

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.

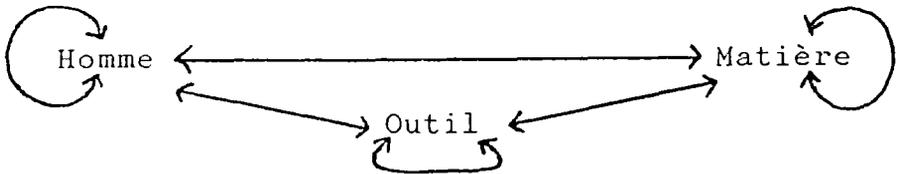
Les recherches menées par la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Nationale du Bénin et le Groupe ALTERSIAL depuis 1984 sur l'artisanat alimentaire béninois, et en particulier celui assurant la transformation du maïs, visent un triple objectif :

— *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

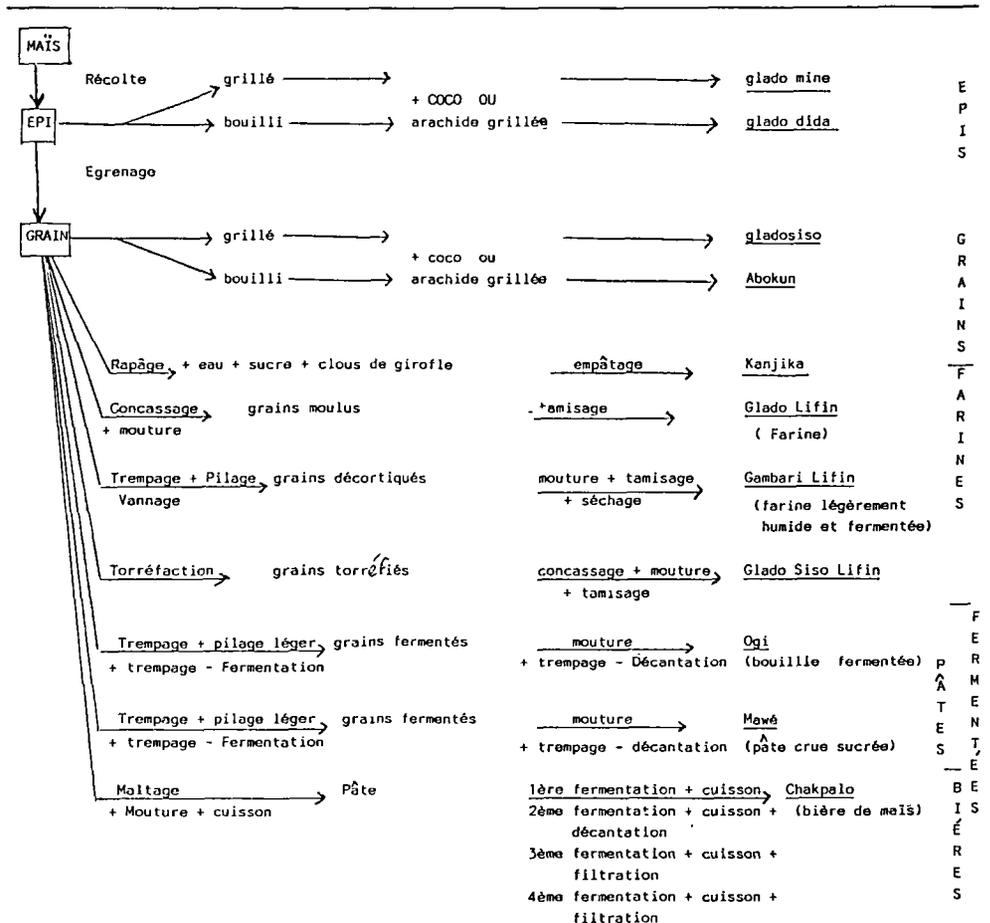
(Maïs + arachide + haricot)

— 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.

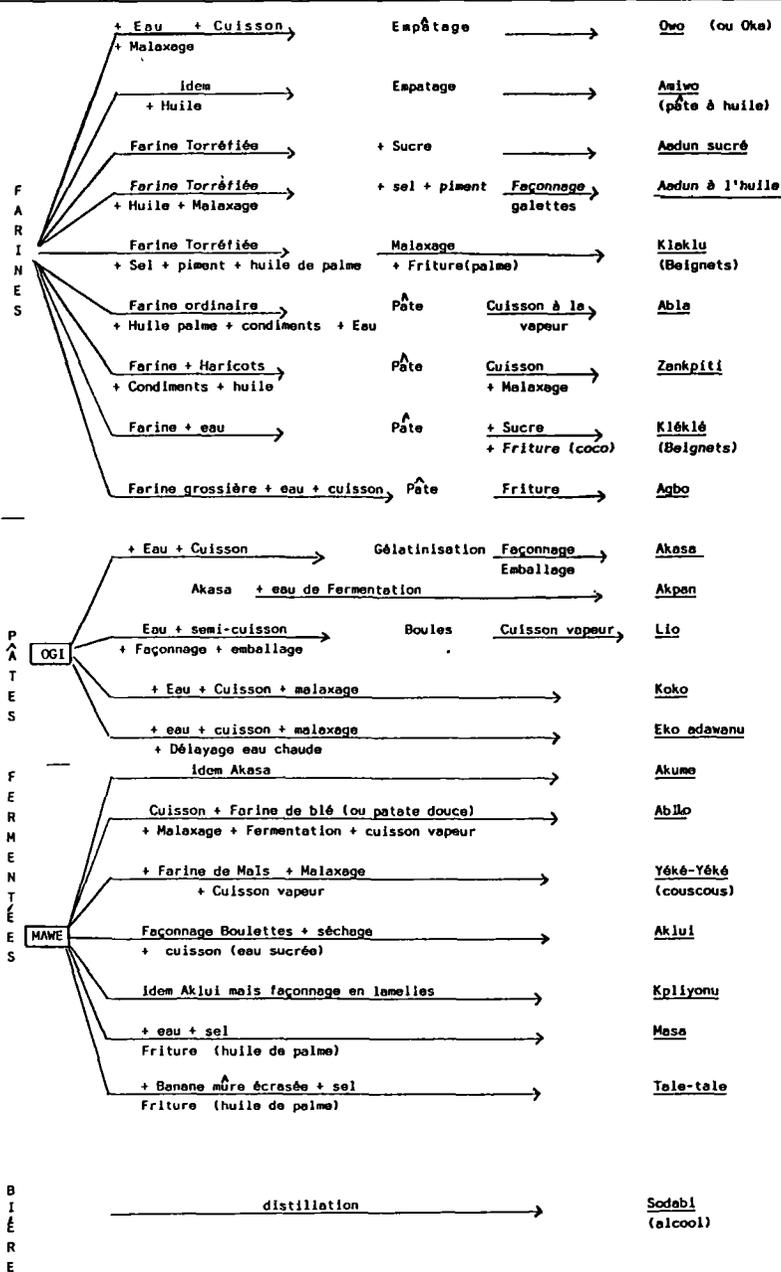


Tableau II. Résultats enquête Cotonou.

- 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.

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 déulpés 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

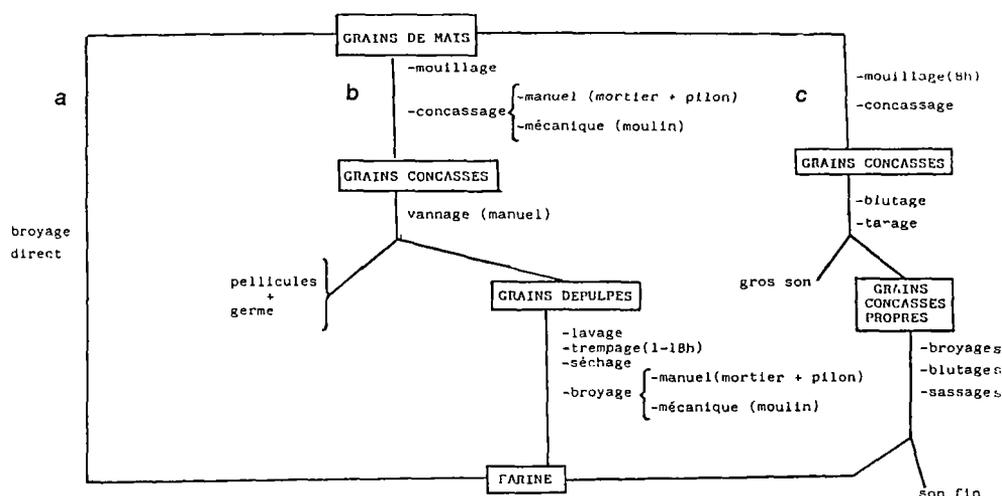


Figure 1. Diagrammes des différentes technologies de fabrication de la farine de maïs
 a) broyage mécanique direct du grain entier
 b) techniques discontinues : manuelle et semi-mécanique.
 c) technique industrielle.

