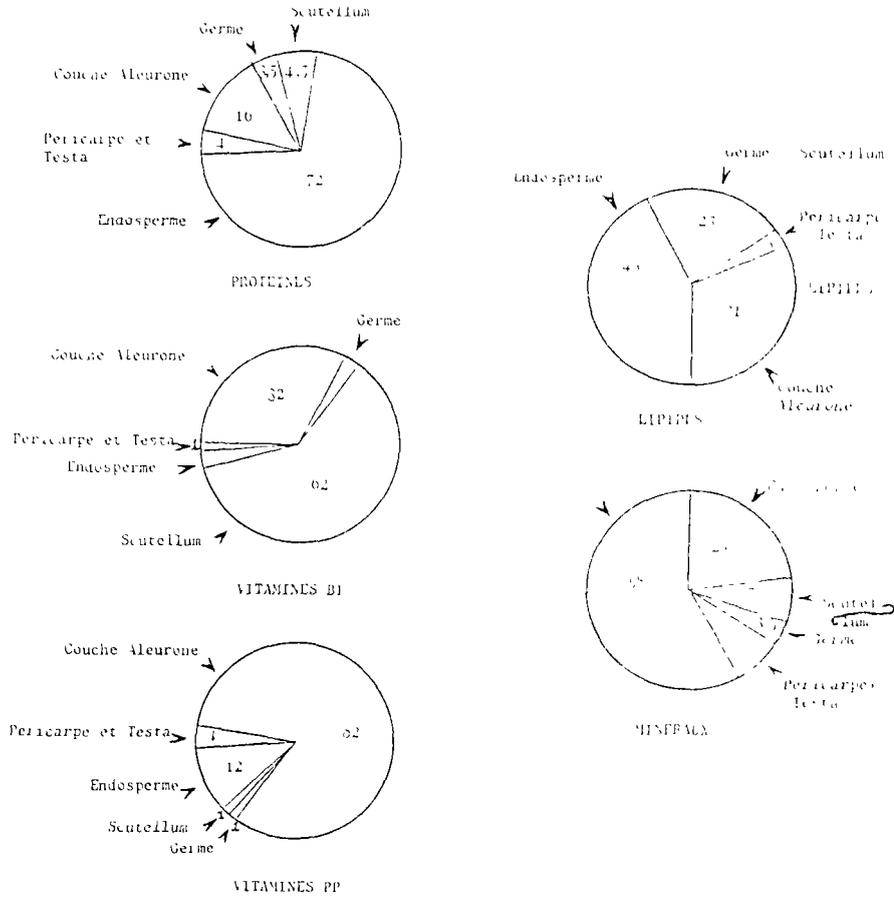


Figure 2. Distribution des nutriments au sein du grain de blé

Tableau III. Composition de diverses fractions du grain de sorgho (pour 100 g)

		Grain entier	Albumen	Germe	Son
Protéines	(g)	12,3	12,3	18,9	6,7
Lipides	(g)	3,6	0,6	28,0	4,9
Amidon	(g)	73,8	82,5	13,4	34,6
Cendres	(g)	1,65	0,37	10,4	2,0
Riboflavine	(mg)	0,13	0,09	0,40	0,10
Niacine	(mg)	4,5	4,4	8,1	4,4

D'après Hubbard et al., 1950 [19].

Séchage, battage, vannage, stockage

Le séchage permet la conservation en stoppant (ou en ralentissant fortement) le développement des microorganismes et, dans le cas des grains entiers, les phénomènes de respiration et de germination. Séchage, battage et vannage, en réduisant le poids et le volume des produits, facilitent leur stockage, leur manutention et leur transport. Parfois les céréales ne sont pas battues avant le stockage car les enveloppes qui les entourent sont une protection contre l'attaque des insecte (maïs).

Il convient de noter :

- les effets d'un séchage au soleil trop poussé qui craquelle les grains de riz (cas fréquent en Afrique)
- les pertes de certaines vitamines (thiamine, riboflavine) par séchage au soleil (rayon UV, température, oxygène de l'air); ce phénomène se retrouve aussi lors du séchage au soleil des farines, semoules, couscous, galettes, etc.
- les pertes de vitamines et les diminutions de valeur biologique des protéines au cours de la conservation en fonction de la température et de la durée.

Décortilage et mouture

L'usage alimentaire des céréales présente un double écueil : si on consomme la farine de mouture intégrale, c'est-à-dire la céréale entière, la présence d'une quantité importante de fibre, d'acide phytique et parfois de tanins (cas de certains sorghos) entraîne une nette diminution de la digestibilité de l'ensemble de la ration et, par la même, la perte notable de nutriments essentiels : protéines, minéraux, vitamines. En revanche, si l'on raffine à l'extrême la farine pour obtenir un produit correspondant au seul albumen, on consomme un aliment très énergétique car riche en amidon, d'une digestibilité élevée, mais appauvri en protéines, minéraux et vitamines. De plus, comme les protéines de haute valeur biologique se trouvent dans l'assise à aleurone, la farine très raffinée est appauvrie quantitativement et qualitativement (fig. 3 et 4; Tableau III). On a donc le choix entre consommer les céréales entières et mal les digérer ou bluter leur farine et perdre ainsi des nutriments nobles. Les deux extrêmes existent en pratique. Par exemple, pour la consommation de céréales entières, dans les cas suivants :

- maïs en Afrique, car les enveloppes du grain sont peu abondantes; les garder ne modifie pas sensiblement les qualités organoleptiques et nutritives de la farine;
- mils et sorghos consommés sous forme de farine intégrale, de couleur souvent très foncée, par des populations de montagnards du Nord-Cameroun. Les faibles superficies cultivables et les maigres ressources dont elles disposent les amènent, par économie, à ne pas rejeter le son. Bien que cette pratique alimentaire soit observée depuis des générations, il ne semble pas qu'il se soit produit une adaptation physiologique de l'organisme à la présence d'importantes quantités de fibre, de polyphénols et d'acide phytique pour en réduire les effets anti-nutritionnels [14, 15].
- riz brun (ou riz cargo ou riz décortiqué), simplement débarrassé de ses glumes et glumelles (balle). Notons ici que ce qu'on appelle décortilage du riz se limite à l'élimination de la balle pour aboutir au riz brun (ou riz cargo) encore pourvu de son péricarpe et du tégument séminal. L'élimination de ces derniers est appelé blanchiment ou polissage (le décortilage + le blanchiment étant communément désignés sous le terme d'usinage).

La consommation de céréales extra-blanches, très raffinées, existe aussi : riz très blanchi, «kourou» de sorgho, farine de blé à très faible taux d'extraction... Entre les deux extrêmes, la

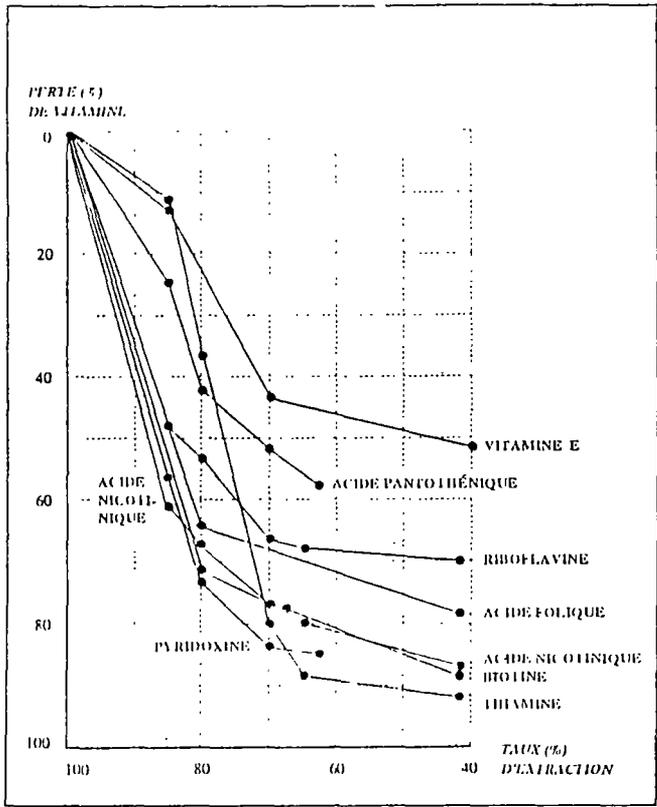


Figure 3. Relation entre le taux d'extraction et l'appauvrissement d'une farine en vitamines (d'après Moran, 1959 [22]).

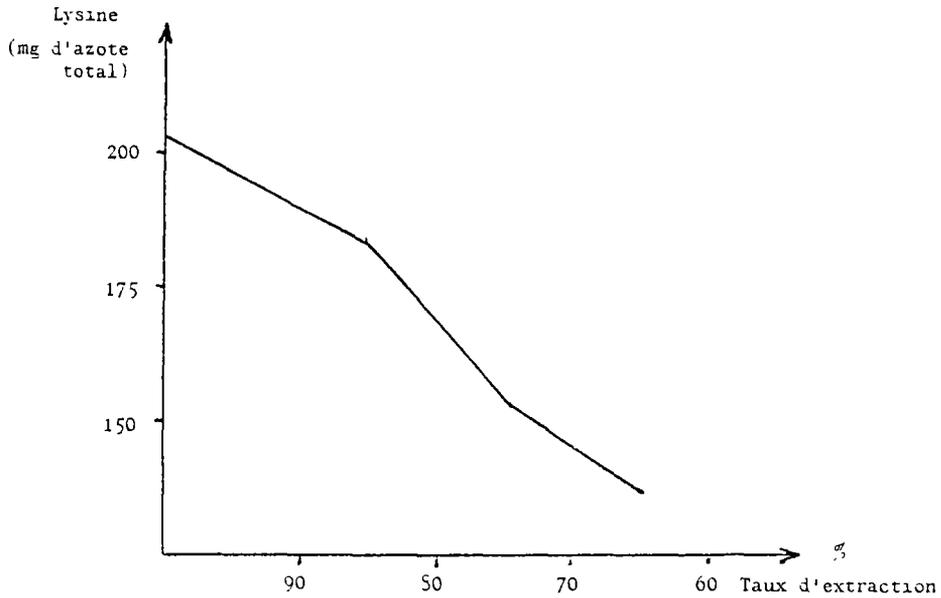


Figure 4. Relation entre taux d'extraction de la farine de blé et taux de lysine de ses protéines (d'après FAO, 1970), [4].

solution la plus souhaitable consisterait à n'éliminer que les enveloppes lignifiées en gardant l'assise à aleurone. Mais en raison de l'adhérence des couches entre elles et à l'albumen, il est toujours difficile de séparer de façon progressive et nette les diverses fractions du grain. Le décortiquage s'accompagne toujours du bris d'une certaine proportion des grains. Leurs fragments, y compris des germes, sont alors souvent éliminés avec le son. Selon les céréales et les sociétés, les procédés utilisés sont différents. Ils conduisent à des produits plus ou moins raffinés, dont la composition varie selon la nature et les proportions des fractions qu'ils contiennent.

Procédé traditionnel par pilonnage : mil, sorgho

Selon les disponibilités alimentaires, le décortiquage est plus ou moins complet et il conduit à une farine plus ou moins blanche. Les taux d'extraction de farine généralement observés sont voisins de 70-75 % permettant d'éliminer (Tableau IV) :

- les 2/3 de l'acide phytique
- plus de 70 % des glucides indigestibles du grain initial, tout en récupérant dans la farine :
 - les 3/4 de la valeur énergétique,
 - 70 % des protéines,
 - 35 % des lipides,
 - 59 % du calcium,
 mais seulement 30 à 40 % des vitamines du groupe B.

Le pilonnage modéré du riz détache d'abord surtout les balles et fournit un riz décortiqué de couleur brune, encore pourvu de la plus grande partie du péricarpe et du tégument séminal. Ce riz brun a une valeur nutritionnelle intéressante car il est déjà débarrassé d'une partie des glucides indigestibles tout en conservant une bonne part de l'assise à aleurone et du

Tableau IV. Décortiquage et broyage traditionnels du sorgho (pourcentage de récupération par rapport au sorgho initial)

	Son	Farine (extraction = 70-75 %)	Farine lavée (extraction = 50 %)
Energie métabolisable	12	75	51
Protéines	20	69	41
Lipides	35	35	13
Indigestible glucidique	65	28	12
Ca	23	59	10
P. total	35	41	8
P. physique	39	36	9
Thiamine (Vit. B ₁)	35	40	5
Riboflavine (Vit. B ₂)	33	33	23
Niacine (Vit. PP)	39	30	13

D'après Favier, 1977 [16].

scutellum riches en protéines et vitamines. La consommation de ce riz n'est pas béribérogène car il conserve une teneur notable en thiamine..

Le blanchiment du riz peut être obtenu en poursuivant le pilonnage : on obtient un riz plus blanc, encore plus dépourvu de fibre, mais appauvri en nutriments nobles (protéines, vitamines, minéraux) et renfermant de plus en plus de grains cassés.

Étuvage du riz

C'est un procédé d'origine indienne, très ancien et très connu, qui a de nombreux avantages. Il comporte 3 stades distincts :

- trempage du riz paddy dans l'eau pendant 48 à 72 heures afin de porter son taux d'humidité aux environs de 30 %;
- passage du paddy égoutté mais gonflé d'eau pendant environ 1 heure à la vapeur, jusqu'à ce que la balle commence à se fendre et que le grain devienne tendre;
- séchage, souvent au soleil, pour ramener le taux d'humidité aux environs de 14 % et redonner au grain sa dureté.

Les avantages sont nombreux et importants :

- la valeur nutritive du riz étuvé est supérieure à celle du riz non étuvé, pour un même degré d'usinage car, pendant l'étuvage, une partie des vitamines et des sels minéraux diffuse dans l'albumen et ne sera pas éliminée avec le son;
- la balle étant fendue, le temps et l'énergie nécessaires pour effectuer le pilonnage ou l'usinage sont sensiblement réduits;
- le rendement à l'usinage est meilleur car les grains durcis se brisent moins facilement, en particulier lors du pilonnage à la main;
- les grains durcis se conservent mieux et sont plus résistants à l'attaque des insectes;
- le riz étuvé donne de meilleurs résultats à la cuisson car il gonfle bien, absorbe plus d'eau sans devenir collant et il abandonne moins de particules solides dans l'eau de cuisson (ce qui est une qualité supplémentaire sur le plan nutritionnel).

Les modalités de l'étuvage traditionnel sont nombreuses suivant les régions et les sociétés. On le rencontre dans certains pays d'Afrique de l'Ouest. En raison de ses avantages, il est important d'encourager sa pratique. Même au Sahel, où pourtant le combustible fait défaut, l'utilisation de ce procédé est souhaitable car il permet d'obtenir un riz usiné de bonne qualité à partir d'un paddy desséché et craquelé par le soleil.

Divers procédés d'étuvage faisant appel à un matériel simple et disponible dans les pays en développement ont été mis au point [8].

Broyage traditionnel à la meule

Le broyage des grains peut être effectué entre deux pierres : meule tournante ou meule dormante. Cette dernière se rencontre en Afrique au sud du Sahara. Elle est utilisée pour la mouture sèche ou pour la mouture par voie humide. La mouture du sorgho par voie humide à la meule dormante conduit, dans certains cas (kourou du Cameroun), à une farine lavée et décantée plusieurs fois dans l'eau, de sorte que son taux d'extraction (Tableau IV) ne dépasse pas 50 %, avec environ 90 % de la fibre et de l'acide phytique éliminés, mais aussi des pertes de :

- 60 % des protéines
- 90 % du calcium et 92 % du phosphore total
- 95 % de la thiamine
- 77 % de la riboflavine
- 87 % de la niacine.

La préparation de cette farine de sorgho par lavage à l'eau, telle que nous l'avons observée au Cameroun, comporte un véritable lessivage des éléments nutritifs et conduit à un gaspillage considérable.

Procédés mécaniques de décortiquage et de mouture

Le décortiquage et le blanchiment du riz sont maintenant effectués, de plus en plus souvent, par divers types d'appareils mécaniques. Si ces machines ont l'avantage de soulager les ménagères d'un travail pénible, elles présentent souvent l'inconvénient d'effectuer un usinage excessif avec faible rendement de grains entiers et pertes élevées de nutriments nobles dans le son et les germes, d'où des risques de carence, notamment en thiamine.

La forme des grains de sorgho et de mil rend possible leur décortiquage par abrasion. Mais les moulins mécaniques sont utilisés le plus souvent pour écraser le sorgho préalablement décortiqué par pilonnage ou le maïs.

Les mesures effectuées au Cameroun [16] ont montré que le broyage au moulin à moteur provoque, par échauffement, la perte de 40 % de la thiamine initialement présente dans le sorgho décortiqué soumis à broyage.

Les moulins mécaniques sont utilisés également pour le broyage à sec du maïs et du sorgho entier, non décortiqué. Mais en raison de sa friabilité, le son de sorgho est réduit en particules de dimensions comparables à celles de la farine et il n'est plus possible de les séparer par simple tamisage. Par ailleurs, la mouture à sec du sorgho par moulin à moteur nécessite plus d'énergie, d'où un coût plus élevé et, sans doute aussi, un échauffement plus important avec des conséquences fâcheuses sur les vitamines.

En résumé, le décortiquage et la mouture entraînent des pertes considérables lorsque le son et les germes sont éliminés. Les pertes de nutriments vont croissant avec le taux de blutage et il est nécessaire de trouver un compromis entre la qualité organoleptique, la commodité d'emploi et la valeur nutritive (fig. 3 et 4).

Cuisson

Les effets de la cuisson ménagère sur la composition des dérivés céréaliers africains n'ont pas fait l'objet de nombreux travaux. Mais tout porte à croire que les modifications apportées aux aliments sont les mêmes que celles qui se produisent sous d'autres climats, à savoir :

— gonflement et gélinification de l'amidon qui devient ainsi très rapidement attaquant par les enzymes digestives;

— solubilisation dans l'eau de cuisson de matières minérales et de vitamines hydrosolubles qui sont perdues si l'eau de cuisson est rejetée;

— destruction de thiamine de l'ordre de 10 à 20 %; les autres vitamines présentes étant moins sensibles [16]. La destruction est d'autant plus importante que la température est plus élevée, le temps de chauffage prolongé, le pH élevé et que des ions de métaux lourds viennent catalyser les réactions. Mais il est à noter qu'en Afrique, généralement, les temps de cuisson sont relativement courts et que l'eau de cuisson, utilisée en faible quantité, est rarement rejetée. La destruction est souvent plus importante après la cuisson si le plat est maintenu au chaud pendant longtemps.

— à plus hautes températures, par exemple au four lors de la cuisson de pains, biscuits, galettes, des nutriments précieux peuvent subir des dommages, notamment la thiamine ainsi que la lysine qui donnent avec les sucres réducteurs des complexes inutilisables par l'organisme (R. de Maillard).

Cuisson alcaline du maïs

Elle favoriserait la transformation en niacine des faibles quantités de tryptophane que contient le maïs, ce qui expliquerait la faible incidence de la pellagre dans les populations mexicaines qui pratiquent ce procédé sous le nom de nixtamalisation [12, 20].

Autres procédés de cuisson

La préparation de céréales soufflées ou éclatées, ainsi que la cuisson-extrusion ont des effets dommageables sur la lysine (R. de Maillard) et les vitamines, en particulier la thiamine. La cuisson-extrusion diminuerait aussi l'indigestibilité de la fibre. La quantité de lysine rendue indisponible est d'autant plus importante que la température d'extrusion est plus élevée et le taux d'hydratation plus faible. Les pertes de méthionine et de cystéine seraient sensibles également, celles du tryptophane ne se produisant qu'à température très élevée (210° C). Les pertes de vitamines sont d'autant plus élevées que la température d'extrusion et le cisaillement sont importants [18].

Fermentation

Les aliments préparés par fermentation à partir de produits céréaliers sont nombreux dans le Monde.

1. Rappelons que la fermentation panaria ne peut être utilisée avec les farines de mil, sorgho, maïs ou riz qu'à la condition que ces dernières soient mélangées en proportions relativement faibles avec des farines panifiables ou que soient employés des additifs ou des modifications de l'amidon.

