Projet CFC/IGG - (FIGG/02)

Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio

CIRAD-IER-IRAG-IRSAT

Décorticage du fonio

Rapport de synthèse

Djibril DRAME (IER-Mali)
Claude MAROUZE (Cirad-France)
Gouyahali SON (IRSAT-Burkina)
Francis LOUA (Galama-Guinée)
Jean-François CRUZ (Cirad-France)

Juin 2004

Préambule

Cette synthèse a été réalisée dans le cadre du projet CFC/IGG – (FIGG/02) «Amélioration des technologies post-récolte du fonio» financé par le CFC (Common Fund for Commodities), institution financière intergouvernementale autonome établie dans le cadre des Nations Unies. Ce projet régional, supervisé par la FAO/IGG, associe les instituts de recherche nationaux du Mali (IER) de la Guinée (IRAG) et du Burkina Faso (IRSAT) et le Cirad qui en est l'agence d'exécution.

Cette synthèse est ainsi le fruit d'une collaboration étroite entre les partenaires privés et les équipes de recherche des différentes institutions concernées que les auteurs tiennent à remercier.

Mali
IER/Laboratoire de Technologie Alimentaire
- DRAME Djibril : Coordonnateur National
- Mme BORE Fanta GUINDO
- TANGARA Kola

IMAF
- DIOP Abdou
- TOURE Arboncana

CMDT
- TRAORE Moussa

PME de Transformation du fonio à Bamako : UCODAL, La Sahélienne, Mme SOUMARE Modia

Guinée
IRAG
- SAKHO Souleymane
- DIALLO Thierno Alimou: Coordonnateur National

DNA
- KOUYATE Souraghata
- LOUA Josué Francis

Minotier prestataire et autres partenaires
- DIALLO Abdoulaye
- Unité COMFAR
- Unité GALAMA
- LINO Mamadou

Burkina
IRSAT Division Mécanisation
- SON Gouyahali : Coordonnateur National
- ZANGRE Stéphane
- KONATE Abdoulaye
- HIEN Théodore
- DJIBOUGOU Boukary

Minotier prestataire
- Mme TRAORE

France
CIRAD/AMIS/GPE
- MAROUZE Claude
- THAUNAY Patrice

CIRAD/CA
- Mme FLIEDEL Geneviève
- Mme PONS Brigitte
- GRABULOS Joël
- CRUZ Jean-François : Coordonnateur Général

Sommaire

	Pages
Préambule	
1) Introduction	**2**
2) Objet du décorticage	**2**
3) Méthodes	**3**
4) Résultats	**5**
4.1. Etude des principes de décorticage pour le fonio	**5**
4.2. Résultats des tests sélectifs de matériels existants	**7**
4.2.1. Le décortiqueur Sanoussi	**7**
4.2.2. Décortiqueurs à disques ou à meules	**9**
4.2.3. Cône à blanchir le riz	**12**
4.2.4. Décortiqueurs de type Engelberg	**12**
4.2.5. Principales conclusions à l'issu des tests de matériels existants	**14**
4.3. Conception, fabrication et mise au point du décortiqueur à fonio GMBF	**15**
4.3.1. Démarche de conception du décortiqueur à fonio	**15**
4.3.2. Présentation et essais du décortiqueur à fonio GMBF01	**17**
4.3.3. Le Décortiqueur GMBF 02	**19**
4.3.4. Conclusions sur la conception du décortiqueur GMBF	**26**
4.4. Appui à la fabrication locale des équipements	**27**
4.5. Evaluation du coût de décorticage avec le décortiqueur GMBF	**28**
5. Conclusions	**29**
Références	**30**

1. Introduction

Le fonio (Digitaria exilis) qui a longtemps été considéré comme une céréale marginale ou mineure, céréale de soudure ou céréale du pauvre, connaît un regain d'intérêt en zone urbaine en raison des qualités nutritionnelles et thérapeutiques que lui reconnaissent les consommateurs. Dans les principaux pays producteurs (Guinée, Nigeria, Mali, Burkina Faso et Cote d'Ivoire), le fonio assure une nourriture à plusieurs millions de personnes en période de soudure quand les autres récoltes ne sont pas encore arrivées à maturité et que les ressources alimentaires sont rares. Une meilleure commercialisation du fonio favorise l'émergence de petites entreprises urbaines et génère des revenus en zone rurale ; ce qui participe l'amélioration du niveau de vie des villageois. Aujourd'hui, la consommation de fonio reste encore limitée en raison de la grande pénibilité de certaines opérations post-récolte.

La mécanisation de l'usinage (décorticage et blanchiment) est donc essentielle pour faciliter les opérations de transformation, réduire la pénibilité du travail des femmes et améliorer la qualité du produit commercialisé. Pour stimuler la commercialisation et la consommation du fonio en perfectionnant les techniques de transformation utilisées par les petites entreprises ou les groupements de femmes, un projet portant sur l'amélioration des technologies post-récolte du fonio a été financé par le CFC (Common Fund for Commodities) de 1999 à 2004. Placé sous la supervision de la FAO/IGG (International Group On Grains), ce projet régional a associé les instituts de recherche nationaux du Mali (IER) de la Guinée (IRAG) et du Burkina Faso (IRSAT) et le Cirad qui en a été l'agence d'exécution.

Ce projet a permis de concevoir ou d'adapter et de tester différents équipements de battage, de nettoyage, de décorticage et de séchage du fonio en vue de développer la mécanisation des opérations post-récolte et mettre à la disposition des opérateurs (producteurs, groupements de femmes, transformateurs,..) des technologies adaptées à leurs besoins.

Le présent rapport synthétise pour l'opération de décorticage et de blanchiment du fonio, l'approche méthodologique et les principaux résultats obtenus dans la mise au point d'un décortiqueur à fonio.

2) Objet du décorticage

Le fonio est une céréale dite « vêtue » dont le grain après battage reste entouré de glumes et de glumelles Ce produit est appelé « fonio paddy » ou « fonio brut ». Le grain est de forme ovoïde et légèrement aplatie sur le dos. Le grain est de très petite taille (L = 1,5 mm et l =0,9 mm) et le poids de 1000 grains est en moyenne de 0,5g.