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

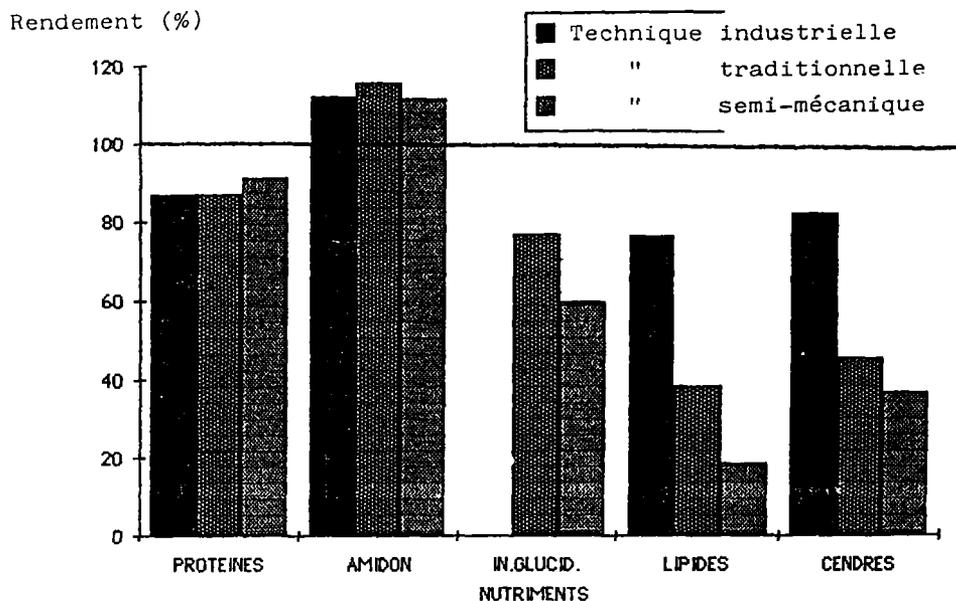


Figure 2. Rendements en nutriments des différentes techniques par rapport au grain entier.

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

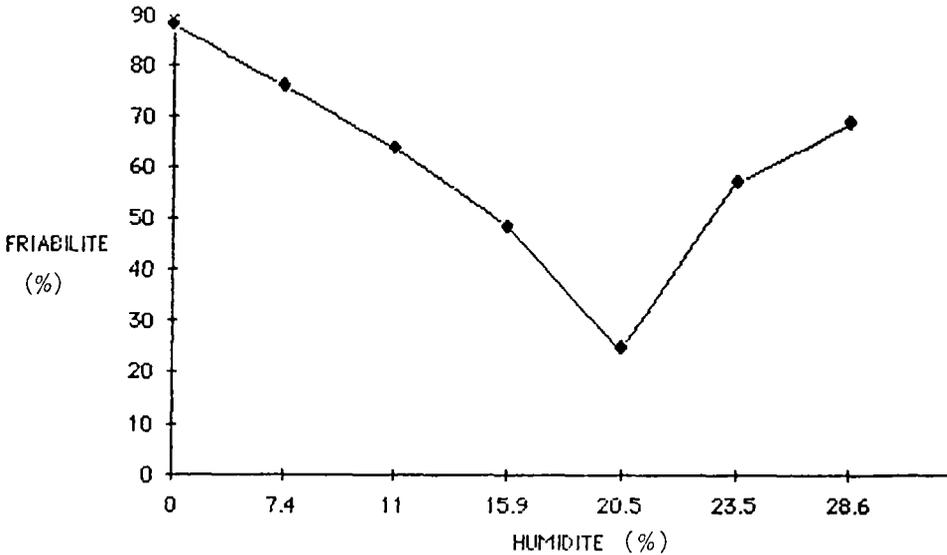


Figure 3. Influence de l'humidité du grain sur sa friabilité (friabilité exprimée en pourcentage de farine traversant le tamis de 500 μm).

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 Hosney [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.

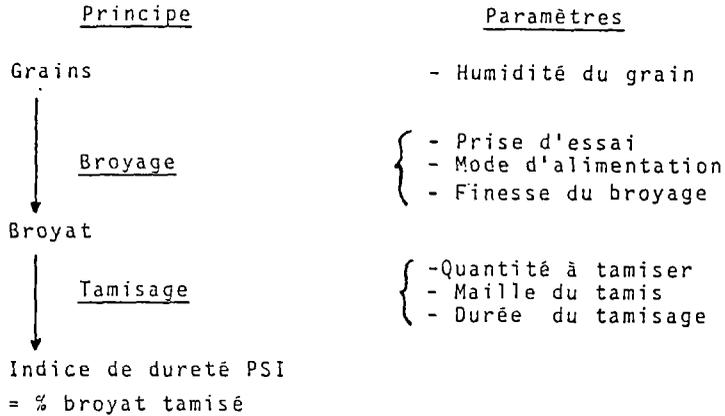


Figure 1. Principe de la méthode PSI : Particle Size Index.

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.

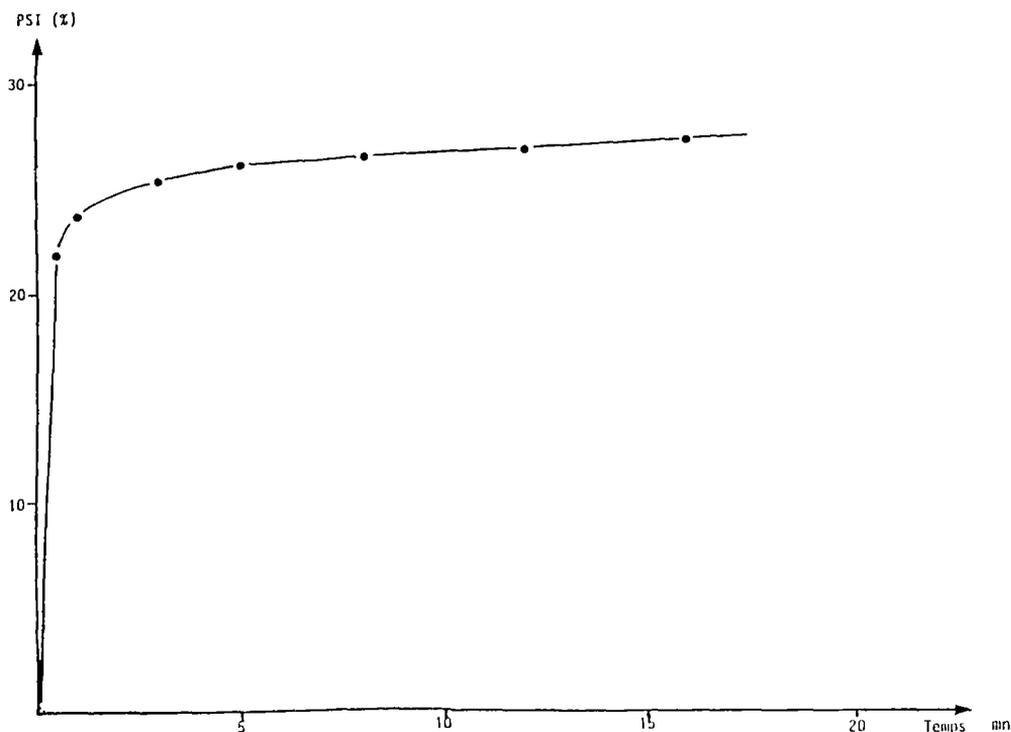


Figure 2. Cinétique de tamisage.

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.

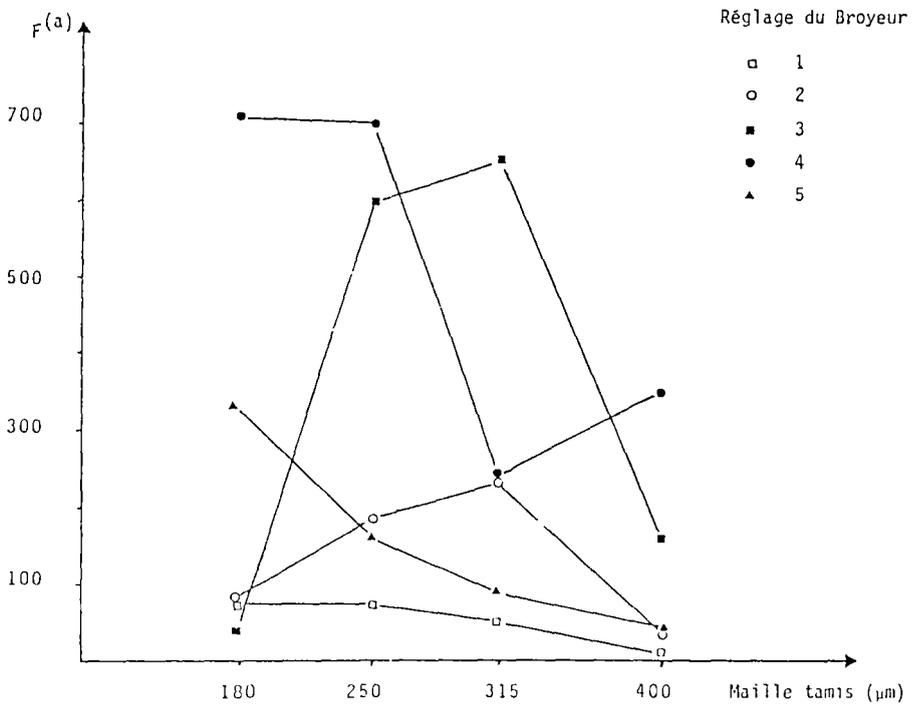


Figure 3. Optimisation du couplage broyage-tamissage.