2. Des fermentations se produisent fréquemment sur les produits humides (farines, semoules, couscous, bouillies, pâtes...) dès qu'ils sont laissés de quelques heures à plusieurs jours à température ambiante. Il s'agit généralement de fermentations lactiques qui font naître un goût aigrelet accompagné d'arômes particuliers souvent appréciés et recherchés. D'un point de vue biochimique, on observe des modifications de taux de vitamines du groupe B variables selon les microorganismes en présence. On observe fréquemment des synthèses de thiamine et de riboflavine mais il peut y avoir aussi, au contraire, consommation de vitamines par les microorganismes.

3. Les boissons alcooliques fabriquées à partir de céréales sont multiples. Citons pour les régions chaudes : le «saké» ou bière de riz en Asie et les nombreuses bières de maïs, sorgho ou mil en Afrique. Les fermentations qui interviennent au cours de la fabrication de ces boissons entraînent des modifications extrêmement importantes de la composition aussi bien lors de la phase de germination (maltage) que de la phase de fermentation alcoolique proprement dite. On observe :

— la transformation d'une partie de l'amidon en sucres fermentescibles puis en alcool et gaz carbonique;

— la libération d'acides aminés à partir des protéines;

— la perte ou la synthèse de vitamines du groupe B selon les microorganismes impliqués, la phase de fabrication et les modalités des procédés de préparation. Ainsi, lors de la fabrication de la bière de sorgho au Cameroun [13], on retrouve dans le produit final tel que consommé 45 % de riboflavine de plus que dans le grain de sorgho initial et 59 % de plus de thiamine. La préparation, toujours dans la même région, d'une autre boisson alcoolique à partir du sorgho se traduit en moyenne par un gain de riboflavine de 30 % alors que la thiamine supporte

une perte de 35 % et la niacine une perte de 13 %. Selon certains auteurs (Périsse 1959, [13]), la vitamine B₁₂, absente du règne végétal, serait même synthétisée au cours de la fabrication de la bière de mil.

Lorsqu'on fait le bilan général de la fabrication de ces boissons, on constate globalement que [16] :

— on ne récupère dans la boisson que 30 à 56 % de la valeur énergétique de 20 à 40 % des matières azotées du sorgho initial; du point de vue de la valeur énergétique et des protéines, il est donc plus intéressant de consommer le sorgho sous forme de farine;

— sur le plan minéral, les rendements de la fabrication de boissons alcooliques et de farine se valent;

— sur le plan vitaminique, la transformation en bière est nettement plus avantageuse que la consommation sous forme de farine en ce qui concerne les vitamines B₁, B₂ et B₁₂.

Extraction industrielle des dérivés de céréales

Depuis quelques décennies, les céréales sont utilisées par les pays industriels comme sources de constituants purs exploités pour leurs propriétés dites fonctionnelles ou pour préparer des aliments de composition bien contrôlée. Il s'agit de récupérer les constituants du grain dans un état suffisamment pur pour pouvoir les utiliser séparément. C'est surtout le maïs qui est exploité ainsi, mais aussi, de plus en plus, le blé et, aux USA, le sorgho [17].

Conclusions

Les procédés traditionnels de transformation des céréales présentent un certain nombre d'avantages et d'inconvénients. Il est difficile de dire si les techniques plus modernes leur sont préférables. Ainsi, on ne peut que se féliciter des procédés de blutage au pilon et au mortier qui laissent à la farine plus de nutriments nobles (protéines, minéraux, vitamines) et une proportion de fibres plus raisonnable que ne le font les techniques mécanisées. Mais les procédés traditionnels sont souvent longs, fastidieux, fatigants et contraignants pour la ménagère. Les cuissons sont généralement courtes par manque de combustible; on ne peut donc leur reprocher de détruire les vitamines; les fermentations ont le mérite d'enrichir les aliments en certaines vitamines, notamment en riboflavine qui fait souvent défaut dans les rations africaines. La consommation des bières de mil, sorgho ou maïs contribue à accentuer le déficit en céréales des pays du Sahel, mais elle apporte de précieuses vitamines (B₂, B₁₂) et tient un rôle social important. Enfin, l'étuvage du riz est un procédé intéressant tant sur le point nutritionnel que technologique.

Références

Ouvrages généraux

1. Adrian J, Jacquot R. (1964). *Le sorgho et les mils en alimentation humaine*. Vigot, Paris.
2. Bender AE. (1978). *Food processing and nutrition*. Academic Press, London.
3. Campbell-Platt G. (1987). *Fermented food of the World*. Butterworths, London.

4. FAO. (1970a). *Table de composition des aliments à l'usage de l'Afrique*. FAO, Rome.
5. FAO. (1970b). *Teneur des aliments en acides aminés et données biologiques sur les protéines*. FAO, Rome.
6. FAO. (1984). *Pertes de qualité des grames alimentaires après la récolte*. Etude FAO Alimentation et Nutrition n° 29. FAO, Rome.
7. FAO. (1983). *Traitement et stockage des céréales vivrières par les ménages ruraux*. Bull Services agric FAO n° 53. FAO, Rome.
8. FAO. (1986). *L'étuvage du riz*. Bull Service agric FAO n° 56. FAO, Rome.
9. Fondation RONAC. (1987). *Les apports du blé et des aliments céréaliers dans l'équilibre alimentaire*. Fondation RONAC, Paris.
10. Hulse JH. (1980). *Polyphenols in cereals and legumes*. Int Dev Res Centre, PO Box 8500 Ottawa.
11. SCET-Agri. (1982). *Technologie des céréales traditionnelles dans les pays du Sahel Son rôle dans l'autosuffisance alimentaire*. Les corollaires technologiques n° 184, Ministère de la Coopération, Paris.

Articles originaux

12. Bressani, Paz, Scrimshaw. (1958). Chemical changes in corn during preparation of tortillas. *Agric Food Chem*.
13. Chevassus-Agnès S, Favier JC, Joseph A. (1976). Technologie traditionnelle et valeur nutritive des bières de sorgho du Cameroun. *Cah Nutr Diététique*; II, 89-104.
14. Cornu A, Delpeuch F. (1981). Effect of fiber in sorghum on nitrogen digestibility. *Am J Clin Nutrition*; 34 : 24-54.
15. Cornu A, Delpeuch F. (1986). Effets de l'ingéré en fibres alimentaires sur la digestibilité des lipides chez une population africaine consommatrice de sorgho. *Ann Nutr Metabolism*; 30 : 227-232.
16. Favier JC. (1977). Valeur alimentaire de deux aliments de base africains : le manioc et le sorgho. *Trav et Doc ORSTOM*, Paris.
17. Godon B. (1986). Transformation : industries de cuisson et industries de fractionnement. In : *Fondation Française pour la Nutrition. Dossier Céréales : Conditions de production et de transformation des céréales et qualité nutritionnelle*. Bull. n° 30, Fondation Française pour la Nutrition, Paris.
18. Guérivière (de la) JF, Mercier C, Baudet L. (1985). Incidences de la cuisson-extrusion sur certains paramètres nutritionnels de produits alimentaires notamment céréaliers. *Cah Nutr Diét*; 20, (3) : 201-210.
19. Hubbard JE, Hall HH. (1950). *Cereal Chem*; 27 : 415.
20. INCAP. (1972). Nutritional improvement of maize. INCAP, Guatemala.
21. Michel JC (1980). Utilisation potentielle du sorgho dans un système intégré de mouture et de pastification. In : *L'amélioration des systèmes post-récoltes en Afrique de l'Ouest*. Agence de coopération culturelle et technique, Paris.
22. Moran T. (1959). Nutritional significance of recent work on wheat, flour and bread. *Nutr Abstr Rev*; 29 : 1-16

2

Les produits céréaliers dans l'alimentation de sevrage du jeune enfant en Afrique

J.C. DILLON

Institut national agronomique de Paris-Grignon, 78850 Thiverval Grignon, France

Résumé

Dès l'âge de 4 à 6 mois, le lait maternel devient insuffisant pour assurer seul la croissance du nourrisson et il faut recourir à des sources de calories complémentaires.

Traditionnellement, la mère introduit les bouillies de céréales à base de mil, sorgho, riz ou maïs selon les régions. Toutefois, après cuisson, ces bouillies présentent une forte viscosité et il est nécessaire de les diluer avant de les administrer à l'enfant.

Du fait de cette dilution, les bouillies de sevrage ont une densité calorique insuffisante pour couvrir les besoins énergétiques de l'enfant d'où risque de malnutrition.

Pour réduire la forte hydrophilicité de l'amidon de céréales à la cuisson, et ainsi augmenter la densité calorique des bouillies de sevrage, on peut avoir recours à la précuisson de la farine voire à la cuisson-extrusion. Ces technologies, bien au point, n'ont eu jusqu'ici que peu d'impact sur la malnutrition de l'enfant en Afrique.

L'expérience acquise dans de nombreux pays a conduit l'UNICEF à préconiser le recours à des techniques simples utilisables par la mère au village tout particulièrement la fermentation des céréales et la germination des graines de céréales.

La fermentation est utilisée traditionnellement dans de nombreux pays («Ogi» au Nigéria, «Uji» au Kenya, «Kenkey» au Ghana...), cette fermentation lactique permet d'obtenir un porridge à saveur acide bien accepté par les enfants.

La germination des graines permet une pré-hydrolyse des grains d'amidon grâce à la richesse en amylase de l'embryon. Il est également possible d'obtenir le même résultat par adjonction à la bouillie d'une petite quantité de farine germée.

A la lumière des résultats récents, on discutera les avantages respectifs de ces techniques et ce que l'on peut en attendre dans la lutte contre la malnutrition du jeune enfant lors du sevrage.

Introduction

Les produits céréaliers ont, de tout temps, constitué en Afrique la source d'alimentation complémentaire permettant au nourrisson de franchir la période difficile du sevrage : c'est-à-dire du passage d'une alimentation lactée exclusive, liquide, à une alimentation diversifiée, solide.

C'est au 5^e-6^e mois, alors que la quantité de lait maternel devient insuffisante et ne permet plus de satisfaire les besoins de l'enfant, que la mère africaine introduit les bouillies de sevrage; c'est ainsi qu'au Sénégal, elle prépare une bouillie de mil ou de sorgho, cuite à l'eau, appelée «rouye», ou une bouillie de riz.

C'est alors que l'enfant, jusque-là vif et enjoué, au rythme de croissance harmonieux, présente un ralentissement de sa courbe de croissance, et dans les cas limites où la mère ne nourrit plus ou presque plus, qu'apparaissent des signes de malnutrition protéino-énergétique.

A quoi relier cette malnutrition ?

Doit-on incriminer une carence en protéines et en acides aminés : on sait que les céréales ont une teneur faible en lysine, acide aminé essentiel et que, de ce fait, la valeur biologique des protéines de céréales est bien inférieure à celle des protéines animales ?

En réalité, on le sait aujourd'hui, l'enfant est victime avant tout d'une carence en énergie : la teneur en calories par unité de volume de ces bouillies est trop faible, aussi faudrait-il lui donner un volume considérable de bouillie au cours de la journée pour couvrir ses besoins en énergie, ce que la capacité de l'estomac ne permet pas.

Je vous propose d'analyser la nature de ce phénomène afin de dégager des solutions adaptées pour éviter que le jeune enfant africain nourri de bouillies de céréales ne soit pas exposé à la malnutrition et à ses conséquences.

Examinons la nature physique d'une bouillie.

Pour qu'une bouillie soit acceptable pour le jeune enfant, elle doit avoir une consistance optimale : ni trop fluide, ni trop épaisse. Cette viscosité se mesure en poise grâce à un viscosimètre et l'on admet que la viscosité optimale, permettant une déglutition facile chez le nourrisson est de 1 600 centipoises.

Voici comment évolue la viscosité d'une bouillie à base de pomme de terre, de maïs et de blé lors de la cuisson, puis lors du refroidissement (précisons que ces 3 bouillies ont une même densité calorique, fixée ici à 113 Kcal pour 100 ml) (fig. 1).

En élevant la température, les grains d'amidon changent d'aspect, c'est le phénomène d'empesage : les grains gonflent, fixent de l'eau, d'où une augmentation de la viscosité (en particulier pour l'amidon de pomme de terre). Lorsque la température dépasse 80 °C, ils se dispersent dans le milieu : l'amylose et l'amylopectine passent en solution colloïdale, aussi la viscosité diminue-t-elle. Lors du refroidissement, le système se gélifie, formant une structure tridimensionnelle, et la viscosité augmente à nouveau.

Remarquez que selon l'origine végétale de l'amidon, ces phénomènes varient considérablement.

Remarquez également que la viscosité d'une bouillie de maïs à 40 °C, qui est la bonne température pour l'enfant, est supérieure à 1 600 centipoises; la bouillie est trop épaisse pour être administrée telle quelle. La mère va donc devoir la diluer. Résultat : le produit final a une densité calorique encore plus faible (on passe de 113 Kcal à 50 Kcal/100 ml en moyenne).

Comment faire pour augmenter la densité calorique de ces bouillies de céréales ?

Deux possibilités soit en réduisant le gonflement des grains d'amidon, soit en modifiant la structure des grains d'amidon de telle façon qu'ils absorbent moins d'eau lors de la cuisson.

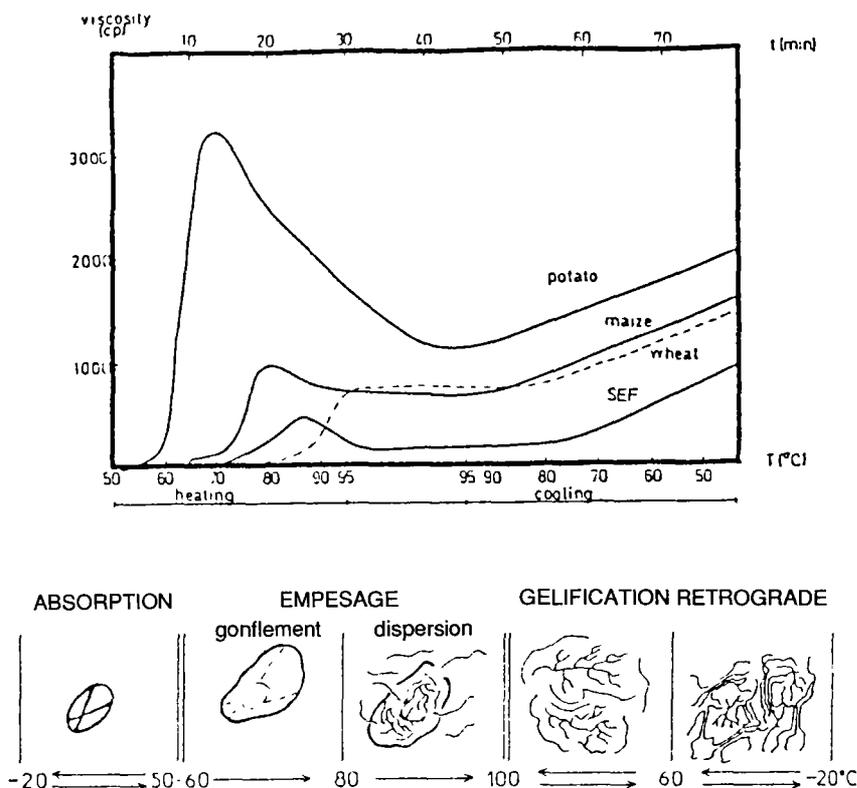


Figure 1. Viscosité des bouillies de céréales en fonction du traitement thermique subi.

Il est, en effet, possible de réduire le gonflement des grains par adjonction de lipides : les graisses diminuent la viscosité et, en outre, apportent des calories sous forme concentrée.

Quant à modifier la structure des grains d'amidon pour les rendre moins hydrophiles, il est possible de réaliser une pré-hydrolyse de l'amidon de plusieurs manières.

Je ne ferai qu'évoquer ici des techniques sophistiquées telles que la cuisson-extrusion ou la pré-cuisson de la farine de céréales sur cylindres chauffés par laquelle on fabrique des farines infantiles dites instantanées : ces techniques sont trop coûteuses.

Je voudrais insister sur deux techniques simples, bon marché, acceptées par les mères et qui permettent d'obtenir des farines de sevrage de haute densité calorique et de faible viscosité faisant appel à des méthodes traditionnelles. Ces deux techniques sont la fermentation et la germination des céréales.

Fermentation des céréales

Les produits céréaliers fermentés sont employés de longue date dans l'alimentation en Afrique ; c'est le cas de *l'ogi* au Nigéria qui est un porridge acide à base de maïs, de *l'uji* au

Kenya fait à base de sorgho, de mil ou de manioc, et du *kenkey* au Ghana pour n'en citer que quelques-uns.

Arrêtons-nous quelques instants au mode de préparation de l'ogi, très largement consommé au Nigéria. Les grains de maïs, après lavage, sont laissés à tremper pendant un jour ou deux dans une eau tiède. Après égouttage, les grains sont écrasés au mortier. Ensuite, on filtre sur tamis afin d'éliminer les enveloppes et le germe. On laisse sédimenter le filtrat et le sédiment est mis à fermenter à 30-32 °C pendant 1 à 3 jours, ce qui le rend acide, (fig. 2).

La cuisson de l'ogi produit un porridge (appelé *pap*) qui constitue un aliment de sevrage employé dès l'âge de 7 mois au Nigéria. Il s'agit donc d'une fermentation acide qui se déroule spontanément sans addition de ferment. Ce sont les micro-organismes présents à la surface du grain de maïs qui induisent la fermentation. Cette fermentation de type lactique est due surtout à *Lactobacillus plantarum*, à un *Corynebacterium* et à *Saccharomyces cerevisiae*.

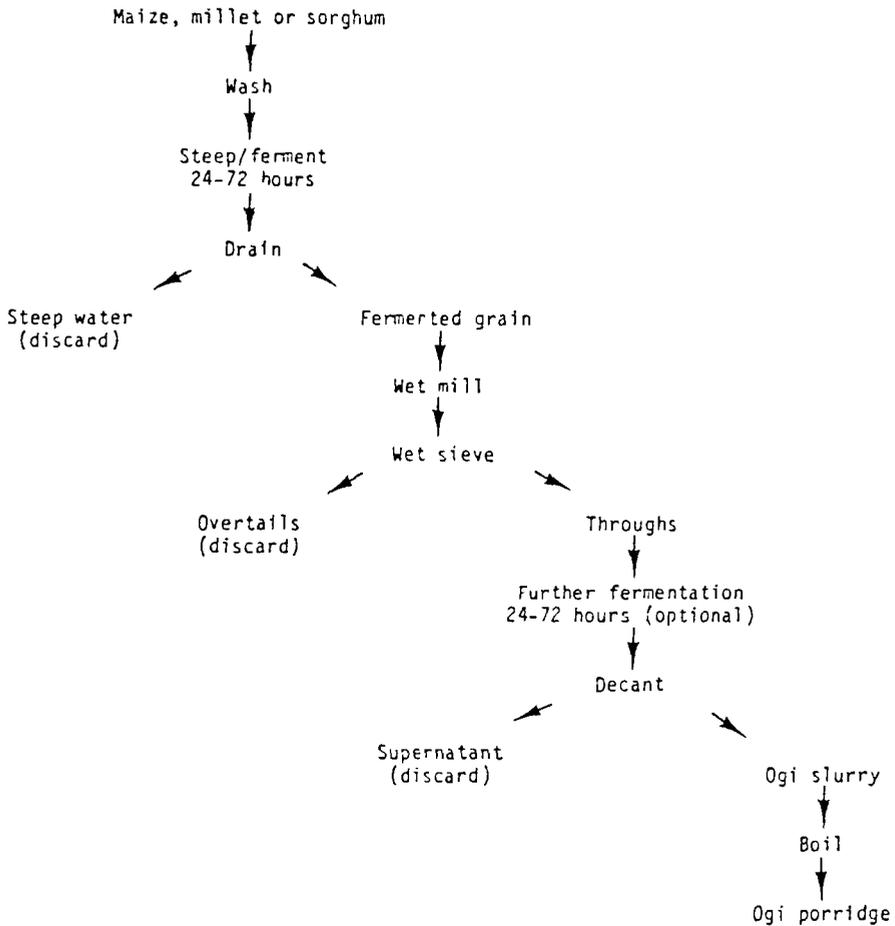


Figure 2. Diagramme de préparation traditionnelle du «Ogi».