Comme pour le riz, la transformation du fonio paddy en fonio blanchi nécessite alors deux opérations successives: d'une part le décorticage qui permet d'enlever les balles du grain vêtu pour obtenir le grain décortiqué et d'autre part le blanchiment qui a pour objet d'éliminer le son (péricarpe et germe) pour obtenir le grain blanchi

Des mesures réalisées en laboratoire au CIRAD sur 5 variétés de fonio de Guinée (à 11%-12% d'humidité) ont montré que les balles et le son représentaient respectivement 23 % et 9% du grain paddy. Le rendement potentiel de transformation du fonio paddy en fonio blanchi devrait donc approcher 68%[1].

[1] Cruz J.F. 2001. Le fonio. CIRAD. Département de Cultures Annuelles. Montpellier. France. 23 p.

Les sous produits issus des opérations post-récolte sont utilisés pour divers usages. Les pailles obtenues après battage peuvent servir d'aliment pour le bétail ou être mélangées à la terre pour les constructions en banco. Fines et souples, elles sont parfois utilisées pour la confection de matelas.

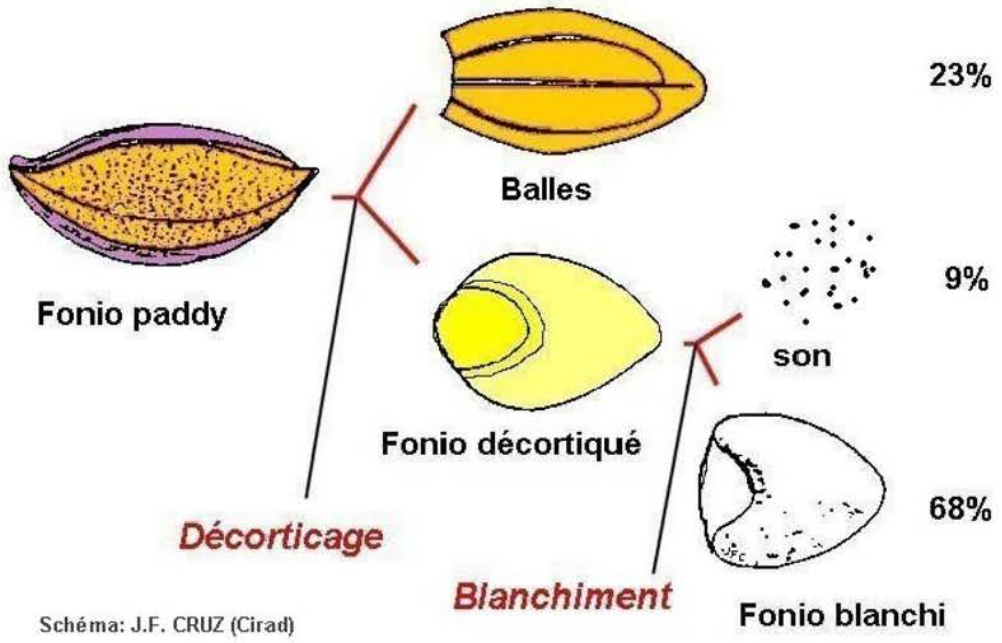


Fig. 1. Diagramme de transformation du fonio

La très petite taille du grain rend les opérations de transformation longues et pénibles pour les femmes. Le décorticage et le blanchiment manuels du fonio nécessitent ainsi 4 à 5 pilages successifs au pilon et au mortier, séparés par autant de vannages manuels. La productivité d'un tel travail est faible puisqu'il faut près d'une heure pour décortiquer 1 à 2 kg de fonio paddy. De plus, pour obtenir un produit de qualité, il est indispensable d'éliminer les matières étrangères, comme le sable et les poussières, en lavant plusieurs fois le produit, ce qui rend la préparation longue et fastidieuse.

3) Méthodes

Pour développer un décortiqueur de fonio, la démarche générale du projet a consisté en l'étude préalable de principes techniques puis en des tests sélectifs de décortiqueurs existants.

En début de projet, le seul décortiqueur connu spécialement conçu pour le fonio était le décortiqueur «Sanoussi» fabriqué au Sénégal. Les premiers essais ont donc naturellement porté sur ce matériel mais également sur de nombreux autres décortiqueurs ou blanchisseurs utilisés sur d'autres céréales. Des tests ont ainsi été réalisés, entre avril 2000 et juin 2001, sur les différents matériels suivants :

- Décortiqueur Sanoussi testé au Mali,
- Décortiqueurs abrasifs: Mini PRL, BCN et décortiqueurs Nuhull et RIIC testés au Mali,
- Cône à blanchir le riz testé au Burkina,
- Décortiqueurs à friction de type Engelberg: Lino[2], GALAMA[3], COMFAR[4] et CCIEC[5] (petit modèle) testés en Guinée.

[2]Lino : Du nom de son concepteur/utilisateur M. Mamadou Lino DIALLO
[3] GALAMA : Groupement des Artisans de Labé pour la Mécanisation Agricole - Labé
[4] COMFAR : Coopérative des Ouvriers Métallurgistes de FARANAH - Faranah
[5]CCIEC : Centre Chinois d'Investissement et d'Exploitation Commerciale - Conakry

Contrairement à ce qui était espéré en début de projet, aucun de ces différents matériels n'a finalement pu répondre de manière satisfaisante au cahier des charges qui avait été élaboré par les machinistes du projet et dont les principales spécifications étaient : (Débit: 60 à 100 kg/h ; rendement d'usinage: 65% à 70%, grains non décortiqués: < 0,5%). A l'issue de cette phase de tests, une étude spécifique a permis de retenir le principe dit « Engelberg » et a servi de support pour les travaux d'amélioration et de conception d'un nouveau matériel. Un cahier des charges de l'équipement a été défini lors de réunions techniques des «machinistes» du projet. Des plans ont été réalisés au Cirad et les équipements fabriqués au Mali par un constructeur local sous la supervision de l'équipe de recherche.

Les différents équipements existants et ceux nouvellement conçus ont d'abord été testés en milieu contrôlé (tests en station de recherche) puis, ceux qui ont donné satisfaction, ont ensuite été implantés en milieu réel (essais au stade pilote) chez les producteurs et transformateurs de fonio. Ces différents tests ont été réalisés en suivant un protocole d'essais précis préalablement établi. Les variables retenues sont celles habituellement utilisées pour le décorticage:

- **Variables déterminantes**
  - Teneur en eau d'humidité du grain (% b.s.),
  - Vitesse de rotation du rotor (tr/min),
  - Position de la trappe d'entrée, indication en millimètres de la largeur de la section de passage,
  - Position de la trappe de sortie, (idem que pour la trappe d'entrée),
  - Ecartement entre les nervures du rotor et la lame-frein (en millimètres).