$$F^{(a)} : \frac{\text{Variance entre variétés}}{\text{Variance de réplication}}$$

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

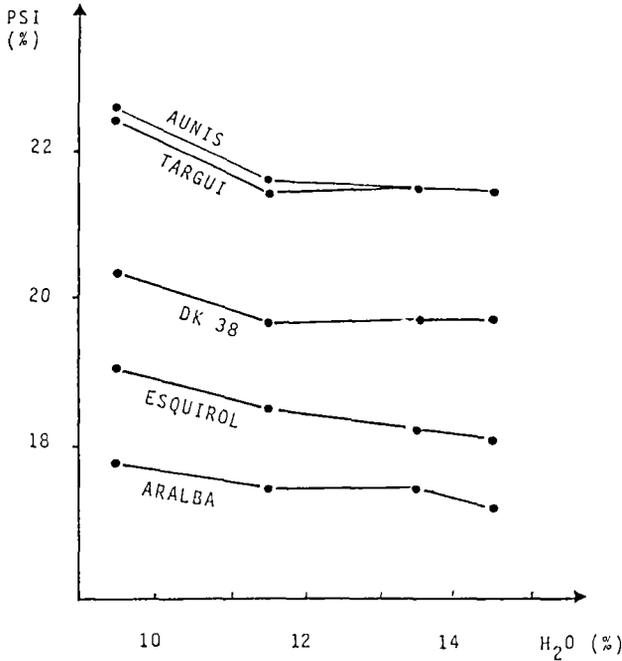


Figure 4. Influence de l'humidité du grain de sorgho sur l'indice de dureté PSI.

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.

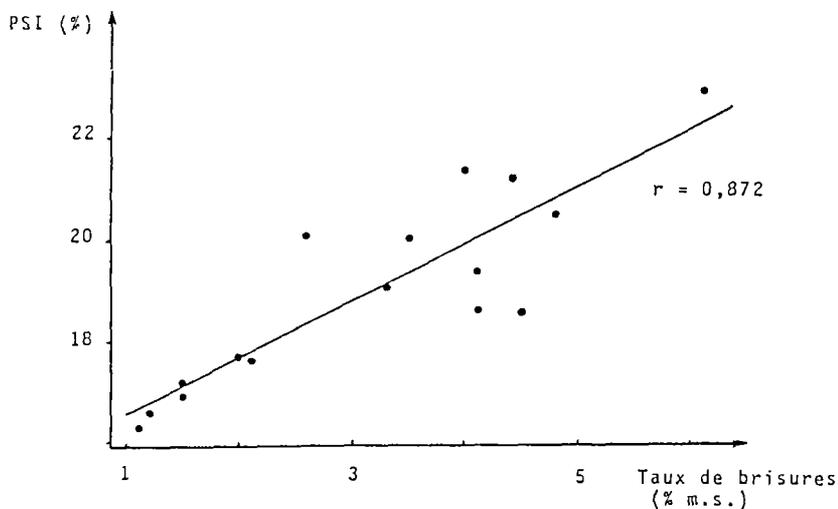


Figure 5. Corrélation entre l'indice de dureté PSI et le taux de brisures obtenu après 2 mn de décortiquage des grains de sorgho.

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

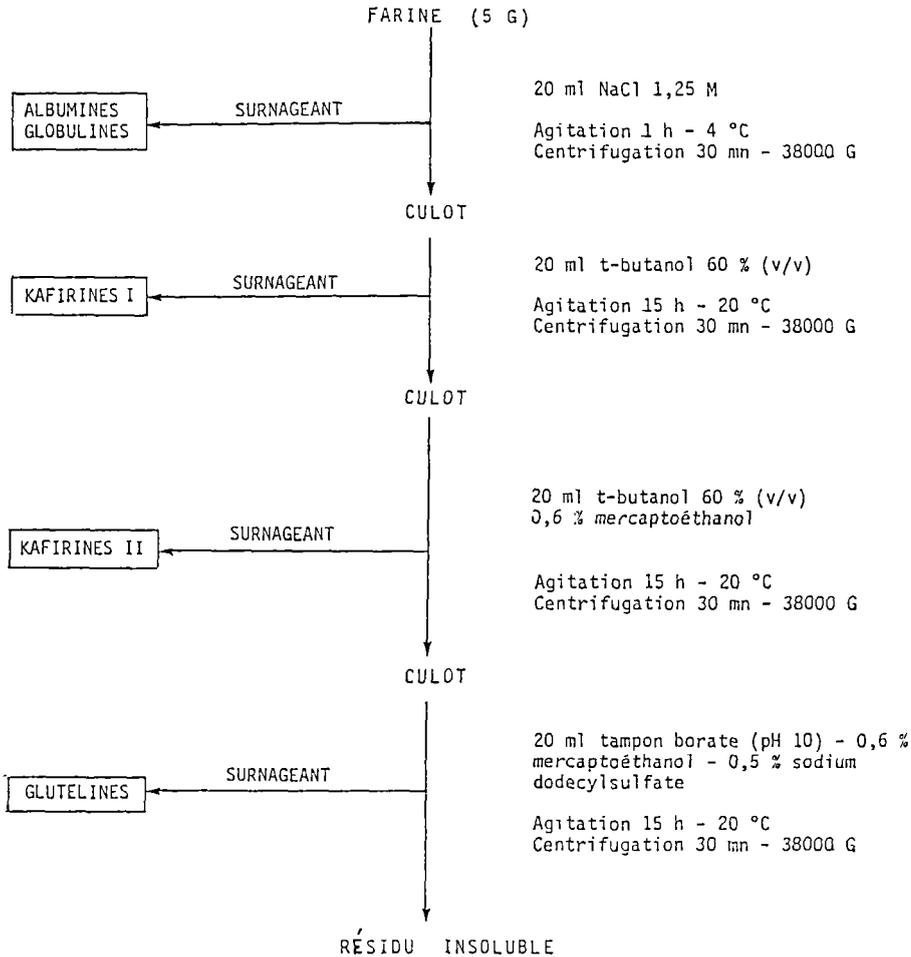


Figure 6. Premier schéma d'extraction séquentielle des protéines de sorgho.

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

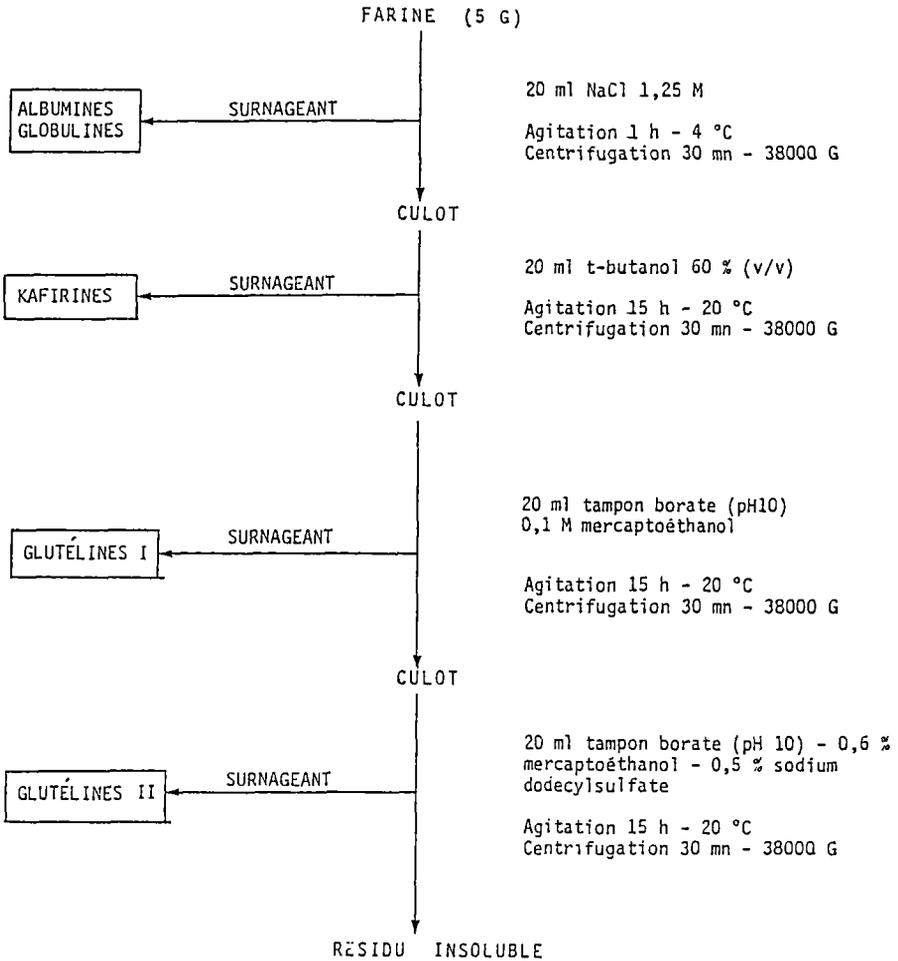


Figure 7. Second schéma d'extraction séquentielle des protéines de sorgho.