Avantages de la fermentation

Outre ses qualités organoleptiques très appréciées de enfants et des adultes au Nigéria, l'ogi présente une faible viscosité en raison de l'hydrolyse partielle de l'amidon qui s'est opérée en cours de fermentation. En outre, et de ce fait, la digestibilité de l'ogi est supérieure à celle du maïs. Ces qualités le rendent intéressant chez l'enfant malade, sans appétit, qui accepte en général mieux ce porridge de maïs acide.

Mais surtout la densité calorique est presque doublée par fermentation; en effet, pour obtenir une consistance acceptable, on ne peut guère dépasser 12 g de produit sec pour 100 ml, alors que l'on peut utiliser 20 g de farine fermentée de sorte que de 48 kcal, on passe à 85 kcal pour 100 ml.

Bien que les conditions de préparation de ces porridges semblent favorables au développement de bactéries pathogènes, il n'en est rien : soit que l'acidité du milieu s'oppose à la pullulation microbienne, soit que certains composés chimiques produits en cours de fermentation (acides butyrique, propionique, acétique) aient une activité anti-microbienne. Il a même été démontré, en Tanzanie et en Indonésie, que ces porridges acides jouaient un rôle favorable au cours des diarrhées de l'enfant.

Inconvénients de la fermentation

Toutefois, la préparation de ces bouillies fermentées demande beaucoup de travail de la part de la femme : l'ogi est préparé 2 à 3 fois par semaine, aussi constate-t-on une désaffection vis-à-vis de ces produits. Désaffection que favorise l'urbanisation et peut-être aussi une certaine influence occidentale qui n'encourage pas la consommation de produits fermentés (à l'exception du yaourt...). En réalité, l'inconvénient nutritionnel de l'ogi réside dans le maïs lui-même, dont la teneur en protéines et en particulier en lysine et en tryptophane est faible. De plus, les différentes opérations de mouture, de lavage etc. diminuent encore ces teneurs (Tableau I).

C'est dire que l'ogi ne constitue pas, malgré sa bonne consistance pour l'enfant, un aliment complet de sevrage. Il est nécessaire que la mère continue l'allaitement pour apporter les protéines complémentaires, ou bien que l'ogi soit enrichi en protéines végétales. Le FIRO à Lagos a mis au point une farine de sevrage à base d'ogi et de protéines de soja : le soyogi.

Si j'insiste sur l'ogi, c'est parce que les aspects bactériologiques et biochimiques de cette fermentation ont été bien étudiés, mais il existe bien d'autres préparations de céréales fermentées, jusqu'à 20 pour le maïs, dont le kenkey, l'uji, etc.

Je pense qu'il est du devoir des technologues alimentaires africains de faire en sorte que ces technologies traditionnelles, qui ont fait la preuve de leur utilité nutritionnelle pour l'enfant, ne tombent pas en désuétude.

Germination des céréales

La deuxième technique permettant l'obtention de bouillies de faible viscosité et de bonne valeur calorique est la germination des graines de céréales. La technique est simple : on laisse tremper les graines pendant un jour ou deux puis on les laisse germer durant 24 à 48 heures à température ambiante. Le séchage s'opère en air chaud à 65 °C.

Après avoir été débarrassées des tigelles, les graines sont moulues.

Tableau I. Valeur nutritive des produits à base de maïs

	Nutrient level (dry weight basis)		
	Whole maize meal	Steeped maize	Fermented ogi
Moisture content (%)	11.12	54.35	4.61
Crude protein (%)	13.00	8.63	9.21
Fat (%)	4.07	4.06	5.13
Crude fiber (%)	1.75	0.74	0.72
Soluble carbohydrate (%) (by difference)	77.56	85.85	84.28
Ash content (%)	3.62	0.72	0.66
Calcium (mg/100 g)	186.00	86.60	76.60
Phosphorus (mg/100 g)	333.50	223.50	183.50
Iron (mg/100 g)	27.10	15.70	16.70
Thiamine (B ₁) (mg/100 g)	0.17	0.06	0.11
Riboflavin (B ₂) (mg/100 g)	0.20	0.07	0.08
Niacin (B ₃) (mg/100 g)	1.66	0.68	0.85
Pyridoxine (B ₆) (mg/100 g)	0.01	0.00	0.01
Folic acid (mg/100 g)	0.08	0.05	0.05
Pantothenic acid (mg/100 g)	0.06	0.04	0.01
Biological value	54.75 ±2.24	45.58 ±1.73	43.57 ±2.83
Net protein utilization	52.10 ±2.86	45.58 ±1.73	43.57 ±2.90
Protein efficiency ratio (PER)	1.19 ±0.01	0.86 ±0.25	0.77 ±2.90
True digestibility coefficient	95.48 ±1.73	96.54 ±0.24	96.71 ±1.00

La germination transforme en partie les protéines et l'amidon contenus dans les grains en acides aminés libres et en dissaccharides directement assimilables par la plantule et donc par l'homme. Cette hydrolyse est le résultat de l'action d'alpha-amylases et de bêta-amylases qui atteignent un taux maximum après 48 heures de germination.

La microscopie électronique à balayage, que nous devons à M. Gallant [11], montre clairement les différentes phases de l'attaque du granulé d'amidon par l'alpha-amylase pancréatique. Il se forme des pores qui sont à l'origine de canaux de corrosion, permettant l'hydrolyse des parties moyennes du grain.

Cette hydrolyse partielle diminue la viscosité des bouillies de sorte qu'est possible l'augmentation de la quantité de farine de 2 à 3 fois tout en conservant une consistance acceptable pour l'enfant (fig. 3 et 4).

Des chercheurs indiens [10] ont même préconisé l'utilisation de petites quantités de farine de mil maltée riche en amylase 5 % soit autant que dans l'orge germée) pour réduire la viscosité des bouillies de riz. Cette technique permet également de fluidifier les bouillies de

Produits céréaliers dans l'alimentation de sevrage du jeune enfant

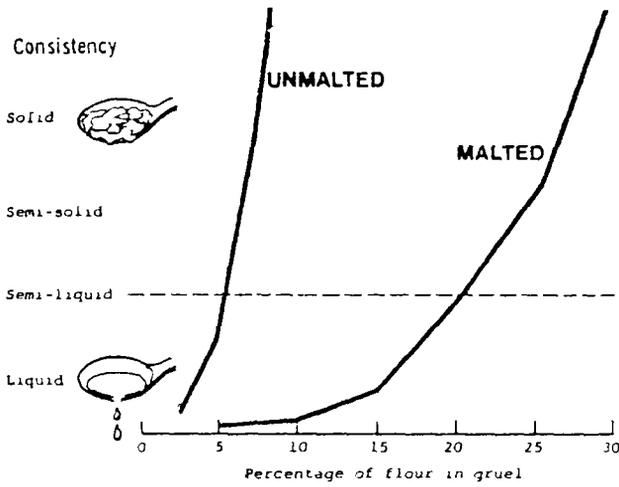


Figure 3. Consistance des bouillies de céréales maltées/non maltées en fonction de la quantité de farine ajoutée à l'eau.

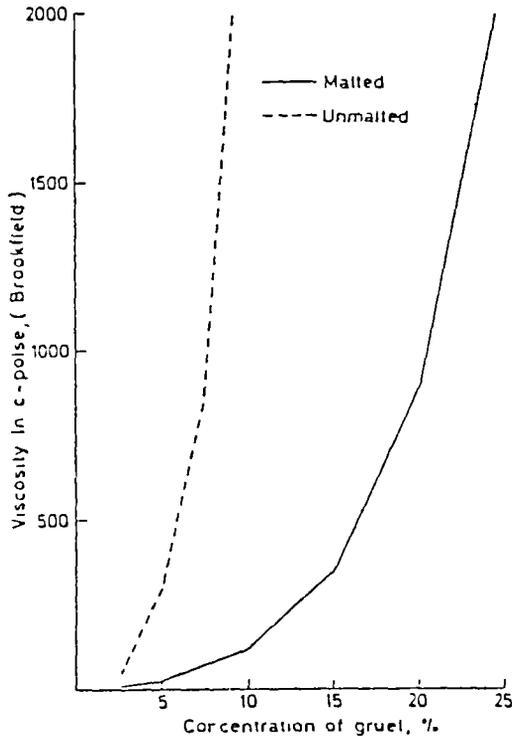


Figure 4. Viscosité des bouillies de céréales maltées/non maltées en fonction de la quantité de farine ajoutée à l'eau.

mais. Mais ces auteurs mettent en garde contre une utilisation trop abusive des amylases : en effet, une bouillie de céréales rendue trop liquide, ayant la consistance du lait, pourrait selon eux être utilisée par les mères de jeunes nourrissons comme un substitut du lait maternel entraînant des conséquences catastrophiques sur le plan nutritionnel.

Avantages de la germination

Les avantages sont nombreux :

1. Cette réduction de viscosité permet à l'enfant de prendre plus de calories à chaque repas; ainsi pour apporter à un enfant de 1 an 60 % de ses besoins énergétiques (soit 720 Kcal) sous la forme d'une bouillie de sorgho de consistance appropriée, il faut lui donner 2,5 l de bouillie par jour (à raison de 8 g de farine pour 100 ml). Par contre, si la farine est germée, il ne devra plus ingérer que 800 ml (on passe à 25 g pour 100 ml);
2. Etant en partie pré-hydrolysée, cette bouillie sera bien mieux digérée;
3. Pour enrichir la bouillie en protéines, il est facile d'associer une farine de légumineuse elle-même germée dans la proportion 70/30 et ainsi on obtient un aliment de sevrage composé à forte teneur en protéines : 11 %. L'association éleusine-haricot (*Phaseolus aureus*) germés est très employée en Inde;
4. La germination augmente la teneur en certains acides aminés comme la lysine et le tryptophane et en vitamines tels l'acide ascorbique, la niacine et la riboflavine;
5. La germination ne pose aucun problème sur le plan bactériologique ou toxicologique, puisque, à la différence de la fermentation, on ne fait pas appel à des bactéries exogènes;
6. Au plan économique enfin, la germination est un procédé bon marché, permettant aux mères les plus démunies, n'ayant pas accès aux aliments de sevrage industriels inabordables, d'avoir à disposition un aliment complémentaire du lait maternel peu coûteux.

Inconvénient de la germination

Toutefois, force est de reconnaître que la germination des céréales exige beaucoup de travail de la part de la ménagère. Sans être compliquées, les opérations sont longues. Et surtout elles nécessitent un matériel approprié pour faire tremper, germer sécher et moulin ces graines; matériel qui n'est pas toujours disponible dans les villages.

Conclusion

S'il me fallait choisir entre germination et fermentation, j'opterais sur le plan nutritionnel pour la germination, tout en sachant que la fermentation pose moins de problème, pratiques et risque donc d'être mieux acceptée par la mère. Je suis en effet convaincu que la lutte contre la malnutrition infantile qui sévit en Afrique parmi les couches les plus pauvres de la population exige le recours à des solutions technologiques simples, peu coûteuses, et surtout culturellement acceptables.

Ces solutions existent, elles sont aujourd'hui bien étudiées et leur efficacité reconnue.

C'est sans doute grâce à des rencontres scientifiques telles que celle-ci qu'elles seront un jour adoptées définitivement par la population.

Références

1. Ljungqvist B, Mellander O, Svanberg U. (1981). Dietary bulk as a limiting factor for nutrient intake in preschool children. I. A problem description. *J Trop Ped*; 27 : 7-12.
2. Hellstrom A, Hermanson AM, Karlsson A, Ljungqvist B, Mellander O, Svandberg U. (1981). Dietary bulk as a limiting factor for nutrient intake – with special reference to the feeding of preschool children. II. Consistency as related to dietary bulk – a model study. *J Trop Ped*; 27 : 127-135.
3. Brandtzaeg B, Malleshi NG, Svandberg U, Desikachar HSB, Mellander O. (1981). Dietary bulk as a limiting factor for nutrient intake – with special reference to the feeding of preschool children. III. Studies with malted flour from ragi, sorghum and green gram. *J Trop Ped*; 27 : 184-189.
4. Steinkrauss KH. (1983). Acid-fermented cereals gruels In : Handbook of indigenous fermented foods. Microbiology series, vol. 9 Marcel Dekker pp, 189-238.
5. Tomkins A, Alnwick D, Haggerty P. (1987). Household level Food Technologies for improving young child feeding in Eastern and Southern Africa. UNICEF, Workshop, Nairobi, Oct. 1987.
6. Cameron M, Hofvander Y. (1976). Manual on feeding infants and young children. PAG, United Nations, New York.
7. Aisien A. (1982). Enzymic modification of sorghum endosperm during seedling growth and malting. *J Sc Food Agric*; 33 : 754-759.
8. Wang YD, Fields ML. (1978). Germination of corn and sorghum in the home to improve nutritional value. *J Food Science*; 43 : 1113-1115.
9. Malleshi NG, Desikachar HSR (1982). Formulation of a weaning food with low hos-paste viscosity based on malted ragi (*Eleusine coracana*) and Green Gram (*Phaseolus radiatus*). *J Food Sc Tech*; 19 : 193-197.
10. Gopaldas T, Mehta P, Patil A, Gandhi H. (1986). Studies on the reduction in viscosity of thick rice gruel with small quantities of an amylase-rich cereal malt. *Food and Nutrition Bulletin*; 8 : 42-47.
11. Gallant DJ, Bewa H, Buy QH, Bouchet B, Szylit O, Sealy L. (1982). On ultrastructural and nutritional aspects of some tropical tuber starches. *Starke*; 34 : 255-262.
12. Mosha A, Svandberg U. (1981). Preparation of weaning foods with high nutrient density using flour of germinated cereals. *Food and Nutrition Bulletin*; 5 : 10-14.

3

Valoriser les céréales locales en grande consommation, une nécessité pour l'économie des pays africains

V. TRUCHETTO*, G. IMBS*, G.J. KAYEM*, M. PARMENTIER**

* ENSIAAC, B.P. 455, Ngaoundéré, Cameroun

** ENSAIA, 2, avenue de la Forêt de Haye, 54500 Vandœuvre-les-Nancy, France

Résumé

Les changements intervenus au cours des 20 dernières années dans les habitudes alimentaires des citadins africains ont des effets induits dont les répercussions économiques pourraient devenir très préoccupantes pour l'équilibre du commerce extérieur de ces pays.

En effet, en même temps que l'exode rural drainait vers les métropoles une part importante de la population rurale, les systèmes d'approvisionnement dans les villes induisaient une modification de la structure de base de l'alimentation en produits céréaliers : en clair, la substitution de la consommation de produits à base de mil, sorgho et maïs par celle du pain, donc à base de grains ou farines importés.

Nombreuses sont les causes qui rendaient cette voie plus aisée à se développer dans des systèmes économiques insuffisamment organisés et souples.

Les conséquences, en revanche, vont d'une aggravation de l'exode rural jusqu'à une dégradation des balances commerciales, telles que les solutions mises en place par les administrations correspondantes n'étaient plus socialement admissibles.

En restant dans une structure de consommation urbaine, dont l'évolution en retour vers les produits traditionnels paraît peu probable, des solutions existent, visant à une synthèse entre les produits des campagnes et les technologies urbaines.

L'étude économique présentée ici montre que sur une ville du Nord-Cameroun, l'incorporation de farines de sorgho et maïs au pain peut conduire, sous réserve des mises au points techniques nécessaires, à une unité industrielle de transformation rentable.

Une telle valorisation «sur place» aurait par ailleurs l'avantage énorme de fixer des populations rurales productives autour d'une culture aux débouchés assurés.

Il y a de la survie à terme d'une telle agriculture, confrontée actuellement à la concurrence de grains importés légalement ou non, dans des conditions n'ayant rien à voir avec l'économie de marché.

Contexte économique

L'exode rural

Depuis la fin de la deuxième Guerre Mondiale, et surtout après l'accession à l'indépendance, de profonds bouleversements se sont produits et continuent à se produire dans la structure démographique de la plupart des pays africains : forte croissance démographique, donc rajeunissement global de la population, émergence de grandes métropoles et exode rural.

Que l'on considère le problème du point de vue de l'occupation de l'espace rural ou du résultat final, c'est-à-dire l'urbanisation plus ou moins maîtrisée et ses conséquences, il constitue le plus profond bouleversement dans les structures démographiques africaines depuis le début du 20^e siècle.

Les deux approches ont été largement débattues sous les angles démographique, sociologique et économique. Elles l'ont essentiellement été sur la base de modèles européens puisque l'exode rural y a été observé sur plus d'un demi-siècle, couplé au phénomène d'industrialisation.

La comparaison s'arrête là, car l'exode rural européen a eu pour toile de fond une situation économique très favorable. Le moteur essentiel en a été la très forte expansion économique des années 1900-1970. Elle s'est caractérisée par une aspiration intense de bras par le marché de l'emploi industriel, compensée plus que largement par d'importants progrès de la productivité agricole.

L'Afrique est actuellement le siège d'un exode rural qui n'est compensé ni par l'augmentation de la productivité agricole ni par une forte croissance de l'emploi industriel. Une telle situation de non-équilibre a des conséquences importantes à trois niveaux au moins :

1. *sociologique* : développement d'un sous-prolétariat péri-urbain dont les «bidonvilles» cancérisent la plupart des villes du continent (et du Tiers-Monde en général) avec les corollaires que sont : chômage, délinquance, état sanitaire...
2. *économique* : chute de la production agricole vivrière, disparition des terres cultivables à la périphérie des villes et insuffisance du tissu industriel des nouvelles métropoles.
3. *alimentaire* enfin, surtout dans les aspects liés à l'utilisation des céréales.

Conséquences alimentaires

Du point de vue alimentaire, le déplacement massif de populations des campagnes vers les villes se traduit par un changement rapide des habitudes alimentaires. En ce qui concerne les céréales, le phénomène le plus net consiste en un remplacement de la consommation de céréales tropicales (mil, sorgho, maïs, riz) par un produit devenu quasiment universel : *le pain*, fabriqué à partir de farine de froment.

L'évolution de la consommation de pain par tête et par an suit dans toute l'Afrique la même courbe que l'indice d'urbanisation. Prenons l'exemple du Cameroun (Tableau I, fig. 1).

Aspect très important pour l'avenir des céréales tropicales, le pain est consommé en *substitution* des produits céréaliers locaux, pour diverses raisons :

- large disponibilité à la consommation : boutiques + quantité de petits revendeurs,
- produit très pratique : pas de préparation, importance du repas «en marchant» allant de pair avec une diminution de la convivialité des repas,

- attractivité du produit : prestige et prix.

Tout ceci se traduit par une perte de compétitivité des produits céréaliers traditionnels sur les marchés urbains. Du point de vue économique, le problème se pose dans les termes suivants :

- augmentation incontrôlée de la demande de blé importé,

Tableau I

années	kg pain/tête/an	Population urbaine/ Population totale (en %)
1986	43	40
1984	40	38
1982	37	36
1980	35	34
1970	24	20 (est.)
1950	15 (est.)	15 (est.)

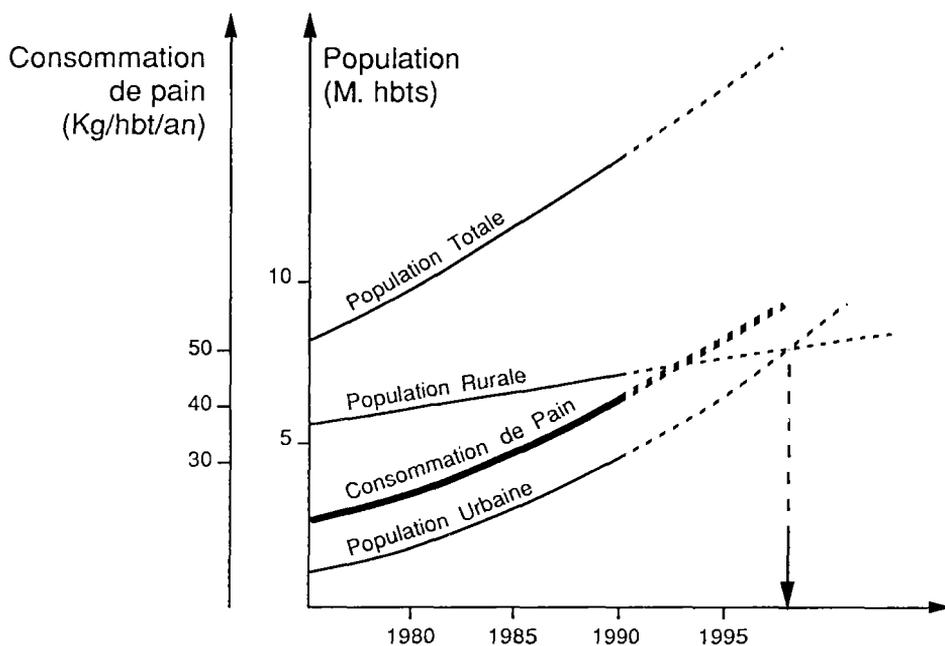


Figure 1. Consommation de pain par tête et par an et indice d'urbanisation au Cameroun.