- **Variables déterminées**
  - Débit d'entrée mesuré en fonctionnement continu (kg/h),
  - Température du grain en sortie (°C),
  - Rendement d'usinage (%) ; quantité de grains décortiqués ou blanchis et vannés à la sortie du décortiqueur-blanchisseur rapportée à la quantité de grain entrant dans la machine,
  - Puissance consommée (kW), le décortiqueur est entraîné par un moteur et la mesure est réalisée à l'aide du compteur,
  - Taux de décorticage (%) ; pourcentage de la masse de grains décortiqués rapportée à la masse de l'échantillon prélevé à la sortie de la machine (valeur déterminée par séparation manuelle de grains),
  - Taux de brisures (%) ; pourcentage massique de grains passant au travers d'un tamis de 500 microns rapporté à la masse de l'échantillon prélevé à la sortie de la machine.

Pour la bonne conduite des essais en milieu réel, des protocoles d'essais et conventions d'essai au stade pilote (permettant de formaliser les modalités du déroulement de l'essai) ainsi que des fiches de suivi technique et d'évaluation économique ont été élaborées.

Au cours de ces essais au stade pilote (uniquement pour les équipements déjà validés en milieu contrôlé), il s'agissait principalement pour les équipes de recherche :

- d'assurer la fourniture, l'installation, la mise en route et le suivi de l'équipement en milieu réel ainsi que la formation des utilisateurs,
- d'effectuer, avec les utilisateurs, des tests de longue durée de fonctionnement de l'équipement afin de confirmer les performances obtenues lors des essais en milieu contrôlé,
- de valider l'équipement par rapport à son environnement en s'aidant du Cahier des Charges Fonctionnel de l'équipement; chaque fonction de service et chaque critère d'appréciation de l'équipement devant être validé par l'utilisateur,
- de procéder à une évaluation économique de l'équipement grâce au relevé et au traitement de toutes les données nécessaires au calcul du coût d'utilisation de l'équipement par kilogramme de produit brut traité.

4) Résultats

4.1. Etude des principes de décorticage pour le fonio

L'ensemble des principes de décorticage susceptibles d'être appliqués au décorticage du fonio a été présenté dans une synthèse bibliographique[6]. Seuls, les quatre principes de décorticage qui avaient déjà été utilisés pour le fonio paraissent potentiellement intéressants et ont été testés.

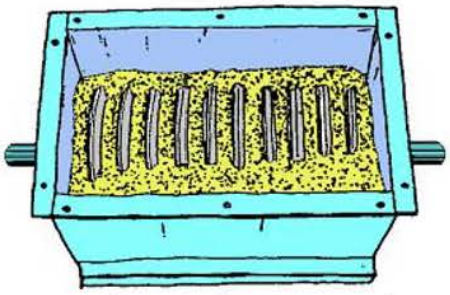
Décortiqueur à friction « Sanoussi »

Le décortiqueur « Sanoussi » est un matériel spécifique pour le fonio qui fonctionne en discontinu. Les grains sont placés dans une chambre tronconique dont le fond est recouvert d'un revêtement en caoutchouc granuleux permettant l'élimination des couches périphériques du grain. Un rotor vertical entraîne deux palettes souples recouvertes du même revêtement. L'usinage est obtenu par friction des grains entre les parties fixes et mobiles. Les sons sont évacués à la partie supérieure par aspiration. La chambre est inclinée pour permettre la vidange de grains après traitement. Au début du Projet, beaucoup d'espoirs reposaient sur ce principe. Des essais ont donc été réalisés.

Fig. 2. « décortiqueur Sanoussi »
(doc S. Diakité)

Décorticage abrasif à disques type PRL

Les décortiqueurs type PRL sont des matériels conçus pour le décorticage du mil, du sorgho ou du maïs qui fonctionnent en continu ou en discontinu (batchs). Le rotor est constitué d'une série de disques ou meules non jointifs montés sur un axe horizontal. La vitesse de rotation est de l'ordre de 2000 tr/min pour un diamètre de disque de 230 mm. Le stator est constitué d'un auget métallique concentrique au rotor dans la partie située sous l'axe. Il comporte une trappe de vidange des grains en partie inférieure. Pour assurer un décorticage de qualité, il est impératif que la périphérie de toutes les graines soit présentée sur les éléments abrasifs ce qui est particulièrement difficile avec des grains aussi petits que ceux du fonio.



Clichés: J.F. CRUZ (Cirad)

Fig. 3. Décorticage par abrasion (PRL)

[6] Marouzé C., 2000. Projet Fonio CFC/ICG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Etude des équipements existant susceptibles d'être appliqués à la transformation du Fonio, Activité n° 6, Inventaire des principes de décorticage-blanchiment, de séparation et de battage. Montpellier, CIRAD-AMIS n° 58/2000.

Décorticage abrasif à meules type DMS 500

Le décortiqueur DMS 500 est un matériel conçu au Cirad pour le décorticage des mils et des sorghos fonctionnant en continu. Le décorticage est assuré par abrasion des grains entre un rotor constitué d'une série de meules jointives montées sur un axe horizontal et une tôle perforée distante de quelques millimètres de l'élément abrasif. Le diamètre extérieur des meules est de 150 mm et la longueur abrasive de 300 mm. Du côté de l'arrivée de grain, une vis sans fin force le passage des grains dans la chambre de décorticage, espace compris entre les meules et la tôle perforée. A l'autre extrémité du rotor, une trappe limite la sortie des grains et règle ainsi l'intensité du décorticage.

Des tests ont été réalisés en 1994 pour le décorticage du fonio, montrent que les problèmes précédents ainsi que la nécessité d'avoir une tôle à très fines perforations subsistent. Un décorticage correct a été obtenu mais au détriment d'un mauvais rendement d'usinage, d'un débit limité et d'un échauffement excessif des grains. En conséquence, les essais ont été arrêtés.