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.

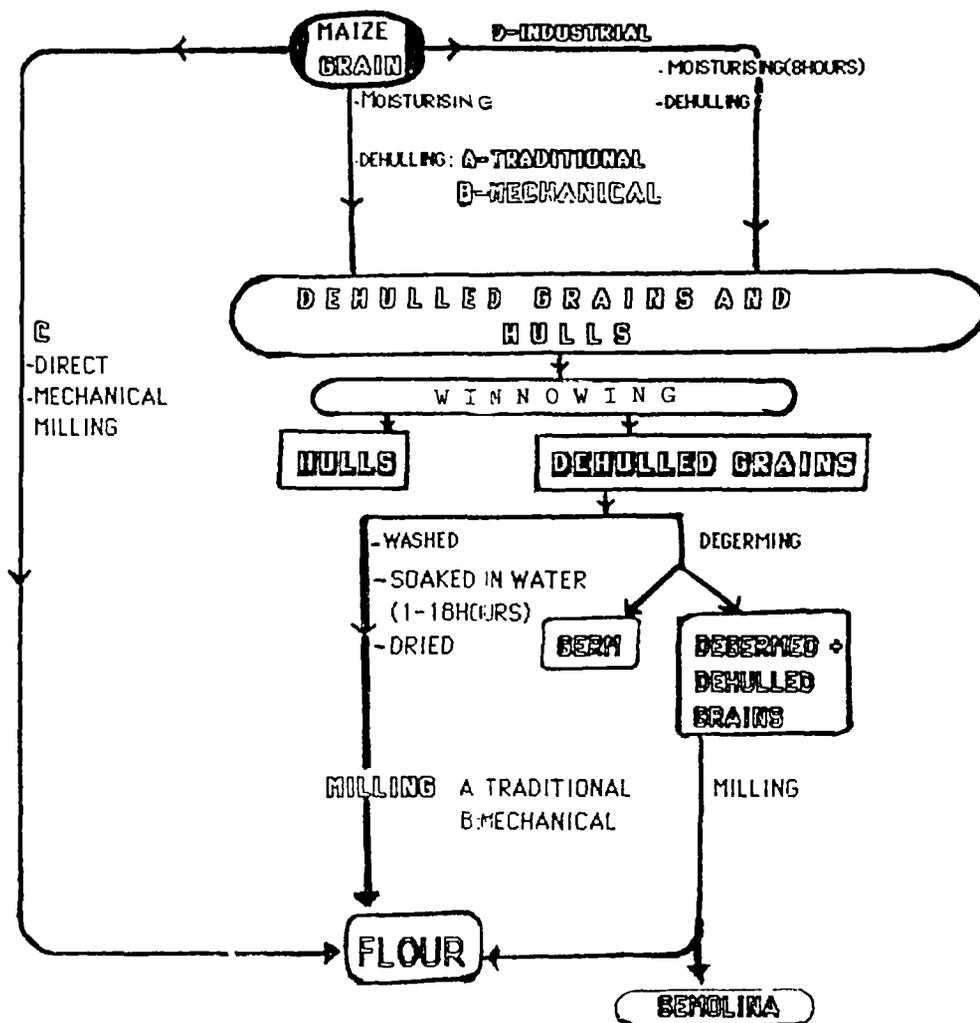


Figure 1. Organigramme simplifié des 4 différentes méthodes de transformation des céréales en farine dans la Province de l'Amadou au Cameroun :

- 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

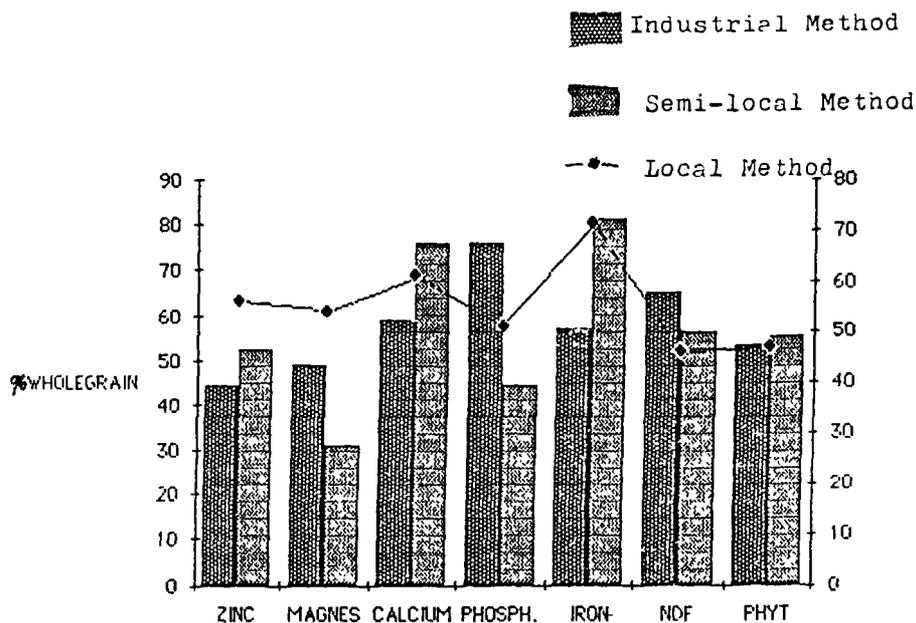


Figure 2. Composition des farines de maïs obtenues par les différentes méthodes : industrielle, semi-locale et locale, exprimées en pourcentage du grain brut.

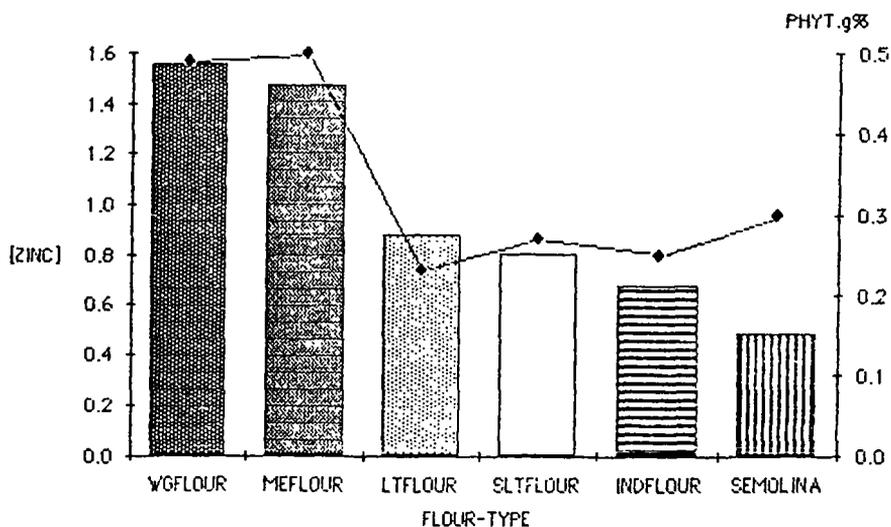


Figure 3. Teneur en zinc et phytate de la farine de maïs obtenue par les différentes méthodes de transformation.

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

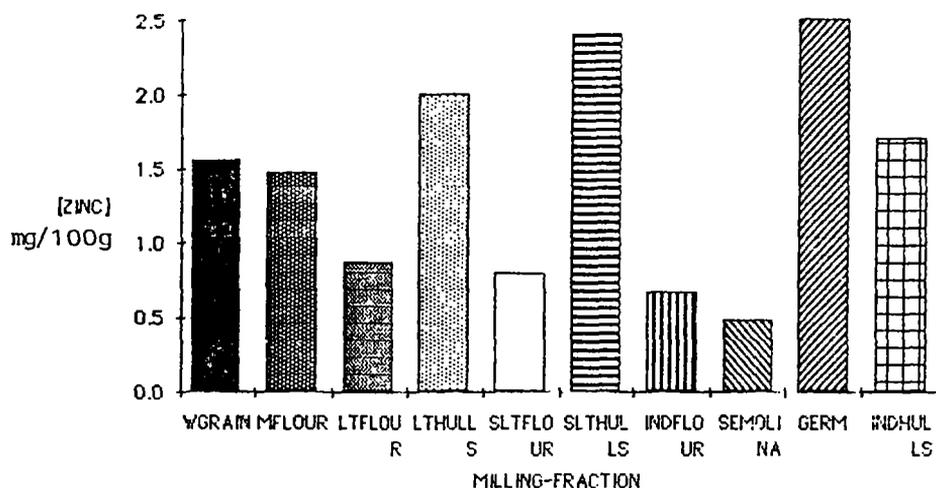


Figure 4. Teneur en zinc des différentes fractions de mouture de maïs obtenues par quatre méthodes différentes.