— diminution de la demande intérieure en mil, sorgho, maïs, etc., entraînant à son tour diminution et irrégularité des revenus paysans donc accentuation de l'exode rural et de la désertification des campagnes.

Le bilan global fait apparaître une augmentation de la *dépendance alimentaire extérieure*, phénomène extrêmement dangereux compte tenu de la structure des exportations des pays africains.

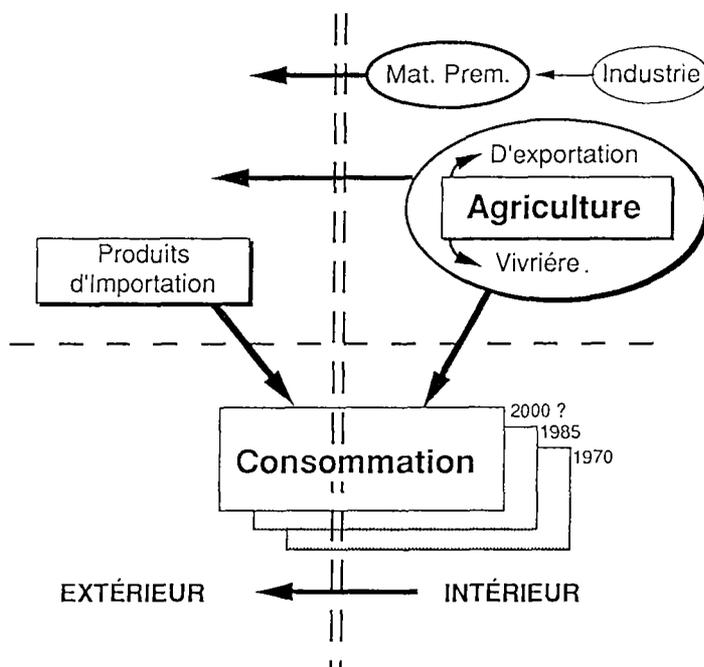


Figure 2.

Cette situation, dont la tendance générale se note sur toute l'Afrique, est néanmoins plus ou moins accentuée suivant les Etats en fonction de l'état de l'agriculture vivrière, du degré d'industrialisation et de la structure des exportations (le pire : le pétrole).

Céréales sur le marché intérieur africain

La compétition entre produits céréaliers traditionnels et produits importés tourne donc presque toujours à l'avantage de ces derniers. Essayons d'en analyser quelques causes :

Attractivité du produit pain

Nous avons déjà parlé de la commodité, de la mode, de la qualité. Le prix est également un facteur primordial.

Entre 1980	ΔPx (pain)	= 14 %
et 1984	ΔPx (maïs-sorgho)	= 75 %
(au Cameroun)		(source rapport FAO)

Le différentiel est énorme et s'explique par l'extrême sensibilité des populations urbaines aux augmentations de prix d'un produit devenu un produit de première nécessité.

Le prix politique d'une opération «vérité des prix» sur le pain est généralement trop élevé et les autorités évitent ou ... reculent. Nos collègues maghrébins peuvent témoigner du résultat d'essais pourtant courageux.

Inexistence d'une réelle économie mondiale de marché des céréales

Le marché international des céréales n'est pas régulé par les mécanismes de l'équilibre offre-demande. Il existe en effet d'énormes stocks (une année de consommation environ) dans les grands pays producteurs, chez qui les progrès de productivité d'une agriculture mécanisée conduisent à des rendements remarquables (moyenne 60q/ha en France).

Les pouvoirs publics subventionnent alors puissamment leurs produits à l'exportation par des procédés très variés allant du soutien des cours (PAC/CEE) au «dumping» comme sur le riz.

Exemple : le kg de blé français payé au producteur environ 70 F CFA, est séché, stocké, moulu, conditionné, transporté et livré à Douala à 120 F CFA !

Le blé exporté par les grands pays céréaliers n'est jamais facturé à son prix de revient, pas plus pour des clients pauvres (Tiers-Monde) que riches (Japon, URSS...).

Ajoutons que la transformation des grains sur place apporte un surcoût dû au différentiel de productivité des Moulins (environs 10 % de plus au Cameroun).

Protection douanière

La parade existe, et a été largement utilisée dans les pays industriels pour protéger les produits intérieurs : c'est *l'arme douanière*. Procédant pourtant de la seule souveraineté du pays, elle est toutefois d'une efficacité plutôt faible en Afrique du fait de :

- la perméabilité des frontières terrestres couplée à l'existence de monnaies non convertibles donc très sensibles au «trafic»,
- une insuffisance des taxes à l'entrée, puisque dans l'état actuel, mêmes appliquées avec un bon rendement, elles ne protégeraient guère mieux les produits locaux. L'obtention de licences d'importation permet le plus souvent d'importer hors-taxe un produit considéré (justement !) comme de première nécessité, si bien que la seule taxe supportée par le pain est une taxe de production (au Cameroun : 4,5 %).

Les démarches de l'action

Dans un tel contexte, quelles sont les voies d'une valorisation des céréales locales en consommation urbaine de masse ?

Deux démarches sont possibles :

Adapter la culture de blé à certaines terres du continent africain. Cette solution est déjà largement mise en œuvre au Maghreb, en Afrique de l'Est et du Sud. On y relève une productivité faible due à la fois aux aléas climatiques et au type de culture, mais la voie est prometteuse. Il n'en est pas de même en Afrique subsaharienne où les expériences tentées (Sénégal, Cameroun, Zaïre, Zambie,...) se soldent actuellement par des échecs.

Dans l'Adamaoua, la Sodéblé, créée en 1975 avec un objectif de 10 000 t. voit son activité se redéployer sur le maïs (Tableau II).

Tableau II

1980	1800 tonnes
1981	1900 t.
1982	900 t.
1983	400 t.
1984	270 t.
1988	0 t.

Substitution partielle de céréales locales au blé, dans un produit suffisamment peu modifié pour conserver le même créneau de marché. De nombreuses études de produits ont été menées dans presque tous les pays. Elles se sont heurtées au problème de faisabilité économique, compte tenu des prix intérieurs pratiqués.

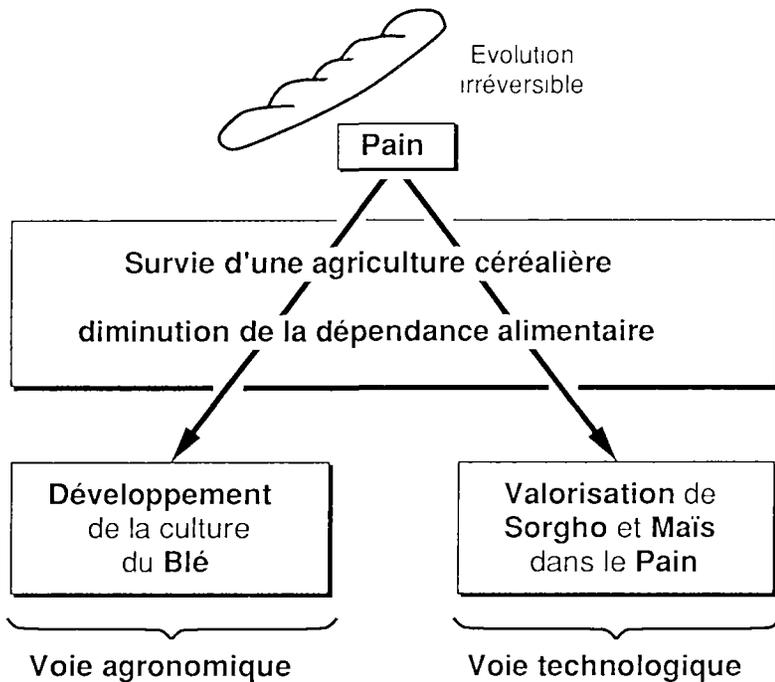


Figure 3.

Si la solution la plus simple réside dans un rééquilibrage par le jeu des taxes (taxe d'entrée sur le blé permettant de subventionner les céréales locales), son application pratique ne résiste pas au *coût social* de l'augmentation qu'elle induit sur le produit fini.

Nous nous sommes donc attachés à tester l'hypothèse suivante : *est-il possible de réaliser l'incorporation de farines de sorgho et/ou de maïs dans un produit encore perçu comme étant du pain de telle sorte que le prix de revient de la farine composée soit inférieur ou égal au prix moyen de la farine importée ?*

Une telle étude nous est apparue impossible à globaliser même sur un Etat, tant les conditions locales revêtent un poids important à forte variabilité. Nous sommes limités à l'alimentation en pain d'une ville moyenne, s'approvisionnant sur son arrière-pays proche en minimisant tous les frais annexes de collecte, transport, ainsi qu'en «calibrant» au mieux l'unité. Ce «laboratoire idéal» est la ville de N'Gaoundéré : climat et sol propice aux cultures céréalières, taille moyenne, diversité ethnique, consommation de pain en expansion (5 à 6 % par an), existence d'une structure de recherche (ENSIAAC), financement : Appropriate Technology International (ATI), Washington.

Notre méthodologie s'est développée en trois points : 1. première approche économique : étude théorique de la réponse à la question posée à partir de plusieurs hypothèses d'incorporation; 2. mise au point technique du produit le mieux adapté et de l'unité de transformation; 3. action de promotion et d'extrapolation.

Etude technico-économique d'une unité de farines locales

Marché des farines panifiables à N'Gaoundéré (1986)

L'étude de marché est la première démarche à réaliser en vue d'apprécier l'intérêt économique du projet. Des résultats de cette étude vont dépendre les chiffres-clés de l'unité; à savoir : taille, charge, prix-objectif de vente des farines.

Données générales sur le marché du pain

Tableau III

Nombre de boulangeries : 6
Demande journalière en pain : saison sèche : 4,4 t; saison humide : 6,6 t.
Besoin annuel en farines : 2000 t.
Croissance annuelle environ 6 %
Prix moyen de la farine de blé : 168,8 F CFA/kg
La farine représente 52 % du prix de revient du pain.

Approvisionnement en farines

Compte tenu de la pondération, le prix moyen de la farine de blé, rendue à N'Gaoundéré est de 8440 F CFA/sac de 50 kg

Tableau IV

Origine	SCM	Importation légale	Contrebande
HT Douala/t	153 670	136 900	
TIP/Douane	7 500	6 840	
TTC Douala	121 170	143 740	
Transport	26 260	26 260	
Px Boul. Ndere			
/tonne	187 430	170 000	140 000
/sac	9 370	8 500	7 000
% Approvision.	30 %	50 %	20 %

Transformation : la boulangerie-type

Ses caractéristiques à N'Gaoundéré sont les suivantes :

- *structure juridique* : PME au régime C du Code des Investissements
12 employés
local de 150 m², 1 véhicule de livraison
investissement matériel : 25 MF CFA environ
- *Caractéristiques techniques* :
20 sacs/jour en saison humide
15 sacs/jour en saison sèche
3285 pétrissées de 100 kg/an
- *prix de vente du pain* (Adamaoua) : 346 F CFA/kg (1986). Distribution par :
boutique : 15 %
livraisons : 50 %
petits revendeurs : 35 %
- *compte d'exploitation-type* :

Tableau V

Poste	Montant (MF CFA)	%
Chiffre d'affaires	135	100
Farines	58,5	43,4
Autres matières premières	12,8	9,5
Transport	2	1,5
Autres services	8,4	6,2
Frais généraux	7,5	5,5
Personnel	14	10,5
Amortissements	5,7	4,2
ICAI (2,5 % en CA)	3,4	2,5
Total charges	112,3	83
Impôt sur le bénéfice	Ex. 8 ans	
Résultat net	22,7	16,8
Capacité auto-financement	28,4	21

Le poste «farines» constitue le poste le plus important des charges (52 %). Il apparaît donc clairement que les conditions incontournables d'acceptation par les professionnels d'une farine composée sont : 1. un produit fini qui reste du pain de bonne qualité; 2. un prix de revient de la farine inférieure à celui de la farine de blé. Il est à noter qu'une diminution de 10 % du coût de la farine augmente la marge nette de 30 % !

Ressources locales en grains

La réalisation de l'unité n'a de sens que s'il existe, dans l'environnement proche de la ville, une zone de culture permettant de l'alimenter dans des conditions de sécurité, de prix et de transport acceptables.

Methodologie

Nous nous sommes limités à l'arrière-pays proche, de façon à minimiser les frais de transport et sans prendre en compte aucune statistique officielle. Par une discussion directe avec les Chefs de village, nous avons déterminé les surfaces, rendements, prix, et surtout marge commercialisable, après auto-consommation, qui est très variable.

Secteur traditionnel

Ce secteur concerne seulement le sorgho dont 2 variétés sont cultivées : sorgho blanc (M'Baeri 80 %) et sorgho rose (Djigari : 20 %), la récolte se faisant en décembre et janvier. Les rendements varient de 10 à 20 qx à l'hectare suivant le terrain et les conditions de culture. La production totale (1986) des 3 zones prospectées (fig. 4) est donnée dans le Tableau VI.

Tableau VI

Zone	Surface cultivable (ha)	Production actuelle (t)	Production potentielle
I	98	164,5	188,5
II	172	249,5	335,5
III	51	67	92,5
TOTAL	321	481 t	616,5 t

Les besoins en engrais (125 kg/ha) permettant de faire passer la production de 480 à 620 tonnes seraient de $0,125 \times 320 = 40$ tonnes pour un coût d'environ 3,2 millions de francs.

Le marché est caractérisé par :

- une auto-consommation importante due à une absence de motivation à la commercialisation,
- une approche très intuitive de la vente, la quantité mise en vente dépendant de la somme nécessaire, exemple : pour l'écolage,
- une spéculation générale sur les prix de la part des revendeurs, en particulier en jouant sur le stockage.

Les quantités disponibles pour une unité s'appuyant sur la production traditionnelle se calculent village par village (Tableau VII, page 319).

L'ensemble des trois zones de production dégage donc 364 t. de sorgho commercialisable dans la situation actuelle, extrapolable rapidement à 460 t. par utilisation d'engrais.

Le prix moyen pratiqué actuellement au village est de 4 500 F/sac (1986). La fourniture d'engrais couplée à l'établissement d'un débouché sûr et payé comptant permettrait de ramener ce prix à 4 000 F/sac (1 q).

Secteur moderne

Il est constitué par deux entreprises : Sodéblé et Maiscam.

Maiscam commercialise 1 500 t. de maïs jaune et 3 500 t. de maïs blanc par an, essentiellement vers les provenderies du Sud. Le prix départ silo est de 7 500 F/sac. Des essais sur sorgho étaient en cours en 1986 sur 200 ha.

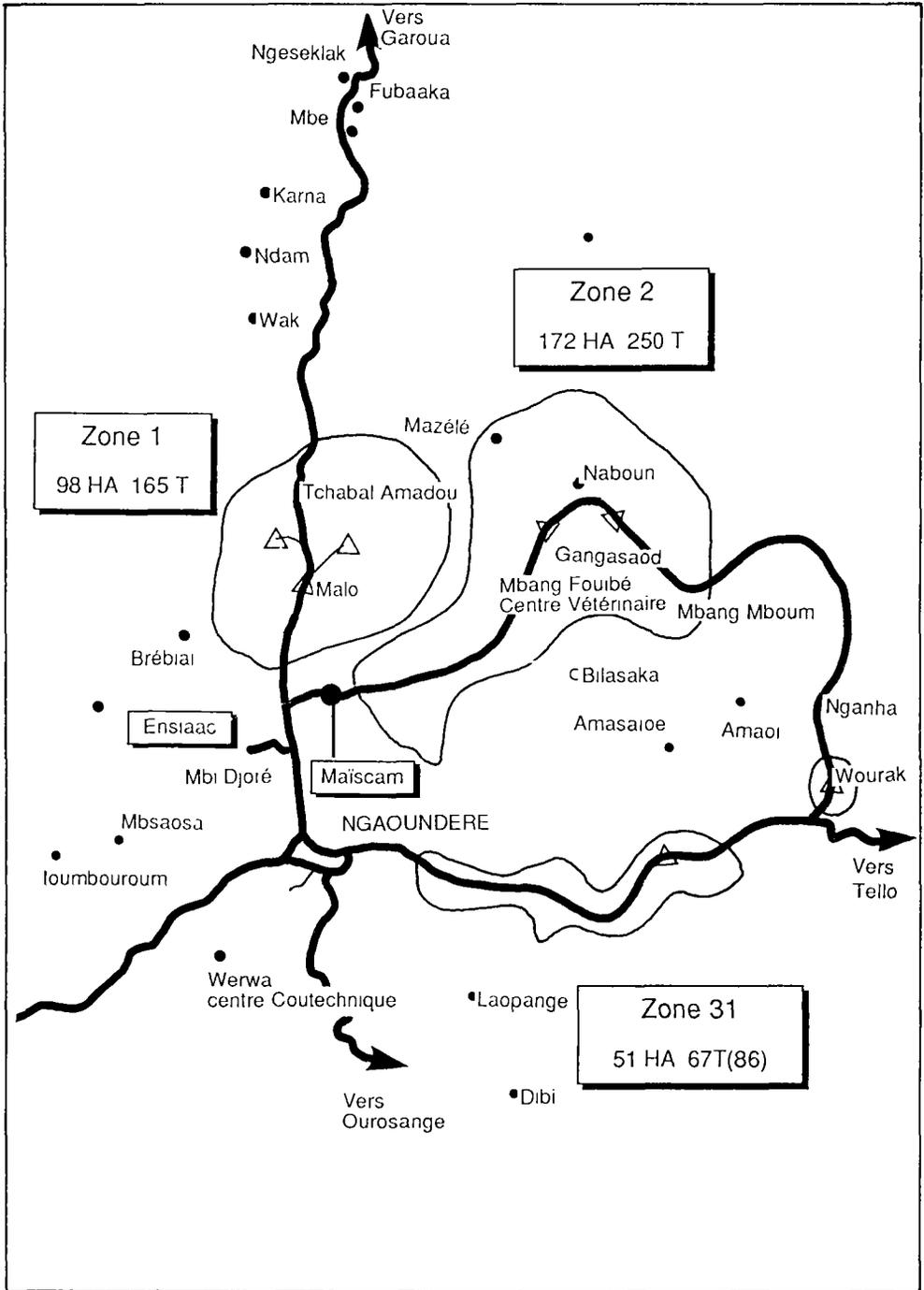


Figure 4. Localisation des zones de collecte du sorgho autour de N'Gaoundéré.

Tableau VII

Zone	Village	% auto-consommation	Quantités disponibles 1986 (en t.)	Quantités disponibles si engrais (t.)
I	Beka	30	0,7	1
	Malo	60	1,6	2,4
	Moungel	30	8,4	11,2
	Sabalbaouro	15	31,8	42,5
	Naboul	15	85	85
II	Foloupère	30	4,2	6,3
	Toumbère	15	19	25,5
	Gobi	70	3,3	5
	Gamboukou	20	36	48
	Bangmissira	20	12	16
	Gangassao	25	112,5	150
III	Mbaore	20	12	16
	Gaoussai	60	3,6	4,8
	Bundju	15	3,4	5,1
	Ngaoubam	20	12	16
	Tougele	20	12	18
	Wourak	30	6,3	8,4

Besoins en grains de l'unité

Sur la base des trois hypothèses d'incorporation en céréales locales (H1 = 10 %; H2 = 15 % et H3 = 20 %), les besoins de l'unité sont détaillés dans le Tableau VIII.