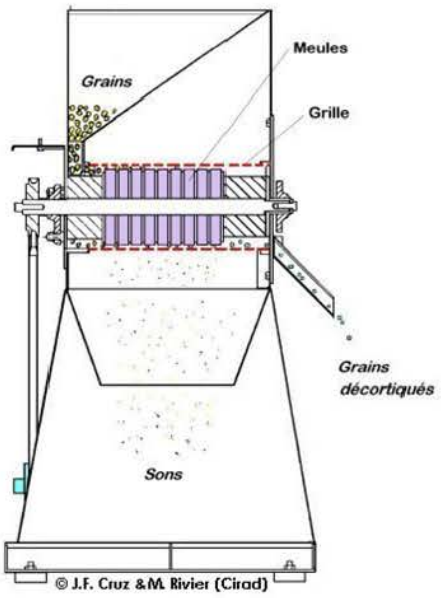


Fig. 4. Décortiqueur DMS500

Décortiqueur à friction-cisaillement type Engelberg

Le décortiqueur à riz de type « Engelberg » se compose d'un module de décorticage-blanchiment reposant sur un châssis métallique. La chambre de décorticage est constituée par un carter métallique avec une grille perforée en partie inférieure, une lame-frein métallique réglable en position à hauteur de l'axe et un capot amovible à la partie supérieure. Ce dernier est pourvu d'une sortie du grain avec une trappe de réglage de débit. Le rotor est un cylindre longitudinal métallique nervuré. La trémie comporte à sa base, une trappe manuelle permettant d'alimenter en grain la chambre de décorticage au travers du capot.

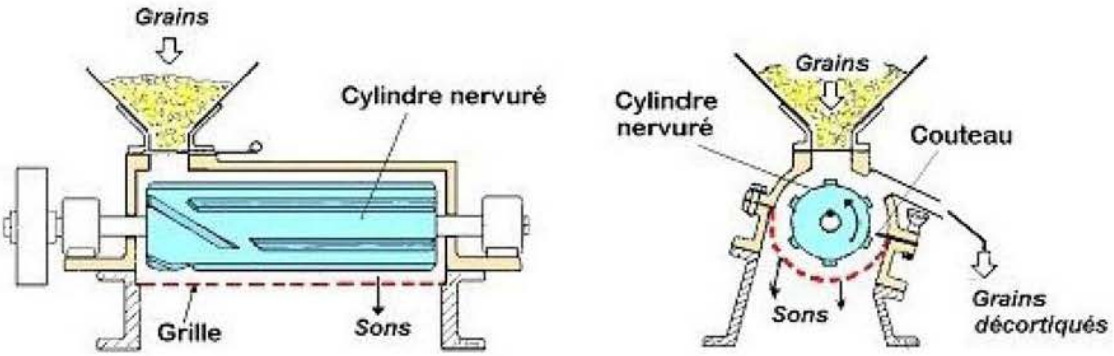


Fig. 5. Schéma de principe de l'Engelberg

Dans le décortiqueur de type « Engelberg », les grains sont poussés axialement par la première partie du rotor équipé de nervures hélicoïdales et mis en pression dans la chambre de décorticage. Tout au long de leur avancement sur la longueur du cylindre, les grains subissent une action de cisaillement et de friction entre eux et au contact du stator, en particulier, de la lame-frein (ou couteau) qui bloque le mouvement de rotation des grains et des nervures du rotor. De cette action résulte le décorticage, un arrachement des balles et des sons. Ceux-ci traversent la grille et tombent par gravité sous la machine où ils sont récupérés. Les trappes à l'entrée et à la sortie de la chambre règlent le fonctionnement du décorticage. La fermeture de la trappe de sortie freine l'évacuation des grains et accroît ainsi la pression interne dans la chambre ; ce qui augmente la friction donc le décorticage. L'effet inverse est observé pour une ouverture de la trappe.

4.2. Résultats des tests sélectifs de matériels existants

4.2.1. Le décortiqueur Sanoussi

Réalisation des essais

Les premiers essais du décortiqueur «Sanoussi» ont été réalisés en avril 2000 sur une machine acquise par la Société UCODAL à Bamako. Ils ont montré que ce décortiqueur pouvait permettre le blanchiment du fonio à un débit voisin de 50 kg/h mais qu'il ne permettait pas d'assurer un bon décorticage (débit < 20 kg/h et taux de décorticage insuffisant)[7].

De nouveaux essais ont ensuite été effectués au Laboratoire de Technologie Alimentaire de l'IER en décembre 2000 avec un nouveau décortiqueur «Sanoussi» acquis dans le cadre du projet. Par rapport à la machine testée à UCODAL, ce nouveau modèle présentait les améliorations suivantes: meilleure ventilation, accès à la chambre plus aisé, cyclone collecteur de son. Les tests de décorticage du fonio paddy ont tous été effectués en présence du constructeur (M. Sanoussi DIAKITE) qui a rappelé que sa machine devait bien être considérée comme un décortiqueur-blanchisseur et non pas uniquement comme un blanchisseur.

Clichés: J.F. CRUZ (Cirad)

Tests du décortiqueur Sanoussi en décembre 2000 et nouveau décortiqueur Sanoussi, 2002

Fig. 6. Décortiqueur Sanoussi

Les essais ont été réalisés par batch de 4 ou 5 kg de paddy pour une durée d'usinage de 10 minutes, soit un débit instantané de 24 à 30 kg/h. La vitesse de rotation de l'axe du rotor était en moyenne de 1248 tr/min en charge.

Après l'usinage, le fonio a été vanné manuellement puis tamisé pour séparer les graines étrangères et les impuretés grossières et les sons résiduels.

Les résultats d'essais sur quatre lots différents de fonio sont présentés dans le tableau 1.

- F1 = Fonio paddy provenant de Kimparana
- F2 = Fonio paddy cultivé et livré à Koutiala par M. Traoré
- F3 = Fonio paddy de Kimparana (2ème livraison).
- F4 = Fonio paddy cultivé et livré à Fingoloni (près de Koutiala) par M. Poudiougou

[7] Cruz J.F., Dramé D., Thaunay P. 2000. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Essais des équipements de transformation au Mali. Rapport intermédiaire n°1-7/00. IER, CIRAD Bamako. Mali. 14p + annexes

Tableau 1. Résultats d'essais de décorticage/blanchiment du fonio à la machine «Sanoussi».