Influence des différentes méthodes de mouture

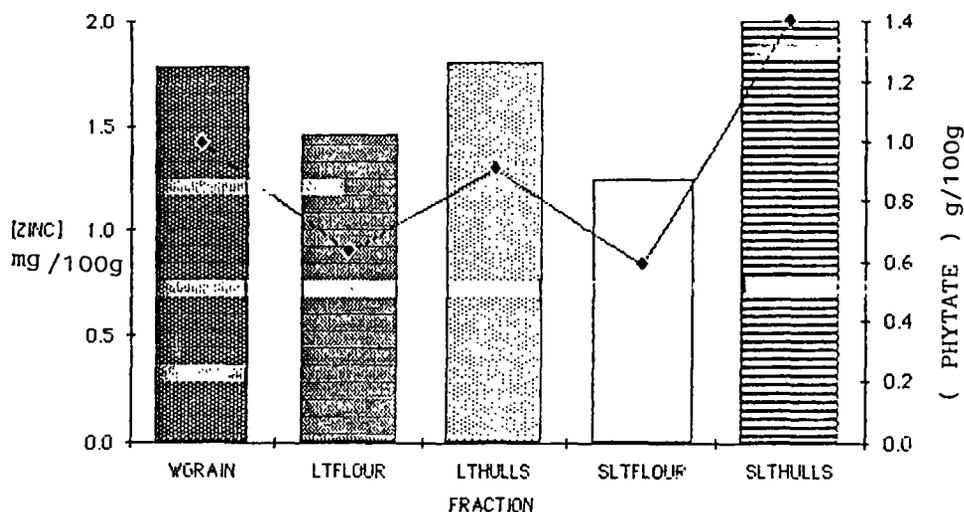


Figure 5. Teneur en zinc et en phytate des différentes fractions de mouture de sorgho obtenues par deux méthodes différentes (locale et semi-locale).

(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-

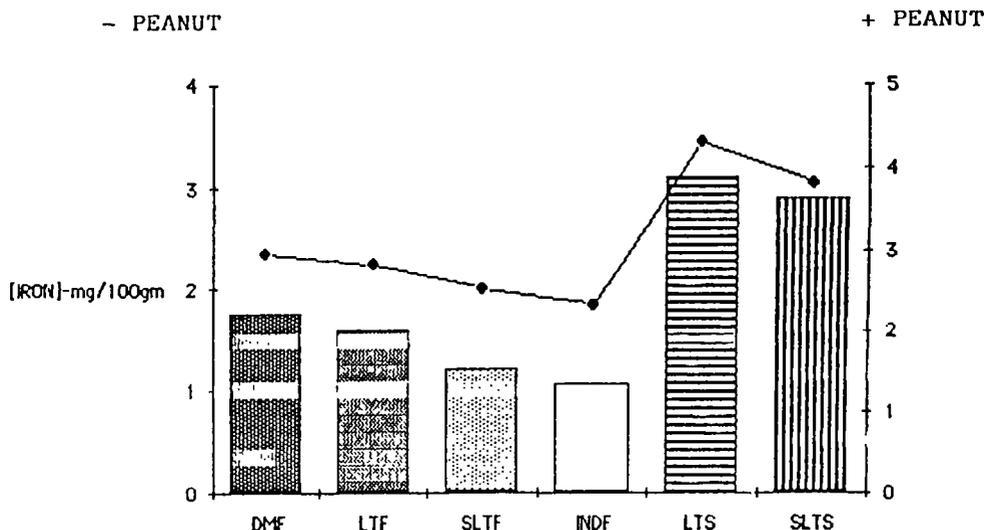


Figure 1. Teneur en fer des bouillies obtenues à partir des différentes farines avec (lignes) ou sans (colonnes) extrait d'arachides.

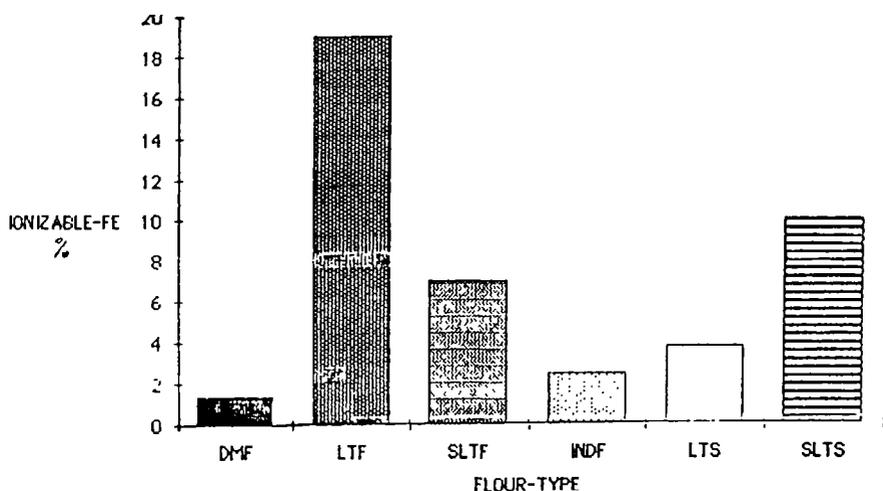


Figure 2. Pourcentage de fer ionisable dans les bouillies de farine de maïs et de sorgho obtenues par les différentes méthodes de mouture.

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-

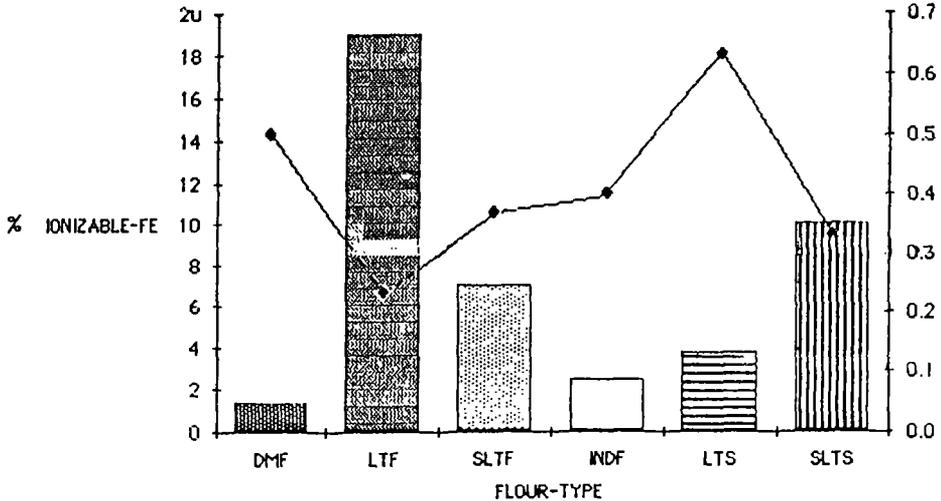


Figure 3. Pourcentage en fer ionisable dans les bouillies obtenues à partir de différentes farines en liaison à leur concentration en phytate.

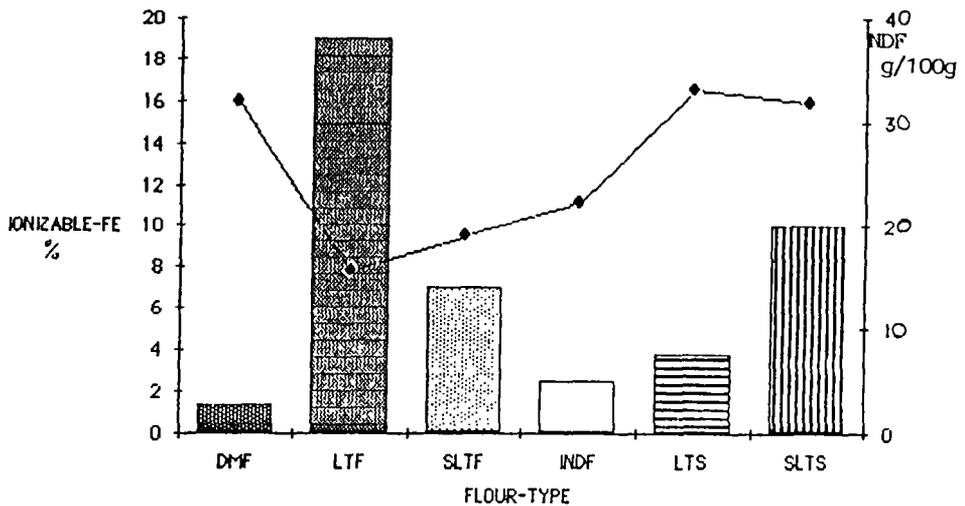


Figure 4. Pourcentage de fer ionisable dans les bouillies obtenues à partir des différentes farines par rapport à leur teneur en NDF.

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.