Tableau VIII. Besoins en grains de l'unité (par année)

Volume 1986 du marché des farines panifiables : 2 000 t.			
Taux d'incorporation en farine locale	H1 = 10 %	H2 = 15 %	H3 = 20 %
Besoin annuel en farine locale	200 t	300 t	400 t
Besoin en grains – sorgho taux d'extraction à la mouture 60 %	334 t	500 t	667 t
Besoin en grains – maïs taux d'extraction : 70 %	286 t	429 t	572 t

Extrapolés en 1991, les besoins deviennent :

Tableau IX

Hypothèse	Besoin farine	Besoin maïs	Besoin sorgho
H1 10 %	267 t	381 t	445 t
H2 25 %	401 t	572 t	668 t
H3 20 %	534 t	763 t	890 t

Il ressort de l'étude de la culture céréalière dans l'arrière pays de la ville de Ngaoundéré que les besoins en grains de l'unité peuvent être aisément couverts. Toutefois, un choix «politique» devra être fait entre deux attitudes :

1. Favoriser le développement de la culture villageoise avec tous les corollaires qu'elle suppose : création de débouchés sûrs, fixation des ruraux et, à terme, développement de la production par extension des surfaces. L'effet d'«aspiration» du marché ainsi créé devrait se faire rapidement sentir (très probablement dès que les agriculteurs auraient la certitude d'une vente comptant à la collecte...). Cette politique pourrait conduire à une évolution rapide de plusieurs milliers de petits exploitants, de l'agriculture de subsistance vers une agriculture de vente. Les retombées économiques sur la zone rurale seraient alors considérables.

2. Jouer la modernité et s'appuyer sur Maïscam, ce qui constitue une plus grande sécurité d'approvisionnement mais se traduit par le remplacement d'une dépendance (blé) par une autre (matériel, semences, engrais...).

Etude technique de l'unité

Compte tenu de l'objectif fixé, il est impératif de jouer sur tous les facteurs permettant de minimiser les coûts :

- optimisation du stockage,
- nécessaire élasticité du fonctionnement en fonction de la demande,
- optimisation des charges fixes,
- simplification au maximum du process.

La taille retenue est de 200 kg/h de grains traités, avec un fonctionnement sur 1, 1-2-1 ou 2 postes suivant H.

La non-concordance des périodes de récolte et consommation nécessite une gestion correcte des stocks, dans l'hypothèse sorgho en particulier où le stockage paysan pose de gros problèmes.

- produits finis : stocks de sécurité de 6 jours soit au maximum de 15 t. de farines (fig. 5),
- matières premières : avec l'objectif d'un stock = 0 fin novembre.

Le stockage du sorgho en hypothèse haute impose une capacité de 864 t. (1991) sur 500 m², ce qui constitue une charge importante.

Le schéma général du process est donné dans la figure 6.

Evaluation économique

L'unité sera de type PME (régime C) donc bénéficiera des conditions avantageuses réservées à ce créneau au Cameroun.

Son financement fera intervenir : des capitaux propres (partenaires à trouver), des crédits locaux (génie civil), des aides extérieures : (CCCE, Coopération multilatérale, ATI...), des aides éventuelles de l'Etat.

Valorisation des céréales locales des pays africains

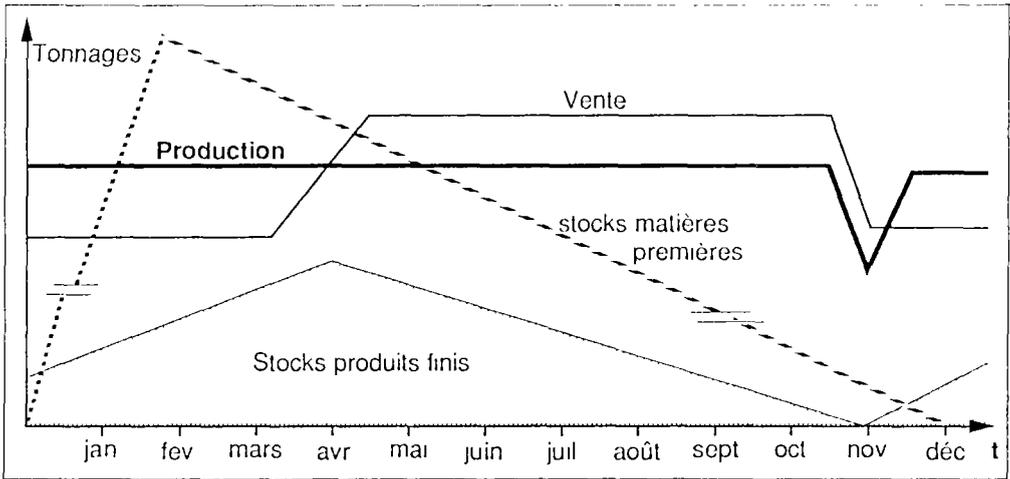


Figure 5.

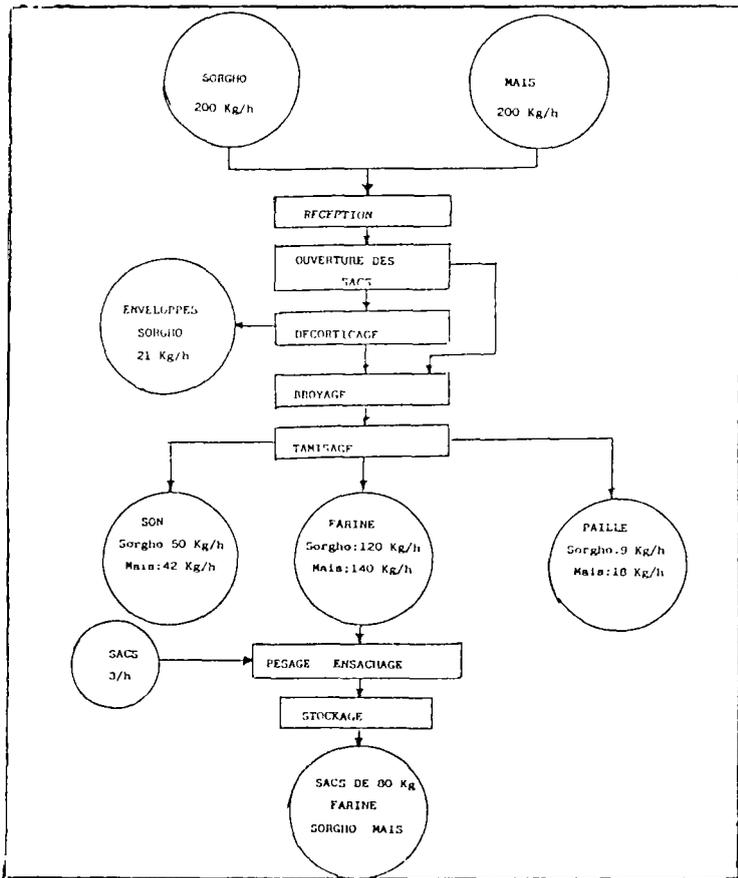


Figure 6.

Chiffres d'affaires prévisionnel

Compte tenu des éléments détaillés plus haut, le prix objectif de vente d'une farine locale attractive doit être tel qu'il entraîne dans le cas le plus défavorable une baisse de 3 % du prix de revient de la farine.

$$0,9 \times \underbrace{168,8}_{\text{blé}} + 0,1 \times \underbrace{x}_{\text{farine composée}} = 165$$

$$x = 130 \text{ F CFA/kg}$$

Le chiffre d'affaires calculé sur cette base évoluera donc ainsi :

Tableau X

Farine	Hypothèse	C.A. prévisionnel $\times 10^6$ F CFA				
		Années				
		1	2	3	4	5
Sorgho	H1 (10 %)	16,9	26	31,2	32,5	33,8
	H2 (15 %)	25,4	39	46,8	48,8	50,7
	H3 (20 %)	33,8	52	62,4	65	67,6
Maïs	H1	17,7	26,9	32,6	33,9	35,4
	H2	26,5	40,4	49	51,1	53
	H3	35,4	53,8	65,3	68,1	70,7

Besoin de financement

- Matériel : rendu : 27 MF CFA
- Véhicule : 4,7 MF CFA
- Génie civil : 200 000 F/m² de bureau
100 000 F/m² d'entrepôt
- Premier établissement : 1 MF CFA
- Besoin en fond de roulement : H1 = 24 MF CFA
H2 = 37 MF CFA
H3 = 44 MF CFA;

Coût de production

- Sorgho : 46 000 F/t., maïs : 65 000 F/t.
- Emballages : 375 F/sac
- Main d'œuvre : 10 MF CFA comprenant : 1 Directeur, 2 Agents de maîtrise, 1 technicien, 2 O.S., 1 manutentionnaire, 1 gardien.

Amortissements et frais financiers (poste très lourd)

Comptes d'exploitation prévisionnels

Les Tableaux XI, XII et XIII donnent dans les 3 variantes testées le résultat dans l'hypothèse H3 (la plus favorable) : sorgho.

Variante V1

Unité «clé en mains» installée en zone industrielle, proche de la gare de N'Gaoundéré (terrain loué) (Tableau XI, tous chiffres en MF CFA).

Tableau XI

Année	1	2	3	4	5
Prix de revient de la farine F/kg	243,5	194,3	179,4	173,5	170,9
C.A. MF CFA	33,8	52	62,4	65	67,8
Charges fixes	11,5	12,9	13,9	15	14,3
Charges variables	34	47	55	57	58,5
Amortissements	10,8	10,8	10,8	9,2	9,2
Frais financiers	10	10	10	10	10
CHARGES	66,5	81	89	85	92
Résultat (cash flow)	-32,7	-28,9	-26,9	-25	-24,5
	-22	-18	-16	-16	-15

Ce type d'unité ne peut être rentable, essentiellement à cause du poids des frais financiers. Il est toutefois à noter que la différence entre le chiffre d'affaires et les charges (24,4 MF CFA) correspond à 900 t. de grains en année 5. Le bouclage pourrait donc être réalisé grâce à une subvention de l'Etat de : 27 F CFA/kg de grain ou 45 F/kg de farine.

Variante V2

Unité intégrée à Maïscam (Tableau XII), page 324.

Une diminution des frais financiers par un financement à 100 % en capitaux propres ainsi que des économies sur Génie civil (en profitant des installations, en particulier de stockage, de Maïscam) : Dans ces conditions, il est possible de ramener le résultat net à environ : - 10 millions de F CFA/kg de farine.

Variante V3

Unité pilote intégrée à l'ENSIAAC. L'unité sera implantée dans l'Ecole dont elle louera les services nécessaires : locaux, magasins, bureaux, laboratoire.

Le calcul du Compte d'Exploitation Prévisionnel est donné sur le Tableau XIII, page 324.

Tableau XII

Année	1	2	3	4	5
Prix de revient de la farine	212,3	176,6	165,6	160	158,6
Chiffre d'affaires	33,8	52	62,4	65	67,6
Charges fixes	10,8	12,1	12,9	13,2	13,4
Charges variables	32,8	46,8	54,9	56,9	59
Amortissements	5,6	5,6	5,6	4,05	4,05
Frais financiers	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Total CHARGES	55,2	70,6	79,5	80,2	82,5
RÉSULTAT	-21,4	-18,6	-17	-15	-14,9
CASH FLOW	-15,8	-13	-11,5	-11	-10,8

Tableau XIII

Année	1	2	3	4	5
Prix de revient de la farine	190	157	147	142	140
Chiffre d'affaires	33,8	52	62,4	65	67,6
Charges fixes	14,1	15,5	16,3	16,5	16,7
Charges variables	32,3	44,4	51,3	53	54,7
Amortissements	3,8	3,8	3,8	2,2	2,2
Frais financiers	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Total CHARGES	52,7	66,1	73,8	74,2	76,1
RÉSULTAT	-18,5	-14,1	-11,4	-9,2	-8,6
CASH FLOW	-15,12	-10,3	-7,6	-7	-6,4

Conclusion

Pour un objectif de 130 F le kilogramme de farine, aucune formule d'unité industrielle ne dégage de résultat positif. Cet objectif ne pourra être tenu qu'au prix d'une intervention de l'Etat à hauteur de :

- variante V1 : 27 F CFA/kg farine
- variante V2 : 18,5 F CFA/kg farine
- variante V3 : 16 F CFA/kg farine

Certaines hypothèses favorables permettent d'atteindre l'équilibre dès la 3^e année (V1) ou la 2^e année (V2 et V3) :

- valorisation des sons (50 F/kg emballé) ce qui est plausible car la demande en provente sur la région est importante.

— financement avec le minimum d'appel au crédit. Une unité-pilote industrielle implantée à l'ENSIAAC permettrait donc dans des conditions de rentabilité correctes, de tester la viabilité à moyen terme d'un tel programme.

La 2^e phase d'expérimentation (détermination de la composition de la farine composée et son acceptabilité par la population) est en cours à l'ENSIAAC et sera présentée ci-après.

Remerciements. Les auteurs remercient vivement Appropriate Technology International, 1331 H. Street Washington, DC, USA 20005, qui finance cette étude.

Références

1. (1986). Plan directeur d'Industrialisation du Cameroun DP/CMR/83/001.
2. Lamendour P. (1985). Rapport technique ONUDI. Industries Animales et Alimentaires.
3. Badjeck B. (1980). Rapport Mulpoc-Yaoundé Possibilités de développement des Agro-industries dans les pays d'Afrique Centrale.
4. Minpat-Direction de la Statistique. (1985). Statistiques Nationales.
5. FAO. (1986). Rapport MAC (Yaoundé). Bilan et perspectives du secteur primaire au Cameroun.
6. Statistiques du syndicat patronal des boulangers du Cameroun B.P. 1425 Yaoundé.
7. Abecassis J. (1982). FAO. Projet CMR 78/013. Identification des possibilités d'un programme des farines composées dans la Province du Nord-Cameroun.
8. Faure J, Muller RD. (1984). FAO. Rapport de mission pour un programme National sur les farines composées au Cameroun.
9. CFCE. (1984). Le Marché de la Farine de blé dans les pays tiers.
10. Asselbergs EA. (1971). The FAO composite flour program.
11. FAO. (1969). Agricultural Services Bulletin. Bread from composite flour.
12. Perten J. (1969). FAO. Study of making French-type Bread by mechanical dough development mixing wheat flour with cassava starch and millet flour.
13. Kim KC, de Rutter D. (1968). Bread from non-wheat flours. *Food Technology* 22; 7 : 867-878.
14. Kim JC, de Rutter D. (1969). Bakery products with non-wheat flours. *Baker's digest*. 43; 3 : 58-63.
15. Pringle N, Williams A, Hulse JH. (1969). Mechanically developed doughs from composite flours. *Cereal science Today* 14; 3 : 114-129.
16. Dendy Dav, Clarke PA, Tames AW. (1970). The base of blends of wheat non-wheat flours in bread-making. *Tropic Sci* 12; 2 : 131-142.

4

Etude de l'acceptabilité de pains à base de farines composées dans le Nord-Cameroun

G. IMBS*, A. BESSIÈRE*, A. DEVAILLY*, T. COUSSON*, G.J. KAYEM*,
M. PARMENTIER**

* *Département de Science des Procédés ENSIAAC, Centre Universitaire de
N'Gaoundéré, BP 455, N'Gaoundéré, Cameroun*

** *ENSAIA, 2, avenue de la Forêt de Haye, 54500 Vandœuvre-les-Nancy, France*

Résumé

A partir de l'étude économique réalisée sur 3 hypothèses d'incorporation de farines locales (sorgho et maïs) à la farine de froment dans la fabrication du pain, la présente étude a porté sur la mise au point des compositions exactes à réaliser et des tests d'acceptabilité sur la population d'une ville moyenne, Ngaoundéré.

Utilisant les installations de boulangerie industrielle de l'ENSIAAC, ainsi que la collaboration de l'ensemble des boulangeries privées de la ville, l'étude sera menée en 2 temps :

— mise au point des compositions-type à l'ENSIAAC et tests d'analyse sensorielle réalisés sur un panel constitué par le personnel et les étudiants de l'Ecole.

— test en vraie grandeur sur la ville de quelques compositions déjà affinées des farines. Cet essai qui porte sur des quantités pondérales importantes de grains (plusieurs tonnes) a posé de nombreux problèmes logistiques (approvisionnement en grains de qualité, décorticage et mouture). Toutefois, le résultat des tests devrait donner un élément définitif de réponse sur une question maintes fois posée : quel est l'avenir des produits à base de «farines composées» en grande consommation ?

Introduction

En 1964, devant l'accroissement alarmant de la consommation des produits à base de blé, la FAO lançait un vaste programme de valorisation des céréales locales en Afrique [1]. Depuis, nombreuses ont été les recherches ayant pour but l'incorporation de farines locales dans la fabrication du pain [2, 3, 4], mais un seul Etat, le Burkina-Faso a imposé l'incorporation de 5 à 10 % de farine de maïs à la farine de froment.

Au Cameroun, les recommandations de deux missions successives, J. Abecassis en 1982 [5], puis J. Faure et R.D. Muller en 1984 [6] sont restées sans suite. En 1986, une approche économique réalisée par notre équipe [7] concluait à la possibilité, dans des conditions toutefois restrictives, d'aboutir à une unité de transformation rentable, expérimentable sur une ville moyenne du Nord-Cameroun.

Trois conditions de succès apparaissaient clairement :

- unité de transformation de petite taille;
- acceptation par les boulangers de la farine composée (pas de modification du produit final, prix de revient motivant);
- acceptation par les consommateurs du pain ainsi fabriqué.

Le présent travail a pour objet l'étude du 3^e point et plus précisément de l'acceptabilité testée sur un panel représentatif constitué à l'ENSLAAC. Une deuxième étape consistera en l'étude de l'acceptabilité par la population de la ville de Ngaoundéré.

Préparation des farines

Principes généraux

Le sorgho

Le sorgho doit être soigneusement décortiqué et les sons –dont la présence se traduit par une couleur et une mauvaise texturation de la pâte– doivent être éliminés. De ce point de vue, les installations de cônes à blanchir de rizerie de la SEMRY à Yagoua ont donné de bons résultats.

Les grains en provenance de l'arrière pays de Ngaoundéré sont généralement de petite taille, très hétérogènes et fortement attaqués par les insectes ravageurs. Après dix mois de stockage, ils ne peuvent être mis en fabrication qu'après nettoyage. En revanche, les sorghos sélectionnés par l'IRA de Maroua (Muskwari variété S 35 en particulier) ont donné d'excellents résultats.

Le maïs

Le maïs, d'abord dégermé, subit une mouture en installation industrielle (Sodéblé). La farine obtenue a une granulométrie de 80 % inférieure à 200 µm. Cette farine est commercialisée sur les marchés de Ngaoundéré.

Obtention de la farine de sorgho

Le procédé utilisé pour le traitement des grains locaux est résumé dans la figure 1.