Fonio paddy	F1		F2		F3		F4
Poids paddy	5kg	4kg	5kg	5kg	5kg	5kg	4kg
Humidité	6.5 %		5.0 %		6.5 7 %		5.5 %
T°C fonio à l'entrée	29°C		30°C		31 °C		31°C
Durée usinage	10 mi	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min	10 min
Débit	30 kg/h	24 kg/h	30 kg/h	30 kg/h	30 kg/h	30 kg/h	24 kg/h
Poids fonio blanchi	3.15 kg	2.50 kg	3.05 kg	2.85 kg	2.95 kg	2.80 kg	2.85 kg
Rendement usinage	**63.0 %**	**62.5%**	**61.0 %**	**57.0 %**	**59.0 %**	**56.0%**	**71.2 %**
Taux de décorticage	**97.4 %**	**99.2 %**	**98.8 %**	**99.1 %**	**94.2 %**	**95.4 %**	**95.8 %**
Taux de brisures 600 µ	9.7 %	11.7%	25.7 %	24 %	17 %	14.7 %	
T°C fonio en sortie	57°C	60°C	74°C	72°C	65°C	69.5°C	64°C
Taux cendres (paddy)	3.6%	3.6%	15.98%	15.98%	4.9%	4.9%	2.6%
Taux cendres (blanchi)	0.3%	0.3%	0.7%	0.5%	0.5%	0.5%	0.4%

Analyse des résultats

- La qualité de l'usinage varie selon les lots et reste insuffisante avec les lots 3 et 4 qui contiennent encore 4% à 6% de grains non décortiqués (la référence ayant été fixée à moins de 1 % de paddy dans le produit usiné).

- Pour les lots 1 et 2 correctement décortiqués, les rendements d'usinage obtenus sont assez moyens car ils ne dépassent pas 63%. Le blanchiment du lot 1 est satisfaisant car le taux de cendres est inférieur à 0,5% alors que celui du lot 2 apparaît insuffisant (> 0,5%). Pour le lot 2, le taux de cendres anormalement élevé mesuré sur le paddy est certainement dû au fait que l'échantillon devait être très sale et contenir de la terre.

- L'échauffement du produit au cours de l'usinage est important puisqu'il peut atteindre 74°C à la sortie de la machine mais il n'est pas excessif et ne devrait pas altérer la qualité du fonio blanchi obtenu.

- Les taux de brisures, obtenus au tamis de 600 µm, fluctuent entre 9 et 25,7%. Toutefois ce tamis laisse passer dans certains cas des grains entiers très fins; ce qui a conduit à retenir ensuite le tamis 500 µm pour la mesure des taux de brisures.

A la lumière de ces résultats, on peut considérer que la machine "Sanoussi" est apte à décortiquer et à blanchir le fonio ; les paramètres opératoires (niveau de remplissage, durée d'usinage, etc.) étant à ajuster en fonction des caractéristiques de la matière première. La capacité horaire de ce matériel est faible par rapport aux exigences exprimées dans le pré-cahier des charges élaboré dans le cadre du Projet (100 kg/h) et aux références courantes (décortiqueur Engelberg et décortiqueur de type PRL sur d'autres céréales). La machine demeure sans doute perfectible. Une vitesse de rotation en charge plus élevée combinée à l'ajustement d'autres paramètres (allongement de la conduite de refoulement du son, niveau de remplissage optimisé entre 4 et 5 kg de paddy, plus grande admission d'air, etc.) pourraient constituer une piste pour accroître le débit.

4.2.2. Décortiqueurs à disques ou à meules

4.2.2.1. Les matériels Nuhull et RIIC

Description des machines

Les machines Nuhull et RIIC sont de conception identique. Le RIIC est une copie, fabriquée au Botswana, du Nuhull canadien. Ces équipements sont constitués d'une série de meules (Ø 250 mm), plus ou moins épaisses, (18 meules de 20 mm ou 9 meules de 38 mm) montées sur un arbre horizontal et tournant dans une chambre métallique. Les vitesses de rotation de l'arbre sont voisines 2000 tr/min. Le volume utile de la chambre (sous l'axe du rotor) est d'environ 50 litres. La machine est équipée d'une trémie (50 litres) et, sur le coté, d'une porte de sortie des grains décortiqués et/ou blanchis. Une trappe amovible placée en partie inférieure de la chambre permet une vidange intégrale de la machine en fin d'opération. Un ventilateur monté en bout d'arbre des meules, assure l'aspiration des sous-produits (balles et sons) qui sont ensuite récupérés au niveau d'un cyclone.

Les machines sont entraînées par système poulies-courroies reliées directement à une cellule motrice (moteur thermique diesel 3 cylindres de 18,5 kW ou moteur électrique alimenté par une génératrice accouplée à un moteur thermique)

Clichés: J.F. CRUZ (Cirad)

Fig. 7. Vue du décortiqueur Nuhull et des meules à l'intérieur de la chambre de décorticage

Réalisation des essais

Les essais de décorticage du fonio ont été effectués au Mali en avril 2000 dans les mini-minoteries des villages de Nanposséla, Moribila et Ntosso (région de Koutiala). Ils ont été réalisés avec du fonio paddy provenant de l'arrondissement de Kimparana (entre Koutiala et San). Ce fonio brut qui avait préalablement été nettoyé par tamisage avait un poids spécifique de 630 kg/m3 et une humidité, mesurée à l'étuve, de 8,7% (en base humide). Au cours des essais, des échantillons ont été prélevés à l'issue de chaque passage, avant et après vannage, pour être analysés conjointement par le Laboratoire de Technologie Alimentaire de l'IER à Bamako et le Laboratoire de Technologie des Céréales du CIRAD à Montpellier.

Résultat des essais

Les résultats des essais sont donnés dans le tableau n°2 suivant

Machine	Nuhull 1 (Nanpossela)	Nuhull 2 (Moribila)	RIIC (N'tosso)
Nb passages	3	2	2
Lot (kg)	100	100	30
Débit (kg/h)	124 à 340	85 à 118	170
Débit opération)	33 kg/h	40 kg/h	30 kg/h
Rendement	37 % (54,6 - 2ème)	52,8 %	58 %
Présence de paddy	+ (1,1%)	++ (4,3%)	++ (7%)

Les résultats d'essais sur fonio paddy sont peu satisfaisants. Les valeurs relevées dans le tableau n°2 montrent que ces matériels Nuhull et RIIC donnent, même après 3 passages du grain, des produits insuffisamment blanchis (taux de paddy final compris entre 1,1% et 7%) et des rendements de l'ordre de 50% à 55%. Ils sont par ailleurs très exigeants en puissance (moteur 18,5 kW). Ces matériels n'ont donc pas été retenus pour la suite du programme.