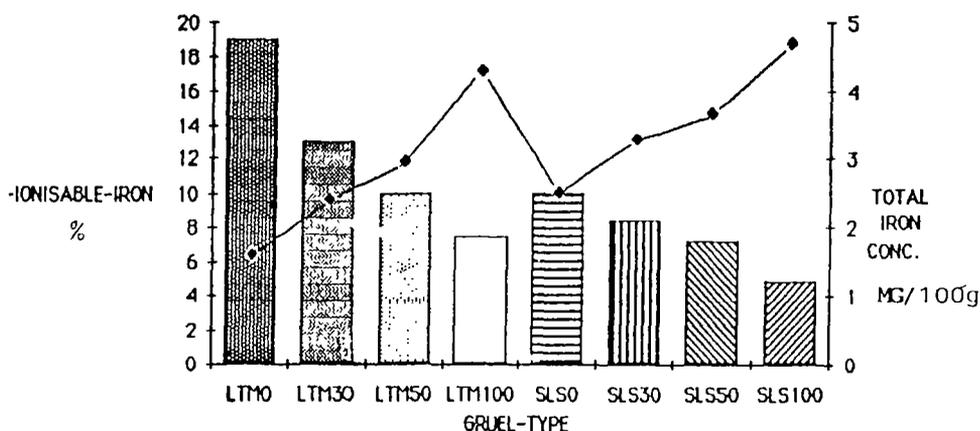


Figure 5. Pourcentage de fer ionisable (colonnes) et total (lignes) dans les bouillies par rapport aux techniques de mouture et préparation.

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).

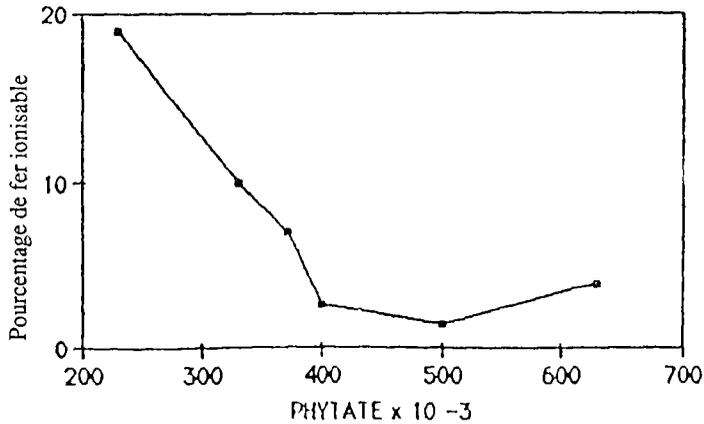


Figure 6. Pourcentage de fer ionisable dans les bouillies par rapport à leur teneur en phytate.

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».

Transformation traditionnelle de quelques céréales

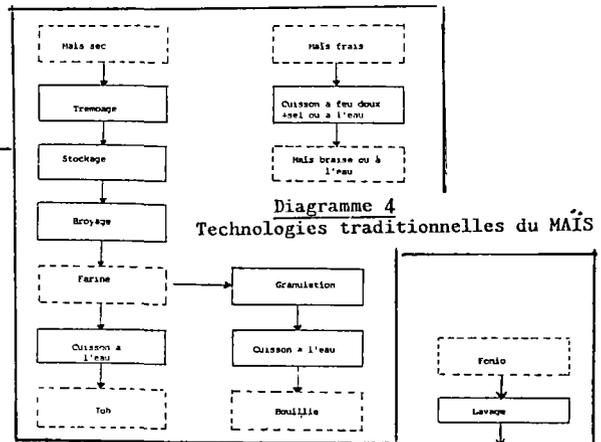
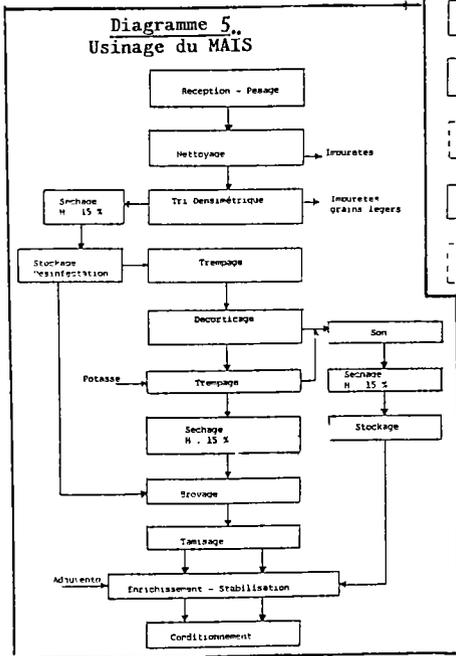
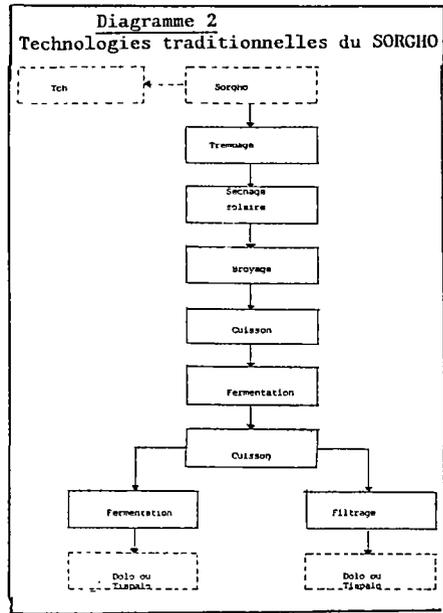
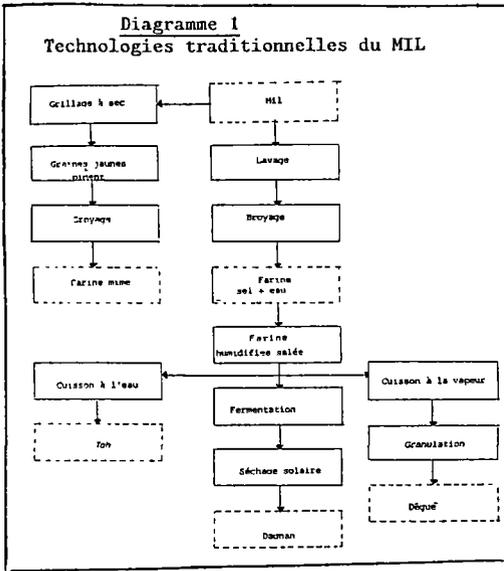
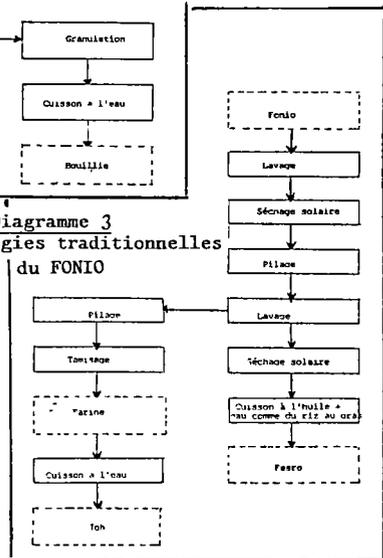


Diagramme 3
Technologies traditionnelles du FONIO



Broyage-tamissage

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.

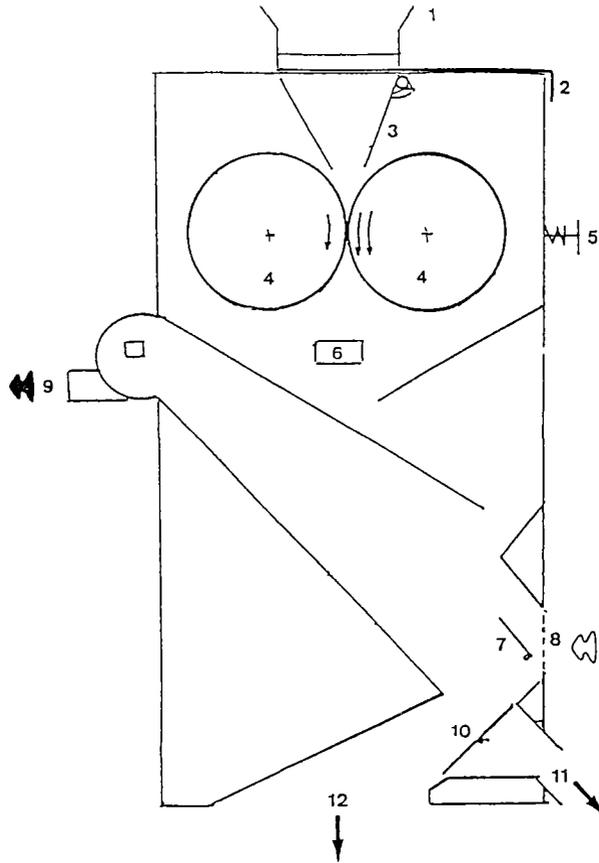


Figure 1. Schéma de l'ensemble décortiquage-nettoyage.

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.