Etude des pains à base de farines du Nord-Cameroun

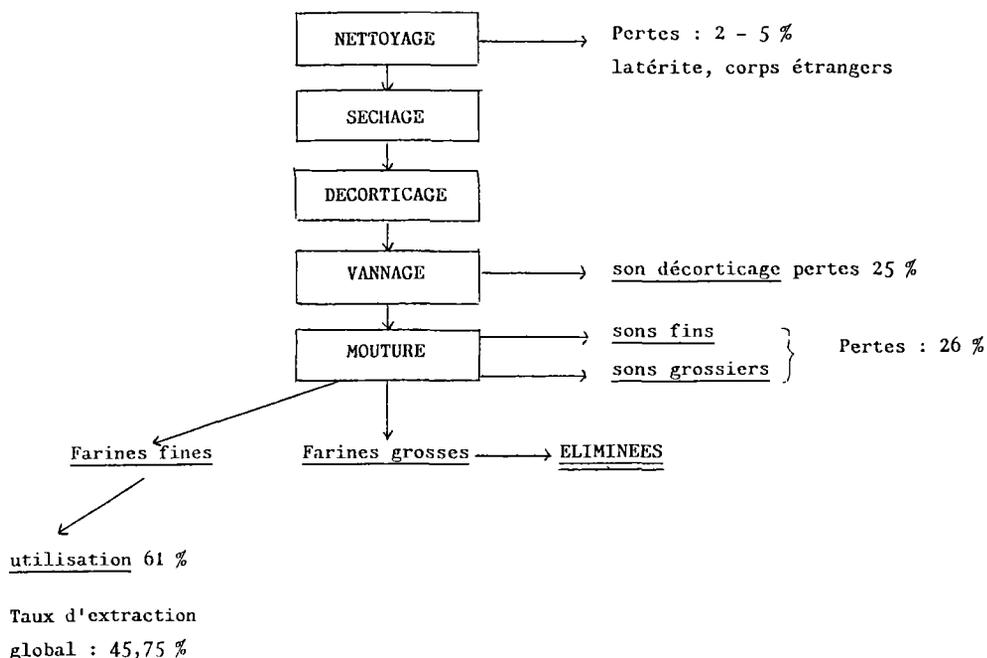


Figure 1. Mouture du sorgho local.

Lavage à l'eau pendant 30 minutes avec brassage.

Séchage à l'air chaud (5h à 45 °C). Cette séquence n'est pas nécessaire sur les grains provenant de Maroua, ils sont nettoyés à sec au moment du décortilage.

Décortilage et vannage. Contrairement à l'opération traditionnelle (pilon par voie humide), ils ont été réalisés :

— pour les sorghos locaux sur une machine à meules rotatives de fabrication ENSIAAC [8] : 5 mm pour 2 kg de grains en batch, avec un taux de décortilage de 75 %.

— pour les sorghos de Yaroua : utilisation des cônes à blanchir de la Société Semry à Yagoua. (capacité : 1 tonne/heure, taux de décortilage : 70 %).

— quelques essais ont été effectués chez les artisans locaux sur des installations à cylindres horizontaux d'origine indienne (50 kg/h., taux de décortilage : 80 à 85 %).

Mouture. Elle est réalisée avec un moulin de laboratoire Brabender (6 kg/h. en sorgho).

Il comporte 2 séries de moulins :

— 1^{ère} série (3 passes, claquage);

— 2^e série (3 passes, convertissage).

et planchister de classement granulométrique donnant :

— des farines fines 150 µm → fabrication

— des farines grosses 150-210 µm → éliminées.

Les taux d'extraction s'établissent à 61 % (fines) et 74 % (fines + grosses). Des essais concluants (80 % inférieures à 250 µm) ont été conduits sur un simple moulin à marteau équipé d'une grille à 0,5 mm.

Compte tenu de ces expérimentations, et dans un but de simplification, deux procédés de transformation du sorgho sont proposés (fig. 2).

Tableau I. Résumé des caractéristiques des farines utilisées.

	Caractéristiques des grains			Caractéristiques de la farine				
	Poids de 1000 grains	Attaque charançons	Humidité %	Matière sèche %	Cendres (% MS)	Lipides tot (% MS)	Protéines (% MS)	
Farine de blé GMP			12,93	87,07	0,57	1,72	8,44	
Farine de maïs Sodéblé			11,33	88,67	1,04	6,20	6,50	
Sorgho Décembre 85 non lavé	30,04 g	3 %	12,37	87,63	3,17	2,28	5,40	
Sorgho Décembre 85 lavé	30,04 g	0,1 %	9,39	90,61	1,29	1,93	7,15	
Sorgho Décembre 86 lavé	37 g	0,1 %	8,63	91,37	1,94	2,55	8,62	

Etude des pains à base de farines du Nord-Cameroun

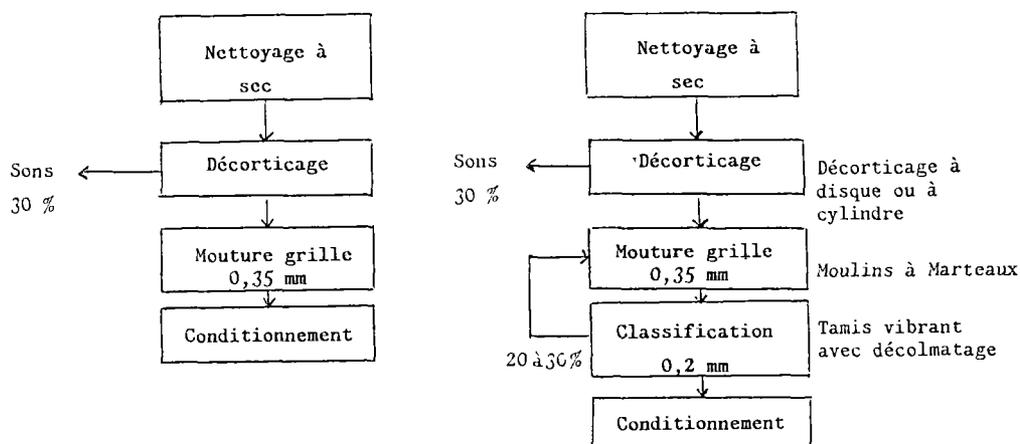


Figure 2. Procédés simplifiés de transformation du sorgho.

Panification

Il est bien connu que l'incorporation à la farine de froment des farines ne contenant pas de gluten a des conséquences négatives sur les propriétés rhéologiques et d'hydratation des pâtes obtenues. Différents moyens permettent de compenser ces effets. Ils ont été testés dans le but d'obtenir un procédé de panification le plus voisin possible de celui utilisé en boulangerie classique, de façon qu'il soit aisément accepté par les boulangers de la ville.

Le tableau II résume ces essais.

Tableau II.

Procédé	Avantages	Conclusion
I. Pétrissage intensifié séparé (Technique ITA Dakar)	Améliore nettement le produit fini	Complicé, inacceptable par les boulangers
II. Pétrissage intensifié, jointage, avec rupture	Légère amélioration	Inacceptable
III. Pétrissage intensifié, opérations normales	Dégradation peu sensible du produit fini	Acceptable

Matériel et matières premières

En plus des farines locales, ont été utilisées : de la farine importée G.M.P., l'eau du réseau (refroidie), de la levure desséchée Fermipan, du sel, un améliorant Wahiforce (acide ascorbique, lécithine, amylase).

Il est à noter qu'une farine de blé de faible qualité boulangère supporte mal l'incorporation de farines sans gluten et que l'améliorant donne de bons résultats.

L'équipement de la boulangerie est par ailleurs classique. L'intensification du pétrissage est obtenue par augmentation de la vitesse.

Produit obtenu

Les pains obtenus ont généralement un aspect peu différent du pain de blé 100 %. Le volume spécifique diminue sensiblement quelle que soit la farine ajoutée (sorgho ou maïs). Toutefois, cette diminution ne devient gênante qu'au dessus d'un taux d'incorporation de 20 %.

Les pains en moules ou en boules tolèrent mieux l'incorporation que la « baguette » française, seul produit réellement commercialisé à N'Gaoundéré.

Les réactions du panel face à de nouveaux produits (boules ou moulés) sont d'ailleurs très favorables.

L'incorporation de farine de maïs confère au pain une odeur caractéristique. L'aspect est peu modifié : la mie est un peu plus jaune.

La farine de sorgho donne à la mie une couleur légèrement brunâtre (changement de couleur des farines de sorgho à la cuisson), mais semble améliorer les qualités gustatives, ce qui est diversement apprécié des consommateurs. Comme pour la préparation des farines, c'est le sorgho de saison sèche Muskwari qui a donné les meilleurs résultats en panification.

Etude de l'acceptabilité

Analyse sensorielle

L'objet de cette première série d'essais est de déterminer la meilleure formule d'incorporation en terme d'acceptabilité par un panel constitué à l'ENSIAC, en vue de tester ensuite le produit en grande consommation sur la ville de Ngaoundéré.

Equipement

Les séances sont réalisées dans le laboratoire d'analyse sensorielle de l'ENSIAC, équipé de 12 postes d'évaluation identiques et isolés. Chaque cabine est équipée d'eau courante et d'un éclairage spécifique permettant les études en lumière artificielle. Ce laboratoire est complètement isolé de la boulangerie.

Tests triangulaires

Dans une première série d'essais, ont été testées 8 recettes différentes, à raison de 2 pains modifiés contre un témoin 100 % blé par jour.

Le panel de 80 personnes était constitué pour moitié de techniciens camerounais de l'Ecole (origines diverses mais pour 50 % de la Province de l'Adamaoua) et pour moitié d'étudiants de toutes origines.

Le profil de chaque dégustateur a été établi suivant 4 critères : origine provinciale, niveau d'études, fréquence de consommation de pain de blé, âge. Ces critères ont été utilisés pour expliquer les préférences à travers une analyse de la variance.

Trois échantillons sont présentés à chaque dégustateur : un pain modifié (essai) et un témoin au blé 100 %, l'un des deux étant répété 2 fois. Sur l'ensemble des plateaux, l'échan-

tillon doublé est réparti également entre l'essai et le témoin. Les échantillons sont codés par des nombres à 3 chiffres tirés d'une table au hasard.

Tests hédoniques

Cette deuxième série de tests s'est heurté à un problème de compréhension du vocabulaire auprès de certains agents de niveau scolaire faible, c'est pourquoi le questionnaire a été simplifié à l'extrême.

Trois échantillons sont présentés à chaque dégustateur qui doit les classer par ordre de préférence, puis préciser les critères de son choix par l'analyse de 4 critères : le «croustillant», la couleur, l'aération de la mie, le goût.

Chaque test durait 10 minutes et 3 pains étaient présentés, codés et cotés.

Par pain analysé et par critère, on définit le rapport :

$$R = \frac{3x (\text{nb de fois classé } 1^{\text{er}}) + 2x (\text{nb de fois classé } 2^{\text{e}}) + 1x (\text{nb de fois classé } 3^{\text{e}})}{\text{nombre de fois classé au total}}$$

qui est utilisé pour dégager les corrélations permettant d'identifier le ou les facteurs d'explication de l'appréciation globale.

Ce test s'est avéré bien adapté au niveau de compréhension des dégustateurs et à l'analyse du problème.

Résultats

Tests triangulaires (Tableau III)

Tous les pains à l'essai sont apparus significativement différents (seuil de signification 0,01) du pain témoin (100 % blé) à l'exception du (90-10) maïs. Les pains modifiés se reconnaissent à la couleur (le sorgho assombrit la mie et augmente la consistance : le pain «pèse sur la

Tableau III. Essais triangulaires contre le témoin 100 % blé.

Composition			Différence reconnue au seuil :	Préférence		Expliquée	
Blé	Sorgho	Maïs		Pour	Pourcentage des dégustateurs	Pour	au seuil
90 %	Non lavé 10 %	/	99,9 %	Blé	86 %	N.E.	
80 %	Non lavé 20 %	/	99,9 %	Blé	80 %	Origine	1 %
90 %	/	10 %	Non reconnue	Blé	59 %	N. E.	
80 %	/	20 %	99,9 %	Blé	65 %	Origine	1 %
85 %	10 %	5 %	99,9 %	Blé	72 %	Origine	1 %
80 %	13 %	7 %	99,9 %	Blé	72 %	Origine Niveau	1 % 5 %
85 %	10 %	5 %	99,9 %	Blé	66 %	Origine	1 %
80 %	7 %	13 %	99,9 %	Blé	56 %	Origine Niveau Habitude	1 % %

langue»). La présence de maïs passe plus facilement inaperçue que celle du sorgho. Les mélanges ternaires comparés au pain de la ville sont reconnus significativement au seuil de signification de 0,001.

L'analyse des préférences permet de dégager les éléments suivants :

- l'incorporation du seul sorgho donne des pains globalement refusés par le panel,
- l'incorporation de maïs jusqu'à 10 % passe inaperçue puisque 23 personnes contre 33 l'ont préféré au pain 100 % blé.

Les mélanges ternaires présentent le plus grand intérêt.

Les mélanges :

blé (85), sorgho (5), maïs (10)

blé (80), sorgho (7), maïs (13)

montrent la meilleure acceptabilité (préférés par 27 contre 35 dégustateurs pour le témoin 100 % blé).

Tests hédoniques

Suite aux résultats des tests triangulaires, nous avons procédé aux tests hédoniques sur les mélanges ternaires, en élargissant l'essai aux farines de manioc.

L'ensemble des résultats (Tableau IV) permet de dégager le classement :

- 1^{er} : blé 100 %,
- 2^e : blé 80 %, sorgho 10 %, maïs 10 %,
- 3^e : blé 75 %, sorgho 10 %, maïs 10 %, manioc 5 %.

Le tableau IV appelle les remarques suivantes :

— la dose d'incorporation maximale se situe aux alentours de 25 % (dès qu'on atteint 30 % d'incorporation, quel que soit le mélange, il est classé en 3^e position).

— le pain 100 % blé est toujours nettement préféré en particulier à cause de sa couleur.

— le pain B80 M10 S10 présente la meilleure acceptabilité : comparé à n'importe quel autre mélange il est nettement préféré. Seule sa couleur pose un problème, sinon le goût, le caractère aéré de la mie et le caractère croustillant sont très bien perçus.

— le caractère «croustillant» n'est pas un critère de qualité pour le Camerounais : il préfère souvent un pain mou. En revanche, le caractère aéré de la mie est un critère important pour l'acceptabilité du pain par le dégustateur; il est à remarquer aussi que celui-ci semble se tourner préférentiellement vers un pain qui lui «pèse» sur l'estomac, un pain très levé n'est donc pas forcément souhaitable.

— l'ajout de manioc permet d'augmenter la quantité de substituant local sans modifier de façon importante la qualité du produit.

— les tests de classement sont plus facilement compris par des populations d'un niveau social peu élevé (illettré, sans diplôme, etc.).

Conclusion et perspectives

Les tests triangulaires et hédoniques permettent d'identifier 3 types de formules présentant une bonne acceptabilité auprès des dégustateurs du panel ENSIAAC :

1. Blé 90 % maïs 10 %. La différence avec le pain de blé 100 % n'est pas toujours perçue significativement.

2. Blé 80 % sorgho 10 % maïs 10 %. Bonne acceptabilité, léger défaut pour la couleur.

Tableau IV. Tests hédoniques (classement de préférence).

Note	Date	20/01	21/01	22/01	23/01	24/01	4/02	5/02	10/02
3		B100			B100	B100	B100	B100	B80S10M10
2,9									
2,8			B100	B100					
2,7									
2,6									
2,5									
2,4									
2,3									
2,2									
2,1									
2,0									
1,9			B80S10M10	B80S10M10			B80S10M10	B75S10 M10MC5	
1,8									
1,7					B80S20	B80S10M10			
1,6		B85S15							
1,5									
1,4									
1,3		B85M15	B85S15	B70S10M20		B80S20		B70S20M10	B75S15M10
1,2					B70S20M10				
1,1								B70S20M10	
1,0									

B : blé; S : sorgho; M : maïs; MC : manioc.

3. Blé 75 % sorgho 10 % maïs 10 % manioc 5 %. Bonne acceptabilité mais inférieure à celle du pain précédent.

Ces deux séries d'essais laissent donc apparaître la possibilité de réaliser un pain à base de farines composées acceptable par les consommateurs des Provinces du Nord-Cameroun. La recette n° 2 (80/10/10) semble dans ce cas la plus adaptée.

Les restrictions à une généralisation de ce type de produit tiennent aux conditions socio-politiques de son introduction : *en cas de choix libre, le consommateur choisira toujours le pain 100 % blé.*

En réalité, on connaît mal la réaction globale d'une population urbaine à un tel changement. C'est pourquoi le développement prochain de notre projet (phase II) est l'essai «en vraie grandeur» sur la ville de Ngaoundéré.

Il s'agira d'étudier la réaction d'une population à la substitution pendant 3 jours consécutifs du pain habituel par un pain à base de farine de composition de type 2. Une enquête cryptée sera menée à très large échelle pour étudier la perception du phénomène et conclure. Cette 2^e phase devrait donner aux gouvernements africains un élément majeur de décision quant à l'avenir de ce type de solution au problème de l'autosuffisance céréalière.

Remerciements. Les auteurs remercient vivement Appropriate Technology International, 1331 H. Street, Washington, DC, USA 20005, pour le support financier qui a rendu possible ce projet.

Références

1. Asselbergs EA. (1971). The FAO composite flour program.
2. Perten J. (1979). FAO. St of making french-type bread by mechanical dough development mixing wheat flour with cassava starch and millet flour.
3. Kim KC, de Ruyter D. (1968). Bread from non-wheat flours. *Food Technology* 22; 7 : 867-878.
4. Pringle N, Williams A, Hulse JH. (1969). Mechanically developed doughs from composite flours. *Cereal Science Today* 14; 3 : 114-129.
5. Abecassis J. (1982). Projet FAO : CMR 78/013. Identification des possibilités d'un programme de farines composées dans la province du Nord-Cameroun.
6. Faure J, Muller RD. (1984). Pour un Programme National sur les farines composées au Cameroun. FAO 1984.
7. Truchetto V, Imbs G, Kayem GJ, Parmentier M. (1988). Valoriser les céréales tropicales en grande consommation, une nécessité pour l'économie des pays africains. Colloque AUPELF-OUA Ngaoundéré 21-26 février 1988.
8. Fumey G, Sinniger M, Kayem GJ, Parmentier M. Contrat ATI n° 86-005, travaux en cours.

5

Fabrication industrielle de pâtes composées blé-maïs

C. MESTRES*, F. MATENCIO*, J. FAURE*, J. ABECASSIS**

* *Laboratoire de Technologie des Céréales, CIRAD/IRAT, 9 Place Viala, 34060 Montpellier Cedex, France*

** *Laboratoire de Technologie des Céréales, INRA, 9 Place Viala, 34060 Montpellier Cedex, France.*

Résumé

Dans le but de valoriser les céréales tropicales en substitution au blé importé dans les pays africains, une technologie de fabrication de pâtes alimentaires à base de farines composées (blé, maïs) a été développée.

Afin d'optimiser ce procédé, l'ensemble des paramètres de fabrication a été étudié : effet des variétés de maïs utilisées (maïs blancs en particulier), effet du degré de pureté, de la composition et de la granulométrie des farines de maïs incorporées dans le mélange, effet de l'hydratation du mélange au cours du malaxage (en particulier, effet d'une hydratation différée des deux matières premières), effet de l'intensité du traitement mécanique lors de l'extrusion et du format des pâtes obtenues, effet de la température de séchage des produits. L'influence de ces différents paramètres sur la qualité des produits obtenus a été évaluée par : la couleur des pâtes sèches, l'aspect des pâtes après cuisson, les pertes de matière à la cuisson (en particulier, tolérance à la surcuisson) et les propriétés viscoélastiques des pâtes cuites.

Un procédé simple d'obtention des pâtes comprenant jusqu'à 66 % de farine de maïs et de qualité comparable (si ce n'est pour le comportement viscoélastique) à celle des pâtes de blé dur est proposé.

Introduction

Les résultats reportés ici sont le fruit des travaux effectués au laboratoire de technologie CIRAD/IRAT, entrepris avec la collaboration du laboratoire de technologie des céréales INRA. Le but de cette étude est l'élaboration et l'optimisation technologique d'un procédé de pastification à base de farines composées blé/maïs. Il s'agit de proposer aux industriels des pays tropicaux en voie de développement un procédé permettant de substituer, à concurrence d'au moins 50 %, la semoule de blé dur (importée) par une farine de maïs produite sur place à partir de maïs locaux. Le marché restreint des pâtes alimentaires en pays africains (consommation annuelle de 200 à 5 000 t) permet d'envisager un approvisionnement aisé des industriels locaux utilisateurs du maïs comme matière première pour la pastification.