4.2.2.2 Le décortiqueur BCN

Il s'agit d'un matériel de type PRL réalisé par un artisan de Bamako, M. Baba Coulibaly dit Néké (d'où le nom de BCN). La machine est constituée d'une chambre d'usinage d'une vingtaine de litre de capacité (L = 36,5 cm, Ø 24,5 cm) dans laquelle tourne à 2900 tr/min un système abrasif composé de 11 disques à meuler d'un diamètre de 230 mm et d'une largeur de 6,8 mm (référence 230x7x22.2 type DSA 1685 A24S).

Le décortiqueur fonctionne en continu ; le meunier règle les trappes d'entrée et de sortie de grains en fonction de la qualité du travail réalisé. En début de transformation, le produit est toujours laissé quelques temps dans la machine (30 secondes pour du grain décortiqué et près de 2 min pour du paddy) avant l'ouverture de la trappe de sortie. L'entraînement en rotation est assuré par un moteur électrique de 4 KW.

Cliché : D. DRAME (IER)

Cliché: J.F. CRUZ (Cirad)

Fig. 8. Essai du décortiqueur BCN à Bamako

Après des essais préliminaires sur une machine BCN, chez un prestataire privé à Bamako (M. Diallo) en avril 2000, une nouvelle version a été réalisée dans le cadre du projet. Elle dispose d'un système d'aspiration des enveloppes au cours de l'usinage. Pour les essais, la vitesse de rotation de la machine était de 2600 tr/min à vide et de 2560 tr/min en charge.

Les essais de décorticage ont été effectués sur du fonio paddy de Kimparana (6.25% d'humidité) préalablement nettoyé à la vanneuse manuelle. Le décorticage a été réalisé en deux passages dont le premier en batch de 6 kg de paddy/5 minutes et le second sur les mêmes quantités et durées (6 kg/5 min) mais à partir du produit vanné du 1er passage.

Les données relatives aux essais de décorticage sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3. Résultats d'usinage du fonio paddy sur la machine BCN.

	1er Passage		2ième passage
	Lot 1	Lot 2	
Produit entrée	6 kg de paddy	6 kg de paddy	6 kg décortiqué du 1er passage
Humidité initiale	6.25 %	6.25%	6.12%
Durée d'usinage	5 minutes	5 minutes	5 minutes
Débit instantané	72 kg/h	72 kg/h	72 kg/h
Produit sortie (vanné)	4,4 kg	4,15 kg	5,05 kg
Rendement usinage	73,3 %	69,2 %	84,2 %
Taux de paddy	-	-	2,33 %
Taux de cendres			0,28%
Taux brisures (600 µm)	-	-	17.3%

Le rendement global d'usinage varie de 58% à 62%. Le taux de grains non décortiqués, supérieur à 2%, conduit à considérer que la qualité du produit obtenu n'est pas totalement satisfaisante (même si ce taux est comparable à ceux observés sur différents échantillons de fonio collectés sur le marché de Bamako). La machine nécessite encore des modifications pour obtenir un produit fini suffisamment blanchi en deux passages. Une amélioration du système d'aspiration des sons devrait assurer de meilleurs résultats.

Les essais de blanchiment de fonio décortiqué ont été réalisés sur la même machine BCN avec 5 lots différents dont un lot de fonio de Bougouni, un lot de fonio de Kankan (Guinée) et 3 lots de fonio apporté par UCODAL (provenance de Bougouni) car il y a des différences de qualité selon l'origine. L'opération de blanchiment a été effectuée en continu.

Selon le degré d'usinage de la matière première et le niveau de blanchiment désiré par des transformateurs contactés pour des premiers essais de validation de l'équipement en milieu réel, les débits optima semblent se situer vers 150 à 180 kg/h au lieu de 285 à 356 kg/h relevés lors d'essais précédents chez M. Diallo à Bamako.

Cette machine BCN améliorée a été achetée et utilisée courant 2002 comme blanchisseur à fonio par trois entreprises de transformation à Bamako : la Sahélienne de l'Alimentation, UCODAL et l'entreprise de Mme DEME.

Tableau 4. Résultats de blanchiment du fonio avec la machine BCN.

Matière première	**Fonio de Bougouni**	**Fonio de Kankan**	**Fonio n°1 d'UCODAL**	**Fonio n°2 d'UCODAL**	**Fonio n°3 d'UCODAL**
Fonio décortiqué	30,0 kg	25,0 kg	30,0 kg	23,0 kg	30,0 kg
Humidité initiale	8,0 %	8,4 %	7,6 %	8,0 %	8,0 %
T°C initiale	23 °C	23 °C	23 °C	23 °C	23 °C
Taux brisures	12,0%	7,5%	6,0%	6,1%	6,0%
Débit instantané	185 kg/h	150 kg/h	180 kg/h	267 kg/h	319 kg/h
Fonio blanchi	28,7 kg	24,2 kg	28,0 kg	21,6 kg	28,9 kg
Rendement blanchiment(%)	95,7%	96,9%	93,3%	93,9%	95,4%
Taux brisures	19,0%	21,0%	13,4%	12,0%	8,0%
T°C sortie	58.5°C	56 °C	58.5°C	46 °C	45 °C
Taux cendres initial	0,51%	0,49%	0,50%	0,50%	0,50%
Taux cendres final	0,20%	0,20%	0,28%	0,22%	0,22%

4.2.3. Cône à blanchir le riz

Au Burkina Faso, un petit blanchisseur à cône, autrefois utilisé pour le blanchiment du riz cargo, a été rénové par l'IRSAT pour être testé sur le fonio