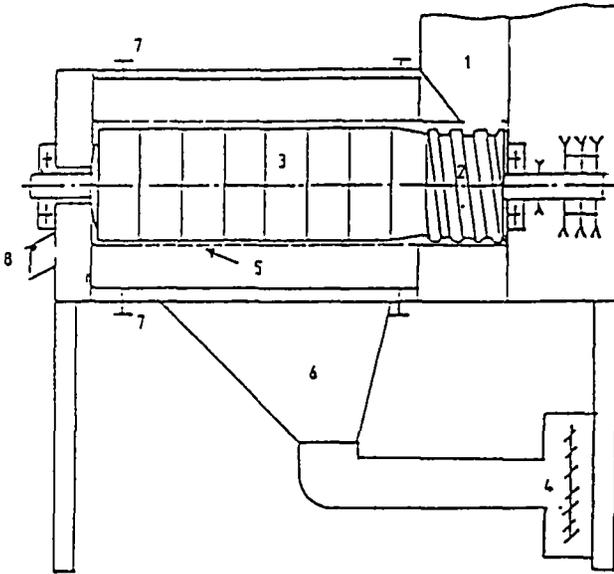
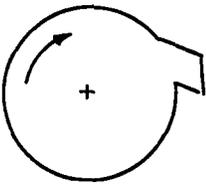


Figure 2. Schéma du module «blanchisseur».

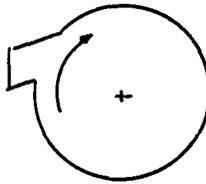
1. Entrée du riz cargo.
2. Vis d'alimentation.
3. Cylindre abrasif.
4. Ventilateur d'aspiration des sons.
5. Grille.
6. Trémie de récupération des sons.
7. Freins.
8. Sortie du riz blanchi.

En parties supérieure et inférieure de la chambre de blanchiment, deux freins longitudinaux réglables ont été disposés parallèlement à l'axe du cylindre central.

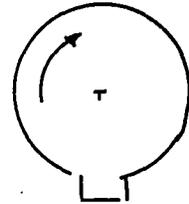
A l'extrémité de la chambre de blanchiment une volute réglable permet de disposer la sortie «riz blanc» à différents niveaux.



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

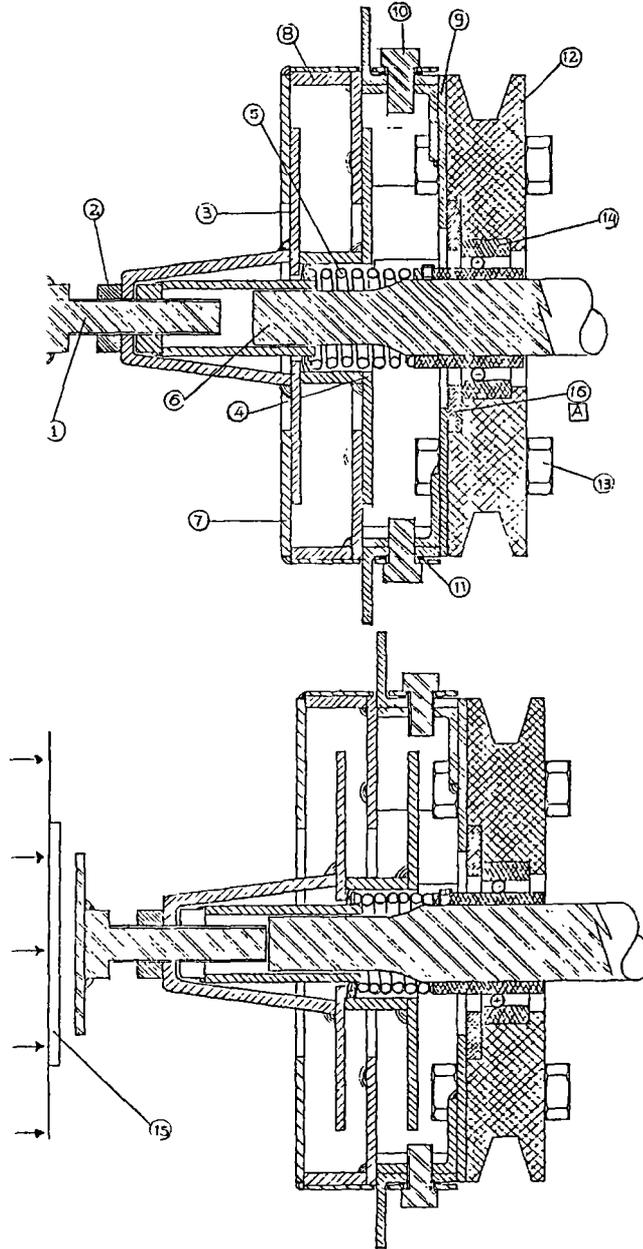


Figure 1. La décortiqueuse gambienne Mini-CRS. Assemblage général de l'embrayage.

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

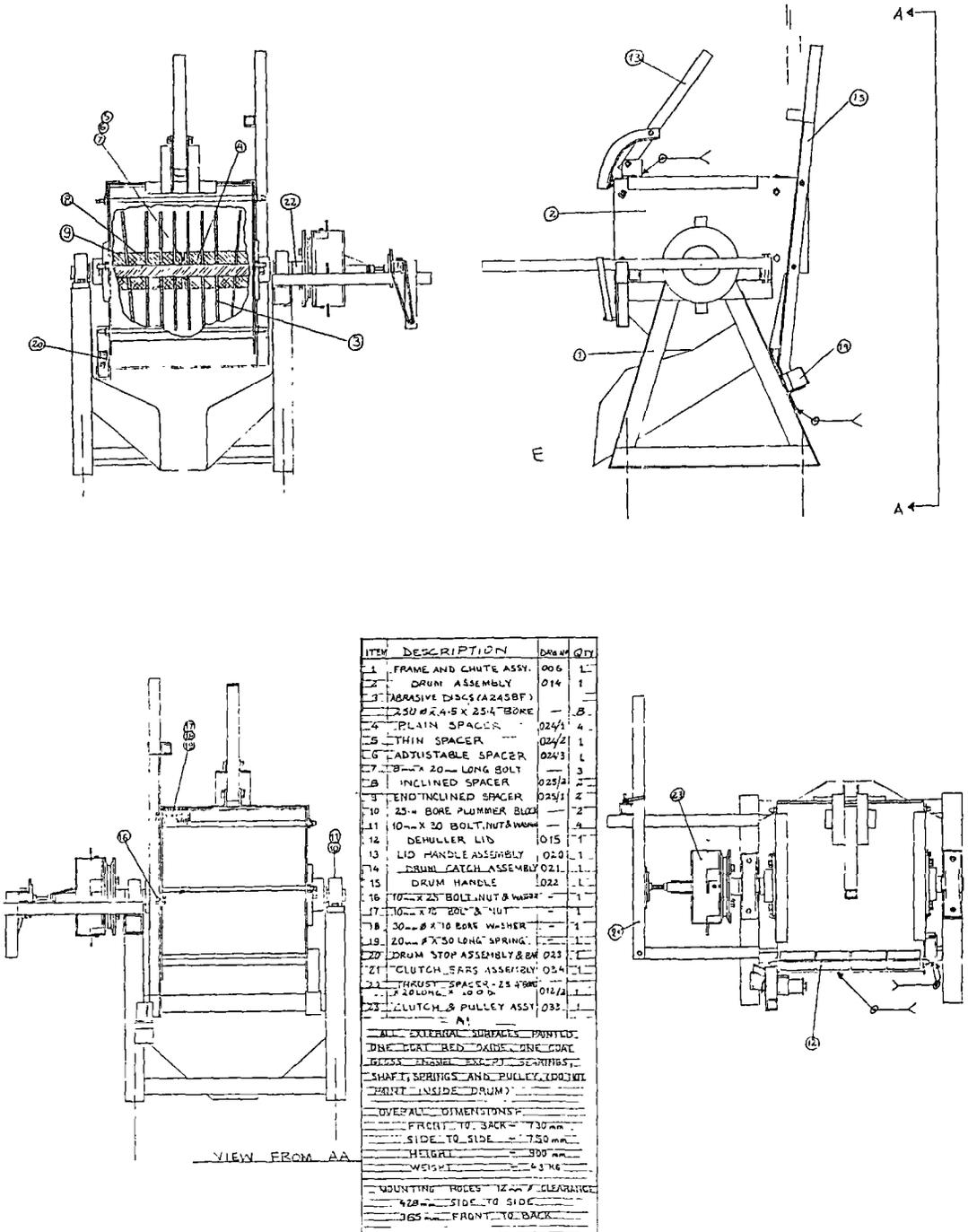


Figure 2. La décortiqueuse Mini-CRS. Assemblage général.

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'épaissieurs (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 décortilage, surtout en ce qui concerne le mil souna. Les taux de décortilage 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 décortilage 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 décortilage 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 décortilage. 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 décortilage. 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)	FARINES 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)	FARINES 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.