Le procédé préconisé doit être simple et peu coûteux; ne nécessitant que peu ou pas d'investissement et n'utilisant que des matières premières de substitution produites sur place. L'utilisation de céréales tropicales (maïs, sorgho, riz) dépourvues de gluten (composant responsable de la qualité des pâtes de blé dur) impose toutefois des modifications du procédé de pastification mis au point pour le blé dur. De nombreuses études ont été développées au cours des 20 dernières années afin de proposer de telles adaptations. Les procédés envisagés trop complexes ou/et trop coûteux, car faisant appel soit à un traitement thermique préalable de la farine de maïs, soit à l'utilisation d'adjuvant comme le gluten, ont rarement été développés industriellement [5]. L'emploi d'une nouvelle technologie comme le séchage haute température, qui provoque dans certaines conditions une amélioration de la qualité des pâtes de blé dur [1, 2], permet par contre d'envisager le développement d'un procédé de fabrication de pâtes alimentaires mixtes maïs/blé de qualité comparable à celles des pâtes de blé dur sans bouleversement des chaînes existantes.

Description du procédé

Technologie de pastification

Le procédé de fabrication des pâtes mixtes, maïs/blé dur, envisagé dans cette étude, est schématisé sur la figure 1. Dans les conditions «standard», un maïs jaune corné-denté français a été utilisé. Une semoule est extraite de ce maïs par une mouture de type blé tendre [4]; le taux d'extraction est voisin de 50 % et la teneur en lipides de la semoule est de 1,5 %. Celle-ci est réduite en farine (de granulométrie médiane 120 µm) par un passage sur un moulin à aiguilles. Semoule de blé dur et farine de maïs sont mélangées dans des proportions respectives de 33 et 66 %, hydratées à un taux de 55 % (b.s.) et malaxées pendant 25 minutes. Ce mélange est extrudé à travers une filière à spaghetti. Les pâtes fraîches sont séchées à 37 °C pendant 24 heures jusqu'à une humidité finale de 12 % (b.h.). Les spaghettis secs subissent alors, à humidité constante, un traitement thermique à 90 °C pendant 2 heures. Cette dernière étape originale confère aux pâtes mixtes maïs-blé des qualités culinaires comparables à celles des pâtes de blé dur [3].

Fabrication industrielle de pâtes composées blé-maïs

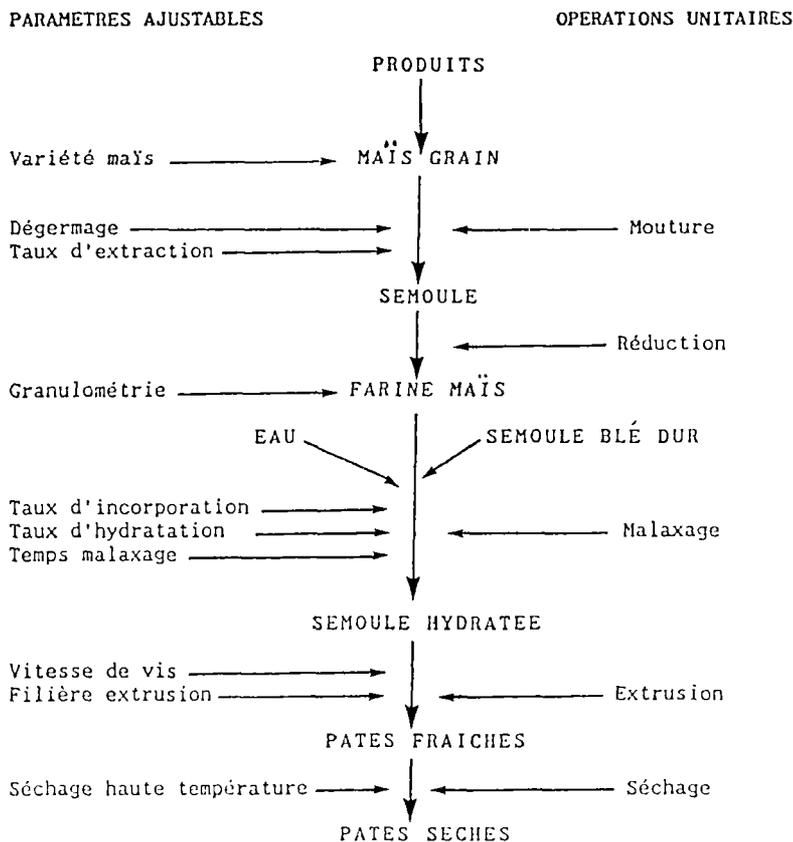


Figure 1. Procédé de pastification.

Qualité des produits

Les pâtes alimentaires sont jugées

— à l'état cru sur leur coloration : le consommateur (européen) recherche des produits à fort indice de jaune et faibles indices de brun et de rouge;

— après cuisson, sur leur état de surface, évalué par un panel de dégustation (notes croissantes de 1 à 9 avec la qualité, c'est-à-dire l'homogénéité de surface de pâtes cuites), par la mesure du pourcentage de pertes de matières sèches dans les eaux de cuisson (qui doivent être faibles) et par la mesure d'un index de viscoélasticité qui rend compte de l'élasticité des produits cuits (le consommateur européen recherche des pâtes élastiques).

Des valeurs typiques obtenues pour les pâtes de blé dur sont reportées dans le Tableau I. Des pâtes mixtes maïs/blé dur fabriquées selon le protocole défini précédemment présentent avant traitement thermique post-séchage de mauvaises qualités culinaires avec, en particulier, des pertes à la cuisson élevées et un index de viscoélasticité faible : respectivement 26,4 % et 0,8 % contre 5,2 % et 8,0 % pour des pâtes de blé dur. Le traitement thermique post-séchage permet d'améliorer les qualités culinaires des pâtes mixtes maïs/blé en divisant par

deux les pertes à la cuisson, améliorant aussi légèrement la note d'état de surface (Tableau I). En revanche, l'index de viscoélasticité n'est pas significativement augmenté.

Ce simple résultat démontre l'intérêt de cette dernière étape de traitement thermique pour l'obtention de pâtes maïs/blé de qualité comparable à celle des pâtes de blé dur. L'optimisation du procédé complet a été effectuée au laboratoire en prenant en compte successivement l'ensemble des paramètres ajustables de la séquence de transformation (fig. 1). Chaque série d'expérience a été réalisée (autant que possible) en ne faisant varier qu'un paramètre de fabrication, les autres restant comme définis dans le traitement standard.

Tableau I. Influence du traitement thermique post-séchage sur la qualité des pâtes mixtes maïs/blé (66 % maïs / 33 % blé dur)

		Couleur ¹			Qualité culinaire ²		
		IB	IJ	IR	Note	Pertes	IV
Maïs jaune 66 %	Témoin ³	40,3	57,1	11,7	4,25	26,4	0,8
	Traité ⁴	37,5	54,2	14,0	4,5	13,6	1,0
Blé dur 100 %	Témoin ³	32,4	35,8	5,2	5,2	5,2	8,0
NH1 66 %	Témoin ³	37,0	21,9	0,8	3,9	16,1	0,5
	Traité ⁴	36,3	28,8	4,6	4,2	12,8	0,6
La Posta 66 %	Témoin ³	36,7	20,2	1,0	4,0	19,0	0,8
	Traité ⁴	41,1	30,0	6,6	4,0	12,9	0,8

¹ Indices de brun (IB), jaune (IJ) et rouge (IR).
² Moyennes sur trois temps de cuisson (t + 1, t + 6, t + 11) de la note d'évaluation sensorielle (1 à 9), des pertes à la cuisson (% b.s.) et de l'index de viscoélasticité (IV).
³ Séchées à 55 °C.
⁴ Traitées à 90 °C pendant 2 heures après séchage.

Optimisation du procédé

Matière première

Effet variétal

Trois variétés de maïs ont été utilisées : un maïs jaune corné-denté (standard) et deux maïs blancs corné-denté originaires du Togo (NH1 et La Posta). Les résultats obtenus pour les pâtes fabriquées selon le protocole standard avec ces trois variétés de maïs sont reportés dans le Tableau I.

Les indices de coloration sont élevés dans le cas de pâtes de maïs jaune mais faibles dans le cas des pâtes de maïs blanc. Le traitement thermique provoque, dans tous les cas, une augmentation de l'indice de rouge de 3 à 5 points. Cet effet est défavorable dans le cas de pâtes de maïs jaune, car provoquant l'apparition d'une nuance orange préjudiciable à l'aspect du produit cru. Par contre, dans le cas des pâtes à base de maïs blanc, le traitement thermique qui engendre aussi une élévation de l'indice de jaune induit finalement une coloration de ces pâtes très voisine de celle des pâtes de blé dur témoin (Tableau I).

Le traitement thermique provoque une diminution des pertes à la cuisson des pâtes de maïs quelle que soit la variété utilisée. Les pertes, avant traitement, sont toutefois plus faibles dans le cas des pâtes à base de maïs blanc; cette différence s'estompe après traitement thermique post-séchage. Les pâtes à base de maïs blanc présentent, d'autre part, des notes d'aspect de surface plus faibles que celle obtenue pour les pâtes de maïs jaune.

Produits de mouture

Effet granulométrie. Les farines de maïs blanc La Posta ont été séparées en deux fractions : une fraction fine passant au tamis de 130 μm , et une fraction grossière représentant le refus à ce tamis.

Les qualités culinaires des pâtes fabriquées en condition standard avec ces deux farines et la farine entière ont été comparées (Tableau II). Plus les farines de maïs utilisées sont fines (granulométrie médiane faible), meilleure est la note d'état de surface des pâtes cuites. Cette différence n'est pas liée à une moindre désagrégation de ces pâtes, puisque les pertes à la cuisson sont identiques pour les trois échantillons. La mauvaise notation des pâtes fabriquées avec les fractions «grossières» est donc liée uniquement à la taille élevée des particules de farine qui se traduit par l'apparition d'une rugosité de surface des pâtes cuites.

Tableau II. Notes d'évaluation sensorielles* et pertes à la cuisson (moyenne pour trois temps de cuisson : t + 1, t + 6, t + 11) de spaghetti fabriqués à partir de moutures de maïs La Posta (66 %) et semoule de blé dur (33 %).

Moutures	Granulométrie médiane (μm)	Notes d'évaluation sensorielle	Pertes à la cuisson (%)
Farine totale*	120	4,0	19,0
Farine "fine" (passage tamis 130 μm)	<80	4,6	17,8
Farine "grossière" (refus tamis 130 μm)	250	3,6	20,8

Les farines entières (standard) issues de variétés de maïs blanc présentent un refus au tamis de 125 μm de 50 % environ contre 25 % pour celles issues du maïs jaune. Cet écart entre les granulométries des farines constituantes explique sans doute la différence de notation observée entre ces deux types de matière première (voir page 343).

Produits de mouture. Différents produits de mouture de la variété de maïs jaune ont été utilisés en pastification :

- grits de brasserie (0,8 % lipides, 9 % protéines) produits après dégermage humide et rebroyés en farine par deux passages successifs au moulin à aiguilles;
- farines de broyage (1,7 à 2 % lipides, 6 % protéines) obtenues comme co-produits dans le diagramme de mouture des grits de brasserie.

Le comportement à la cuisson des pâtes obtenues est comparé avec celui des pâtes standard (fabriqués à partir de la même variété de maïs avec des semoules extraites selon un diagramme de mouture type blé tendre). Les pertes à la cuisson et les index de viscoélasticité restent constants pour les échantillons fabriqués avec ces différents produits de mouture. En

revanche, la note d'état de surface varie avec le type de produit de mouture utilisé; une corrélation élevée est mise en évidence entre la finesse granulométrique des farines de maïs utilisées (représentée par le pourcentage de refus au tamis de 125 µm) et la note d'évaluation sensorielle des pâtes cuites (fig. 2). Ce résultat confirme que l'état de surface des pâtes cuites est fortement lié à la granulométrie des farines de maïs utilisées. Aucune liaison n'apparaît par contre entre l'origine et la composition des produits de mouture et la qualité des pâtes fabriquées : les farines de broyage de composition très voisines présentent des notes d'état de surface très variables (4,3 à 5,8).

L'utilisation de farines de broyage sera toutefois limitée par la difficulté d'hydratation de ces farines; la comparaison des cinétiques d'hydratation, à granulométrie équivalente, des grits de brasserie réduits et des farines de broyage montre, en effet, que celles-ci s'hydratent plus lentement et demandent plus d'eau pour atteindre la saturation que les grits rebroyés (fig. 3). L'importance des lipides (1,7 à 2 %) et/ou la faiblesse du taux de protéines (respectivement 1,7 à 2 % et 6 % pour les farines de broyage contre 0,8 et 9 % pour les grits) peuvent expliquer cette différence de comportement. L'hydratation et le malaxage devront donc être adaptés à ces matières premières pour éviter l'apparition de défauts d'hydratation préjudiciables à l'aspect des produits crus.

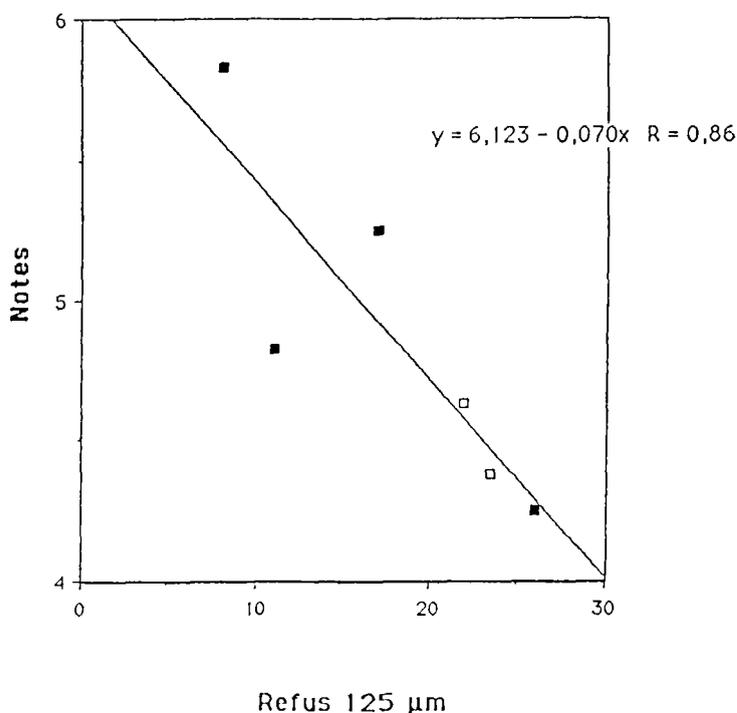


Figure 2. Relation entre les notes d'évaluation sensorielle (moyenne de T + 1 à T + 6) et le pourcentage de refus au tamis de 125 µm des farines de broyages (■) et des semoules réduites (□).

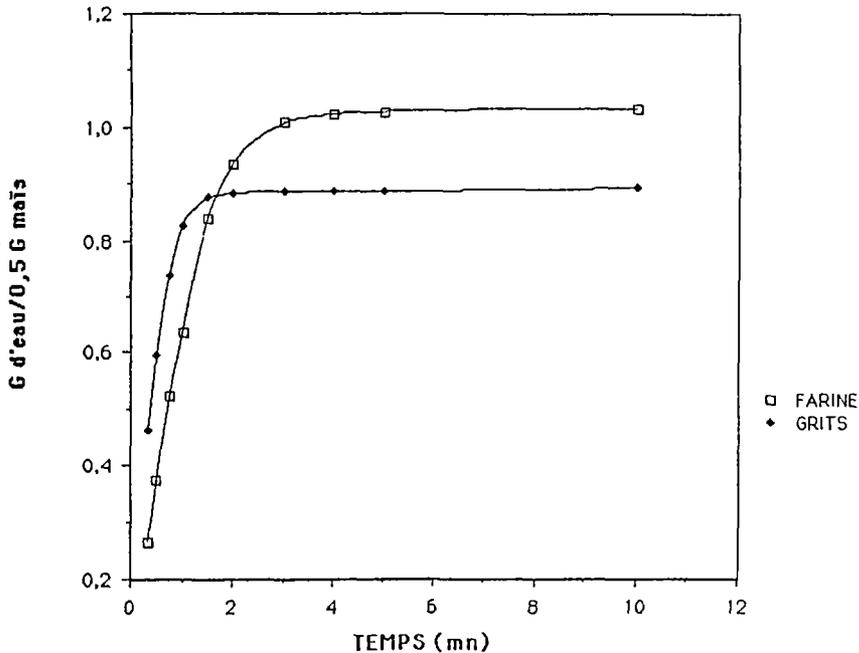


Figure 3. Cinétiques d'hydratation à 20 °C de particules calibrées (entre 75 et 125 µm) issues de grits de maïs réduit (◆) ou de farines de broyages (□).

Mélange

Des pâtes avec incorporation de 30, 50 et 70 % de farine de maïs jaune ont été fabriquées (Tableau III). Pour un taux d'incorporation supérieur à 30 %, les pertes à la cuisson des pâtes de maïs sont supérieures à 20 % avant traitement thermique. Un traitement thermique de 1 heure et demie à 3 heures permet de diminuer ces pertes à moins de 15 %. Les produits obtenus présentent alors des qualités culinaires acceptables, abstraction faite des index de viscoélasticité. Une durée de traitement thermique à 90 °C de trois heures provoque une élévation importante de l'indice de rouge, nuisant à l'aspect des pâtes cuites.

Malaxage

Le taux d'hydratation au malaxage (entre 47,5 et 55 g d'eau/g de M.S) n'influe pas sur la qualité culinaire des pâtes de maïs (Tableau IV). Le malaxage pourra donc être adapté à la matière première utilisée pour éviter les défauts d'hydratation (voir page 343) sans que cela ne modifie les qualités culinaires des pâtes obtenues.

Extrusion

Effet filières. Des moules à spaghetti et macaroni ont été utilisés, avec dans le dernier cas un nombre de filières variant de 2 à 8. Les macaroni présentent, dans tous les cas, de meilleures qualités culinaires que les spaghetti : pertes à la cuisson plus faibles et note d'évaluation sensorielle plus élevée (Tableau V). Les macaroni présentent un rapport surface sur volume plus faible que les spaghetti, ce qui explique leur moindre désagrégation dans les eaux de cuisson.

Tableau III. Evolution de l'indice de rouge et des qualités culinaires des pâtes mixtes maïs jaune/blé dur en fonction du taux de substitution et du traitement thermique post-séchage.

	Traitement 90° C (heures)	Indice de rouge	Qualités culinaires*		
			Note	Pertes	IV
100 % BD	0	5,7	5,0	6,6	7,3
70 % BD / 30 % maïs	0	9,9	4,3	16,0	0,9
	1,5	12,5	5,0	7,5	1,1
	3	16,0	5,5	5,8	1,4
50 % BD / 50 % maïs	0	12,0	4,1	24,2	2,6
	1,5	13,4	4,2	12,9	0,8
	3	17,3	5,1	7,5	1,0
30 % BD / 70 % maïs	0	13,6	3,5	33,8	0,5
	1,5	16,0	3,9	20,2	0,6
	3	18,9	3,7	15,0	0,8

* Moyennes sur trois temps de cuisson (t + 1, t + 6 et t + 11) des notes d'évaluation sensorielle (1 à 9), des pertes à la cuisson (% b.s.) et des index de viscoélasticité (IV).

Tableau IV. Evolution des qualités culinaires des pâtes mixtes maïs : blé (66 : 33) en fonction du taux d'hydratation lors du malaxage.

Taux d'hydratation (g d'eau pour 100 g de MS)	Qualités culinaires*		
	Note	Pertes	IV
55	4,5	22,2	0,6
52,5	4,3	21,4	0,3
50	4,3	23,3	0,7
47,5	4,5	24,5	0,3

* Moyennes sur trois temps de cuisson (t + 1, t + 6, t + 11) des notes d'évaluation sensorielle (1 à 9), des pertes à la cuisson (% b.s.) et des index de viscoélasticité.

Tableau V. Notes d'évaluation sensorielle et pertes à la cuisson (moyenne sur les trois temps : T + 1, T + 6, T + 11) de pâtes à 66 % de farine de maïs jaune fabriquées avec divers moules : spaghetti et macaroni à 8, 6, 4 et 2 filières.

Format	Notes d'évaluation sensorielle NT/T*	Pertes à la cuisson NT/T*
Spaghetti	4,25/4,5	26,4/13,6
Macaroni 8 filières	5,0 /5,6	14,7/10,1
Macaroni 6 filières	5,0 /5,0	12,8/11,2
Macaroni 4 filières	5,1 /5,3	15,6/9,9
Macaroni 2 filières	5,5 /5,6	15,4/8,9

* NT : non traité; T : traité 2 h à 90° C, 78 % h.r. en fin de séchage.