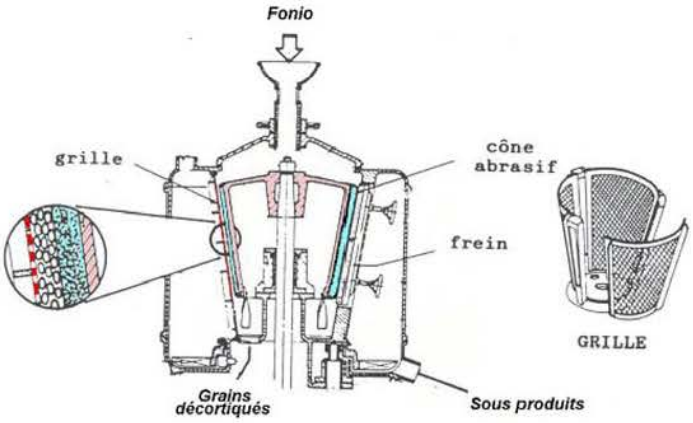


Fig. 9: principe du blanchisseur à cône (d'après FAO)

Cliché: J.F. CRUZ (Cirad)

Fig. 10: Cône avant rénovation

Des premiers essais avaient déjà été réalisés dans le passé montrant de piètres performances sur fonio avec un rendement d'usinage ne dépassant pas 40 à 45% et un taux de pertes voisin de 35%.

Les nouveaux tests, réalisés dans les ateliers de l'IRSAT à Ouagadougou, ont porté sur deux lots de 10 kg de fonio à une humidité voisine de 8% et contenant 7,4 % d'impuretés. L'usinage du fonio a été réalisé en discontinu et a nécessité deux passages pour chacun des lots. Les résultats obtenus ont été médiocres en termes de débit (de 27 à 37 kg/h) et de qualité du décorticage. Les femmes de l'association "TOME", spécialisées dans le traitement du fonio au mortier-pilon, ont considéré que la qualité de l'usinage n'était pas satisfaisante en raison du pourcentage élevé de grains non décortiqués (5% mesuré) et d'un taux de brisures élevé. Les très faibles rendements d'usinage obtenus (26 % à 37 %) ont conduit à déclarer ce matériel totalement inadapté au décorticage du fonio et à l'abandonner.

4.2.4. Décortiqueurs de type Engelberg

4.2.4.1. Premiers essais de décortiqueurs « Engelberg »

Les premiers essais de décorticage réalisés en Guinée au cours du premier semestre 2000 avaient porté sur 3 types de décortiqueurs Engelberg répertoriés localement : Le décortiqueur Lino, le décortiqueur GALAMA et le décortiqueur COMFAR[8].

Les essais de ces matériels ont été repris pour confirmation et un nouveau matériel : le décortiqueur Engelberg CCIEC[9] (grand modèle) a également été testé.

Tableau 5. Résultats comparés des essais de décorticage avec des décortiqueurs Engelberg en Guinée

Décortiqueur	Débit (kg/h)	Rt usinage	% non décortiqué	Remarques
Lino	56 –104 kg/h	63 %	0,5 %	
Galama	16 – 22 kg/h	71 %	6,5 %	
Comfar	31 – 57 kg/h	72 %	9 %	
CCIEC (G.M)	30 kg/h	65 %	34 %	échauffement

[8] Cruz J.F. , Dramé D., Diallo T., Son G. 2000. Rapport Annuel des activités (juin 1999 à juin 2000) n°2/00. Projet CFC/IGG – (FIGG/02): Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. CIRAD-Bamako. Mali. Juillet 2000. 36 p + annexes

[9] CCIEC : Centre Chinois d'Investissement et d'Exploitation Commerciale - Conakry

Le décortiqueur "Galama"

Clichés: J.F. CRUZ (Cirad)

Le décortiqueur « Lino »"

Fig. 11. Essais de décortiqueurs à fonio en Guinée

Analyse des résultats

Le décortiqueur «Lino» donne les meilleurs résultats avec un débit moyen voisin de 75 kg/h et un rendement d'usinage de 63% pour un grain correctement décortiqué et blanchi (0,5% de non décortiqué).

Le décortiqueur GALAMA dont les dimensions du rotor sont comparables au décortiqueur Lino (ø 40 mm et longueur rotor 230 mm) donne des débits relativement faibles (inférieurs à 30 kg/h) et un décorticage qui n'est pas réellement satisfaisant (6,5% de non décortiqués).

Les décortiqueurs COMFAR et CCIEC (grand modèle) n'ont pas donné de résultats satisfaisants notamment en matière de qualité du décorticage (taux de non décortiqués important). Ils ont donc été abandonnés.

4.2.4.2. Nouveaux essais de décortiqueurs « Engelberg »

- Décortiqueur Galama

Le décortiqueur Galama a été modifié (hélice du rotor) pour améliorer l'alimentation en fonio paddy de la chambre de décorticage sans avoir recours à un bâton pour pousser les grains. Les résultats des essais réalisés avec du fonio paddy préalablement séché durant 2h par exposition directe au soleil sont:

Tableau n°6. Essais de décorticage/blanchiment (décortiqueur Galama)

Essais	Débit (kg/h)	Rendement d'usinage	θ finale du produit	Taux de paddy résiduel	Taux de brisures
1	74	53 %	73 °C	7 %	2,5 %
2	75	54 %	73 °C	8 %	3 %
3	60	53 %	80 °C	10 %	3,3 %

Les faibles rendements d'usinage obtenus et le taux élevé de fonio paddy résiduel dans le produit obtenu ont conduit les expérimentateurs de l'IRAG à considérer que ce décortiqueur n'était pas suffisamment performant pour être testé au stade pilote.

- Décortiqueur CCIEC petit modèle

Un décortiqueur CCIEC (petit modèle) utilisé pour le décorticage du riz a été spécialement adapté au décorticage du fonio par le projet PASAL[10]. Les essais réalisés en avril 2002 avaient montré qu'une source motrice de 10 kW était insuffisante pour faire fonctionner ce décortiqueur sur fonio. Les résultats synthétiques de nouveaux essais réalisés avec le décortiqueur CCIEC petit modèle accouplé à un nouveau moteur électrique de 16 kW sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau n°7. Essais de décorticage/blanchiment (décortiqueur CCIEC)

Essais	Débit (kg/h)	Rendement d'usinage	θ finale du produit	Taux de paddy résiduel	Taux de brisures
1	110	53,4 %	95 °C	10,8 %	26 %
2	120	53,6 %	92 °C	11 %	22 %
3	144	54 %	90 °C	11,2 %	19 %
4	149	55 %	85 °C	12 %	15 %

Les résultats montrent un fort taux de fonio paddy résiduel dans le produit obtenu. Par ailleurs, les essais révèlent un échauffement excessif des grains (pouvant aller jusqu'à leur brunissement) au cours du décorticage. Ces défauts ont conduit les expérimentateurs de l'IRAG à considérer que ce décortiqueur n'était pas encore suffisamment performant pour être testé au stade pilote[11].