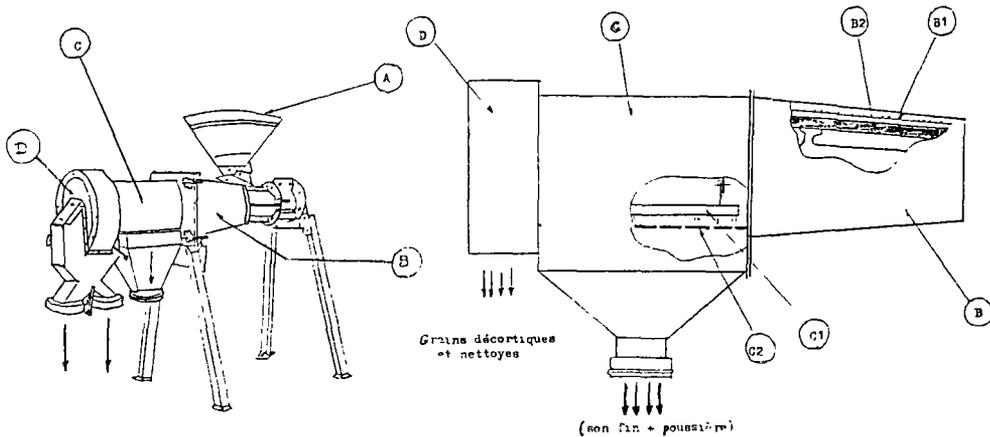


Figure 1. Décortiqueuse FAO M164.

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.

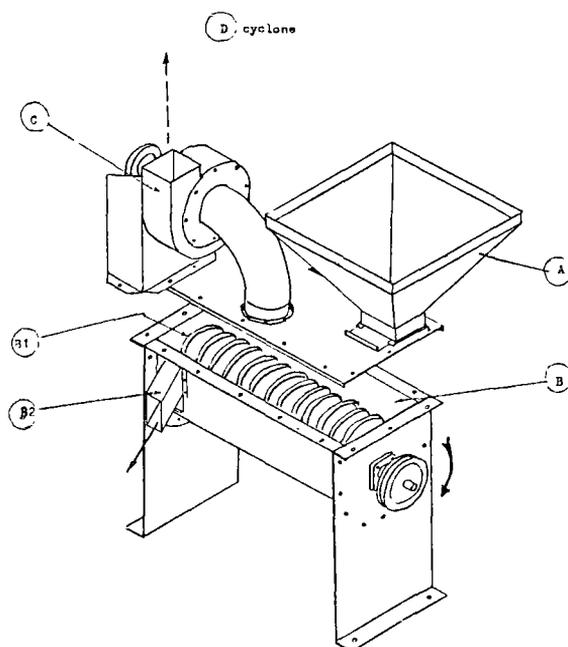


Figure 2. Décortiqueuse PRL/Hill Thresher.

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.

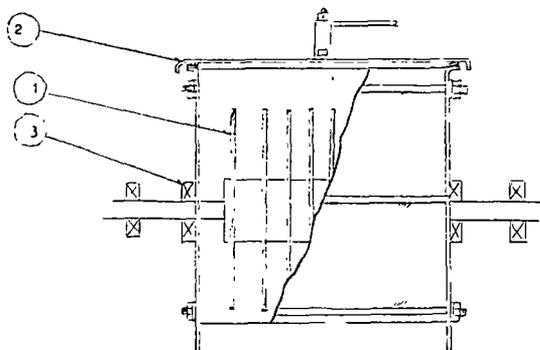


Figure 3. Mini-décortiqueuse PRL.

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.

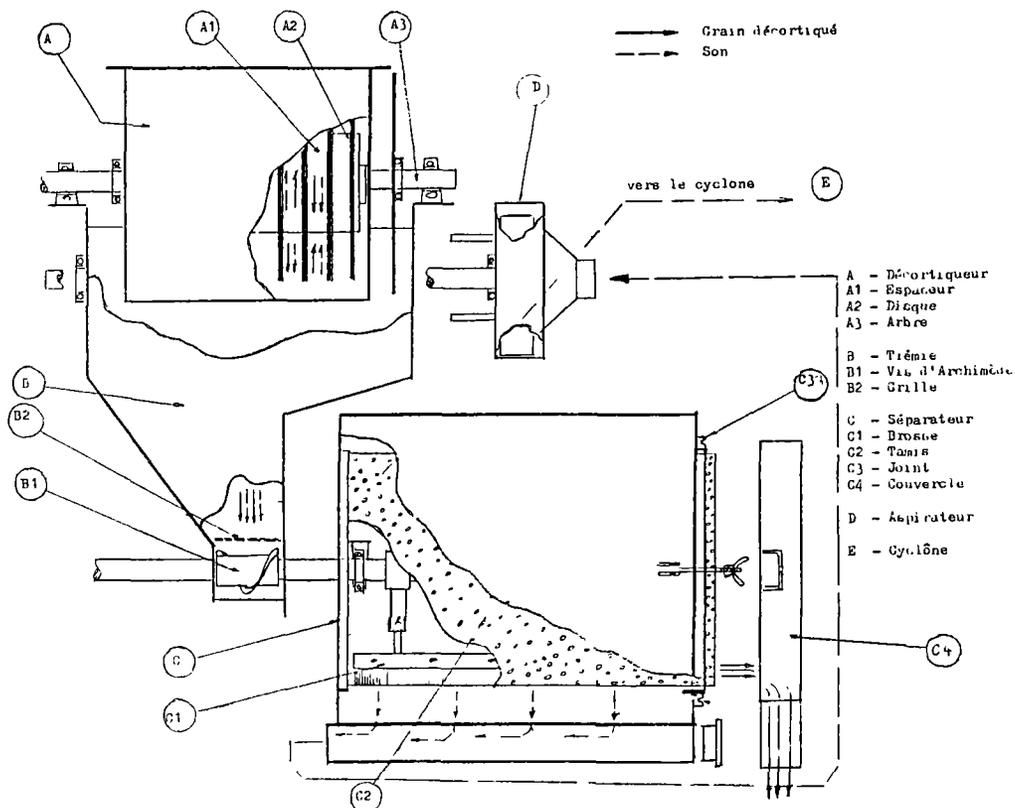


Figure 4. Mini-PRL améliorée.

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).

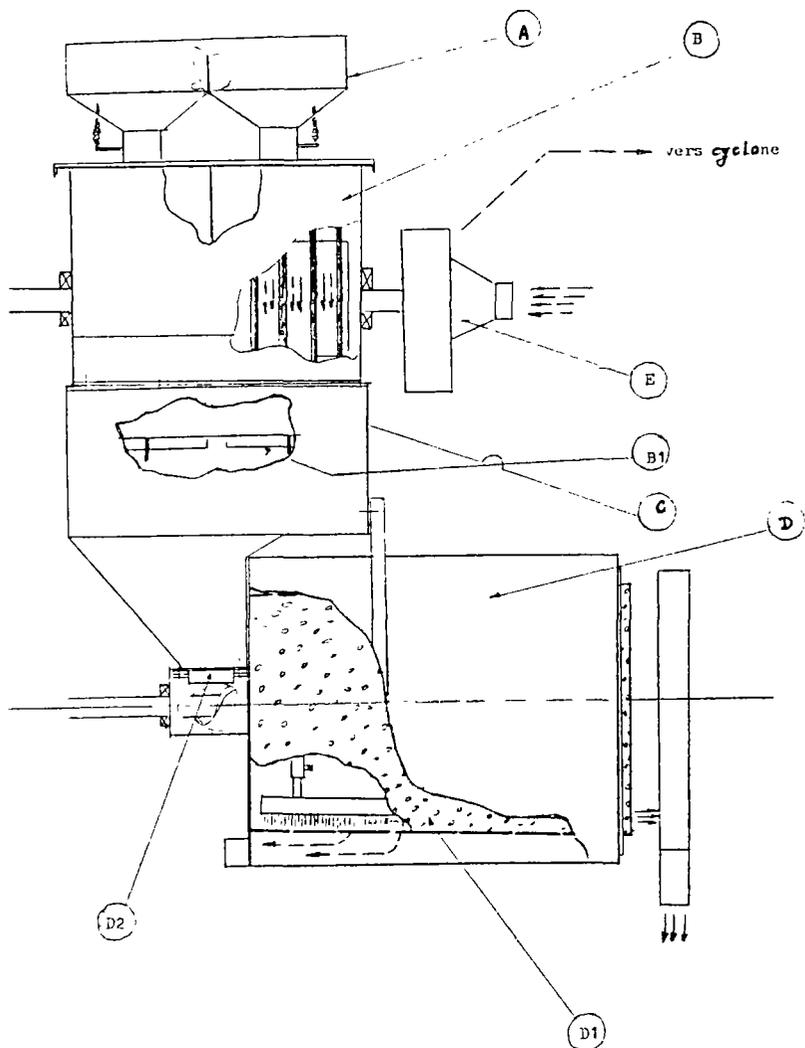


Figure 5. Décortiqueuse CIS.

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.