Par contre, aucune différence importante n'est observée entre les macaroni obtenus avec des nombres de filières variables. On note simplement une légère amélioration de l'état de surface des macaroni fabriqués avec le moule à deux filières.

Effet vitesse de vis. Afin d'approfondir l'effet cisaillement, des spaghetti ont été fabriqués selon le protocole standard mais en faisant varier la vitesse de la vis d'extrusion de 16 à 35 tr/min (Tableau VI). Aucun effet sur la qualité des produits n'est observé : pertes à la cuisson et note d'état de surface restent très voisines. La qualité culinaire des pâtes de maïs n'est donc pas liée à l'intensité du traitement mécanique appliqué au cours de l'extrusion.

Tableau VI. Evolution des qualités culinaires des pâtes mixtes maïs : blé (66 : 33) en fonction de la vitesse d'extrusion

Vitesse de vis (rpm)	Qualités culinaires*		
	Note	Pertes	IV
35	4,6	22,6	0,6
30	4,3	21,5	0,6
25	5,0	20,8	0,6
20	4,6	22,1	0,6
16	5,0	25,3	0,6

* Moyennes sur trois temps de cuisson (t + 1, t + 6, t + 11) des notes d'évaluation sensorielle (1 à 9), des pertes à la cuisson (% b.s.) et des index de viscoélasticité (IV).

Séchage haute température

Effet humidité-produits. Le traitement thermique (90 °C pendant deux heures) peut être appliqué à différents stades du séchage, c'est-à-dire sur des produits d'humidité décroissante de 30 à 12 % (b.h.). Appliqué en début de séchage (pâtes à 30-20 % d'humidité), le traitement thermique n'entraîne qu'une amélioration faible de la qualité culinaire des pâtes à base de maïs (Tableau VII) : les pertes à la cuisson restent voisines de 20 %. En revanche, l'effet améliorant du traitement est maximum en fin de séchage des pâtes de maïs (15,5 à 12 % d'humidité relative); les pertes à la cuisson sont alors voisines de 15 % et l'état de surface proche de 5. L'index de viscoélasticité n'est toutefois pas significativement augmenté par le traitement thermique.

Tableau VII. Influence du traitement hydrothermique (2 heures, 90° C) sur les qualités culinaires des pâtes alimentaires à base de farine de maïs jaune (66 %).

Teneur en eau ¹ (% b.h.)	Témoin	30 %	20 %	15,5 %	13,5 %	12 %
Etat de surface (0-9) ²	3,0	3,2	4,5	5,2	5,2	4,7
Pertes cuisson (%) ²	25,8	22,2	18,2	12,7	14,6	15,5
Indice viscoélasticité ²	0,76	0,81	0,91	0,98	1,01	1,09

¹ Au moment du traitement thermique

² Moyennes sur deux temps de cuisson : t + 6 et t + 11.

Effet température-durée. Plus le traitement thermique post-séchage (produits à 12 % d'humidité) des pâtes de maïs est intense, c'est-à-dire pour des températures et durées de traitements croissantes, meilleure est la qualité culinaire des produits (Tableau VIII) : diminution des pertes à la cuisson et augmentation des notes d'évaluation sensorielle. Un index de viscoélasticité élevé (12,3), voisin de celui des pâtes de blé dur, est en particulier observé pour le traitement le plus intense : 120° C pendant deux heures. Toutefois, les pâtes obtenues par ce traitement présentent un indice de rouge trop élevé (supérieur à 20) préjudiciable à l'aspect des produits crus et donc à leur commercialisation. Ce type de traitement nécessitant d'autre part un investissement coûteux, il paraît plus judicieux de préconiser un traitement à 90° C pendant deux heures.

Tableau VIII. Evolution des indices de rouge et des qualités culinaires des pâtes mixtes maïs : blé (66 : 33) en fonction de la température et de la durée du traitement thermique post-séchage.

Traitement Température (°C)	Durée (heures)	Indice rouge	Qualités culinaires *		
			Note	Pertes	IV
70	0	14,2	3,4	32,8	0,9
	1	13,9	3,8	24,9	0,8
	2	13,9	4,3	20,9	1,1
90	1	15,1	3,5	23,6	1,0
	2	17,8	5,0	13,8	1,2
120	1	17,8	3,5	18,7	1,2
	2	20,8	6,3	7,7	12,3

* Notes d'évaluation sensorielle (1 à 9), pertes à la cuisson (% b.s.) et index de viscoélasticité (IV) pour une cuisson à t + 6.

Conclusions

Le procédé de pastification à base de maïs développé au laboratoire est applicable directement sur une chaîne de pâtes alimentaires moderne (équipée d'une enceinte de séchage haute température : 90 °C).

Une qualité optimale de ces pâtes mixtes maïs/blé dur sera obtenue selon les conditions suivantes :

— une première transformation produisant des farines de maïs de granulométrie fine (inférieure à 125 µm), comprenant jusqu'à 2 % de lipides. L'emploi de maïs blancs est préconisé car conférant aux pâtes une coloration «type blé dur» et permettant de diminuer, dans le cas des variétés La Posta et NH1, les pertes lors de la cuisson des pâtes;

— une seconde transformation aboutissant de préférence à la production de macaroni, ou tout autre format équivalent, avec un séchage basse température des pâtes jusqu'à 15 % d'humidité relative et une fin de séchage (de 15 à 12 % d'humidité relative) en haute température : 90 °C pendant deux heures. Les conditions du malaxage seront ajustées au mieux avec la matière première employée afin d'éviter les défauts d'hydratation. Le taux d'incorporation de la

farine de maïs peut s'élever jusqu'à 66 % sans détérioration importante de la qualité culinaire des pâtes produites.

Références

1. Abecassis J, Alary R, Feillet P. (1984). Influence des températures de séchage sur l'aspect et la qualité culinaire des pâtes alimentaires. *Industries des céréales*; 31 : 13-18;
2. Abecassis J, Chevalier F, Ait Mouh O, Matencio F, Faure J, Feillet P. (1986). Amélioration de la qualité des pâtes alimentaires par traitement thermique des produits secs. *Industries des céréales*; 41 : 13-17.
3. Abecassis J, Faure J, Feillet P. (1988). Improvement of cooking quality of corn pasta products by heat treatments (soumis au *J Science Food Agric*).
4. Feillet P, Redon C. (1975). Etude préliminaire sur quelques facteurs de la valeur semoulière du maïs. *Bull EFM*; 270 : 325-330.
5. Miche JC, Alary R, Jeanjean MF, Abecassis J. (1976). Potential use of sorghum grains in pasta processing. 9th ICC Congress, Vienne, 27-35.

6

La valorisation des produits alimentaires locaux. Quelques expériences et potentiel des stratégies de marketing appropriées à l'Afrique

G.M. HENAULT

*Institut de Développement International et de Coopération (IDIC), Université d'Ottawa,
50 College, Ottawa K1N 6N5, Canada*

Résumé

Dans l'esprit des accord de Lagos et de la réunion de Mindelo, nous nous proposons d'analyser comment et pourquoi une stratégie de marketing appropriée tant au niveau macro que micro, peut contribuer, en Afrique, à la valorisation des produits agro-alimentaires locaux.

A partir des expériences de divers gouvernements (Sénégal notamment) et organismes non publics (secteur coopératif et privé), nous évaluerons les cas de valorisation des produits locaux existants (l'échec du pamblé par exemple) et de produits transformés sur place qui sont nouveaux pour les consommateurs africains (le succès du yoghourt au Cameroun et en Côte d'Ivoire en guise d'illustration).

De cette analyse, nous tenterons de déduire les variables-clés d'une stratégie de marketing qui facilite la valorisation de produits locaux et/ou transformés sur place. Il apparaît, en conséquence, opportun de mettre l'accent sur la demande qui s'exprime en fonction de la dynamique des besoins essentiels et de l'anthropologie de la consommation des groupes cibles.

Les investissements dans les technologies de transformation et de stockage pour améliorer l'offre ne sont rentables que dans la mesure où ils permettent de mettre en marché (à un prix adéquat, grâce à un système de distribution fonctionnel et une promotion efficace) des produits agro-alimentaires qui correspondent à la demande des consommateurs africains tant au plan national que régional.

Introduction

Si on fait une brève analyse de la situation des pays du Tiers-Monde et plus spécifiquement africains, force est de constater que la valorisation des produits agro-alimentaires s'est opérée, la plupart du temps, dans une perspective essentiellement technicienne qui ne se préoccupe pas nécessairement de l'acceptation potentielle des produits (modifiés ou nouveaux) par les utilisateurs et/ou consommateurs. Or, Adam Smith, reconnu comme le fondateur de la science économique, déclarait il y a déjà un peu plus de deux siècles, que le seul objectif de toute production ne peut être que la consommation.

L'objectif que nous poursuivons consiste donc à démontrer la pertinence et l'importance d'une approche anthropologico-économique de valorisation des produits qui permet, par une stratégie de marketing appropriée, une meilleure diffusion et acceptation des innovations induites par l'implantation d'une technologie nouvelle. Pour ce faire, nous allons tout d'abord voir quelles en sont les connotations marketing. En deuxième partie, le choix de quelques projets ayant connu un certain succès illustre l'apport de cette démarche.

Une approche intégrée à la valorisation des produits agricoles (technicienne et anthropologico-économique) ne peut se concevoir, dans le cas africain, que dans l'esprit du plan de Lagos pour le développement économique de l'Afrique (qui, en 1980, mettait l'accent sur la priorité à donner au secteur agricole et la nécessité de promouvoir le commerce régional des produits africains) et celui du Colloque de Mindelo [1] au Cap-Vert qui, en décembre 1986, a proposé une politique céréalière sahélienne (avec notamment un programme de sécurité alimentaire promu par des prix agricoles stimulant l'offre).

Connotations marketing de la valorisation des produits

Toute stratégie de marketing se fonde sur une analyse de la demande (que l'on devrait anticiper) dont on dérive une politique de commercialisation des produits.

La demande d'un produit répond essentiellement aux besoins et motivations des consommateurs influencés par leur environnement social et économique-politique. Le cadre d'analyse qu'est l'anthropologie culturelle semble d'autant plus se justifier, en Afrique, que la réalité socio-ethnique est fort complexe et en pleine mouvance. On constate, en effet, que ce continent est le plus diversifié au plan linguistique avec plus de deux mille dialectes parlés au sud du Sahara. On y retrouve au plan de la consommation alimentaire l'influence des traditions africaines, islamiques et européennes. Le phénomène sans précédent de migration urbaine rend encore plus complexe la structure changeante de consommation africaine. Tout produit mis en marché ou commercialisé doit répondre à la demande des consommateurs car l'inverse (une tentative d'adaptation de la demande au produit) est voué à l'échec.

La commercialisation des produits se caractérise par quatre types d'opérations : la transformation physique (affectant le produit), la transformation de volume (par la distribution), la valorisation économique (le prix) et enfin la valorisation socio-culturelle donc symbolique (la communication avec les marchés).

La politique de produit : une transformation, partielle ou totale, est censée faciliter non seulement la satisfaction des besoins essentiels des populations rurales et urbaines mais aussi l'exportation des produits à condition que ceux-ci correspondent aux attentes et motivations des consommateurs nationaux et internationaux tout en améliorant la qualité et le contenu de

la nourriture. Pour ce faire, les produits doivent être normalisés (saveur, degré d'humidité, calibre, apparence, couleur, etc.) et avoir un emballage qui assure une protection sans faille.

La politique de distribution est censée permettre un transfert efficace et rapide vers les multiples marchés disponibles du micropolitain à l'international. Les infrastructures en marché de gros et de détail font souvent défaut.

La politique de prix doit pouvoir stimuler le dynamisme économique du secteur rural sans aliéner pour autant les populations urbaines. Elle s'avère intimement liée au plan macro-économique aux conditions du crédit agricole et au plan micro-économique à celui de coût des produits.

La politique de communication permet aux acheteurs éventuels d'être tenus informés de l'existence du produit et de l'endroit où on peut se le procurer. Elle s'adresse aussi bien au consommateur final qu'à l'utilisateur (paysan) qui peut être «client» d'un système d'information sur les prix mis sur pied par l'Etat.

Cette démarche de marketing, attitude qui force le preneur de décision à se préoccuper des réactions de l'utilisateur et/ou consommateur potentiel, s'applique aux trois phases de modifications technologiques des produits agricoles que sont les changements touchant la production, la transformation, la conservation ainsi qu'à la consommation. La figure 1 illustre comment, de façon concrète, le marketing contribue à la valorisation des produits agricoles en complétant l'apport de la technologie. Les exemples des produits et pays mentionnés dans la figure 1 sont ceux que nous allons aborder dans la deuxième partie, chacun d'entre eux touchant une ou plusieurs des composantes d'une stratégie de marketing appropriée.

		STRATEGIE DE MARKETING			
		Analyse de la demande: utilisateurs et/ou consommateurs	commercialisation		
			Produit	Prix	Distribution
<u>PRODUCTION</u>	Le cas du niébé au Burkina Faso				
<u>TRANSFORMATION</u>	Le cas du sorgho au Botswana				
<u>CONSERVATION</u>	Le cas du stockage de maïs au Togo				
<u>CONSOMMATION</u>	Le cas du niébé au Sénégal				

Figure 1. Matrice de la stratégie de marketing appliquée au cycle de valorisation technique de quelques produits céréaliers africains.

Expériences de valorisation de quelques produits céréaliers africains

A la lumière d'exemples empruntés à la réalité technico-économique africaine, illustrons l'apport du marketing aux quatre phases précitées. Il apparaît tout particulièrement opportun de constater que les informations recueillies à chaque niveau du cycle de valorisation sont

utiles à une meilleure gestion de l'étape suivante par un processus itératif. En effet, une décision touchant la production, par exemple, peut avoir un impact sur l'utilisateur du procédé de transformation ou encore sur les perceptions du consommateur final.

Vers une production accrue du niébé au Burkina-Faso qui se fonde sur une nouvelle technologie introduite avec succès auprès des utilisateurs paysans

L'histoire de ce succès [2] dans l'introduction d'un changement socio-technique de production agricole repose sur la volonté de l'Etat burkinabé de réduire la pénurie alimentaire entraînée par la sécheresse des années soixante-dix. Pour ce faire, il met sur pied, avec la collaboration du Centre de recherches pour le développement international (CRDI) et de l'Institut international d'agriculture tropicale (IIAT), un programme de recherche appliquée en vue d'améliorer le rendement du niébé des champs aux entrepôts.

Face à un milieu conservateur rendu sceptique par les nombreux échecs précédents, induits par des experts étrangers à leur environnement, les gestionnaires de ce projet semblent avoir réussi à minimiser la résistance au changement des paysans en impliquant tout d'abord les jeunes agriculteurs plus enclins à l'adoption d'innovation technologique. Sur la base des succès obtenus (rendement multiplié par quatre ou cinq), ces derniers ont alors convaincu plus aisément leurs parents, aidés en cela par l'identification de certains paysans-pilotes qui, par l'effet de démonstration, ont facilité la diffusion des nouvelles méthodes. Cette approche démontre une bonne connaissance préalable des besoins des paysans utilisateurs convaincus par, ce qu'on appelle en marketing, des guides d'opinion.

La réussite d'une technologie de transformation du sorgho au Botswana : le décortiqueur à grains ou «l'adieu au pilon»

Dans le but de réhabiliter le sorgho trop souvent associé à la pauvreté rurale, le Centre de promotion des industries rurales du Botswana (CPIRB) a conçu un décortiqueur qui a reçu en 1986 le prix international de développement technologique à Gênes (Italie). Le CPIRB a testé auprès des utilisateurs potentiels la conception et la fabrication des appareils tout en procédant à des enquêtes de consommation. «Le sorgho a maintenant sa place sur le marché botswanais et bien des femmes ont été affranchies du dur labeur de décorticage au pilon...». Tant l'expérience du Botswana que d'autres réalisées au Zimbabwe ont souligné l'importance d'ajuster les dimensions de la minoterie à la demande locale [3].

Une technologie «néo-traditionnelle» de conservation du maïs au Togo permet de baisser les pertes de production de quelque 30 %

Une équipe pluridisciplinaire de l'Université du Bénin au Togo a pu, avec le concours du CRDI [4], concevoir un type de grenier à architecture traditionnelle légèrement modifiée pour faciliter un enfumage à base de produits naturels. Cette technologie de stockage a été identifiée en collaboration avec les paysans concernés. Les tests préalables à la phase de diffusion de l'innovation se font également de concert avec les producteurs agricoles qui en seront les utilisateurs.

Accroître la consommation du niébé au Sénégal : l'implication nécessaire mais pas suffisante de la promotion gouvernementale

En 1985, le Sénégal a une récolte record de 80 000 tonnes de niébé [5]. Un déjeuner officiel organisé à la fameuse résidence de Médine, à Dakar, par les ministères du Développement rural et du Développement social a donc pour but d'inciter les Sénégalais à consommer une céréale locale de choix en faisant déguster une quarantaine de plats et spécialités d'origines aussi bien sénégalaises, africaines qu'européennes, toutes à base de niébé.

A cette promotion ponctuelle s'ajoute une série d'activités telles que les restaurants témoins, ou encore, la vulgarisation au niveau des écoles hôtelières. Ces actions de marketing, dont l'impact à long terme ne semble pas faire de doute, sauront-elles rejoindre les populations urbaines et rurales ?

En guise de conclusion

Bien que fondés sur une information partielle et trop cursive, ces quelques exemples illustrent l'utilité et l'utilisation de quelques-unes des techniques et stratégies de marketing partielles appliquées à des opérations novatrices de valorisation de produits agricoles faites dans le contexte africain. Nul doute que l'intégration de toutes les variables identifiées à la figure 1 dans un plan de changement technologique augmente les probabilités *a priori* de succès. L'interdépendance des nombreux facteurs ainsi impliqués impose une approche interdisciplinaire complexe, frustrante mais indispensable. Seule une telle démarche analytique et décisionnelle peut contribuer à la minimisation du risque inhérent à toute entreprise ou initiative économique qui doit faire face aux forces incontrôlables de l'environnement (national et international, légal, politique, économique, concurrentiel, etc.).

Cette prise en compte, en amont comme en aval, des paramètres socio-économiques de la valorisation des produits agricoles permet une plus grande efficacité des innovations indispensables à l'accroissement de la sécurité alimentaire des populations de ce continent.

Remerciements. L'auteur tient à remercier J.B. Sawadogo pour sa collaboration.

Références

1. Club du Sahel. (1987). Politique céréalière dans le Sahel : Colloque de Mindelo, *Informations-Club du Sahel*; 1-6.
2. Decarie R. Le niébé, protéine du pauvre, *Le CRDI Explore* (à paraître en 1988).
3. Schmidt O, Toomey G. (1987). Un décortiqueur à l'aide des femmes africaines, *Le CRDI Explore*, Vol 16; 4 : 4.
4. Ouattara S. (1987). L'art de conserver le maïs, *Le CRDI Explore*, Vol 16; 4.
5. Voir trois articles du quotidien sénégalais *Le Soleil* du 18 décembre 1985.

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN
BP 87 — 05003 GAP Cedex
Tél. : 92.51.35.23
Dépôt légal : 728 — Octobre 1990
Imprimé en France

Universités francophones est la collection de l'Université des Réseaux d'Expression Française (UREF). Cette dernière, qui fonctionne au sein de l'AUPELF comme une Université sans murs, a été choisie par le Sommet des Chefs d'Etat et de Gouvernement des pays ayant en commun l'usage du français comme l'opérateur privilégié du Sommet en matière d'enseignement supérieur et de recherche.

Cette collection de manuels universitaires et d'ouvrages de référence s'adresse à tous les étudiants francophones. Elle est appelée à constituer une bibliothèque universitaire en langue française dont les ouvrages sont proposés à des prix modérés.

160,00 FF

80,00 FF — UREF / Prix préférentiel : Afrique, Asie, Amérique du Sud, Haïti

59 4197 6



U R E F



9 780861 962181

AUPELF



John Libbey
EUROTEXT
PARIS - LONDRES