Clichés: J.F. CRUZ (Cirad)

Fig. 12. Essais du décortiqueur CCIEC" petit modèle en Guinée

4.2.5. Principales conclusions à l'issu des tests de matériels existants

- Les décortiqueurs à disques ne sont pas satisfaisants mais le décortiqueur BCN pourrait cependant être utilisé comme blanchisseur au prix de quelques améliorations.

- Le décortiqueur Sanoussi peut être utilisé pour le fonio mais à la condition que le produit soit bien sec. Son débit (20 kg/h à 25 kg/h en décorticage, et 50 kg/h en blanchiment) est cependant considéré comme trop faible par certains transformateurs.

- Le principe Engelberg est intéressant. Même si les essais réalisés sur les matériels existants n'ont pas toujours été très probants, c'est ce principe qui a été retenu car il est apparu comme le plus prometteur.

[10] D'après Projet PASAL : Programme d'Assistance à la Sécurité Alimentaire (financement français).

[11] Loua F., Kouyaté S., Sakho S. Diallo T.A. 2001. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Rapport d'étape Activité n° 14 : Essai des matériels au stade pilote - Décortiqueur CCIEC petit modèle et Batteuse ASSI. IRAG. Bareng. Guinée. 19 p.

4.3. Conception, fabrication et mise au point du décortiqueur à fonio GMBF

4.3.1. Démarche de conception du décortiqueur à fonio

Après les tests sélectifs et les essais d'un décortiqueur Votex à Montpellier, les « machinistes » du projet ont opté pour le principe de décorticage par friction-cisaillement de type Engelberg. Les principales raisons de ce choix sont les suivantes :

- Principe convenant bien pour les grains vêtus tels que ceux de fonio,
- Résultats prometteurs obtenus en Guinée,
- Type d'équipement déjà fabriqué en Afrique de l'Ouest et utilisé pour le riz,
- Absence de pièces spécifiques importées telles que meules, disques, ce qui facilite la fabrication locale et la diffusion des équipements.

Cependant, la mise au point du principe de décorticage Engelberg pour le fonio se révèle délicate ; il faut assurer une pression et un cisaillement suffisants pour décortiquer sans provoquer, ni de bourrage, ni d'écrasement des grains. De plus, la très petite dimension des grains de fonio ne permet pas d'utiliser une tôle perforée en partie inférieure pour éliminer les balles et les sons au fur et à mesure de leur arrachement des grains. Cette grille doit alors être remplacée par une tôle pleine ; les grains restent mélangés aux balles et aux sons dans la chambre de décorticage.

Compte tenu de ces éléments, les étapes suivantes ont été observées pour la conception du nouveau matériel GMBF basé sur ce principe :

i) Elaboration d'un cahier des Charges fonctionnel du décortiqueur

Les paramètres clés et leurs niveaux ont ainsi été définis :

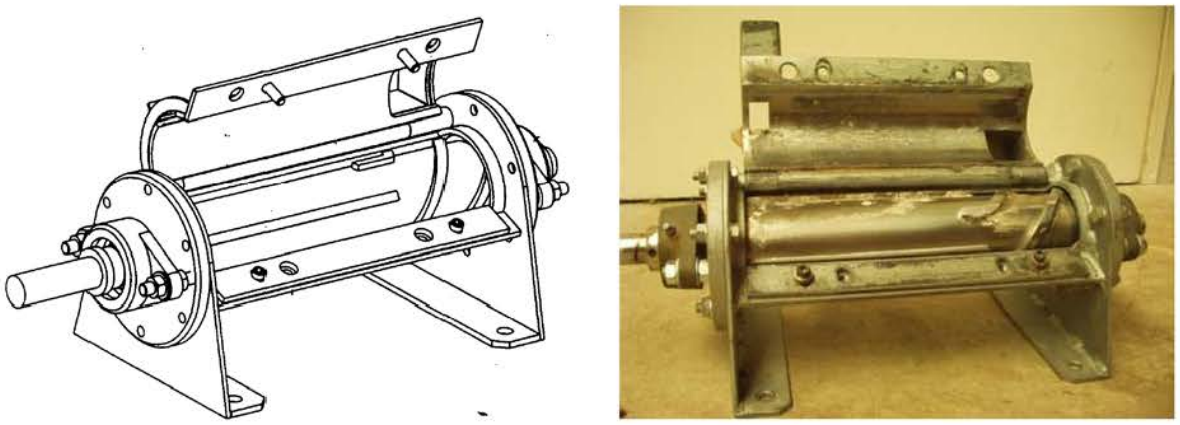
Débit = 80 à 150 kg/h,
Taux de grains non décortiqués 1 à 2% pour fonio décortiqué et < 0,3 % pour fonio blanchi;
Température du grain à la sortie ≤ 80°C

ii) Compréhension du principe de fonctionnement d'un décortiqueur Engelberg pour le fonio.

Elle a été réalisée avec un matériel Votex Les premiers essais ont donné des résultats assez peu satisfaisants avec un mauvais décorticage (de 40 à 95 %), des températures élevées de produit à la sortie et des débits faibles. Pour éviter ce phénomène, l'hypothèse suivante à été posée : une réduction de la taille de la chambre de décorticage donc de la distance entre le rotor et le stator doit permettre de supprimer des zones mortes, espaces potentiels d'accumulation des sons et doit permettre une meilleure évacuation de l'énergie thermique créée par la friction.

iii) Réalisation d'une maquette et validation du principe à Montpellier au CIRAD

La réduction du volume de la chambre de décorticage a été réalisée par le montage d'un nouveau rotor de diamètre plus important dans le même corps de décorticage. Le diamètre extérieur du nouveau rotor a été défini en réduisant la distance entre les nervures du rotor et le stator.



Dessin et cliché: C. MAROUZE (Cirad)

Fig. 13. Dessin et photo du prototype de décortiqueur

Un mode de fabrication du corps de décorticage a été d'abord appliqué à un prototype. Pour avoir une bonne précision géométrique, la réalisation suivante a été assurée:

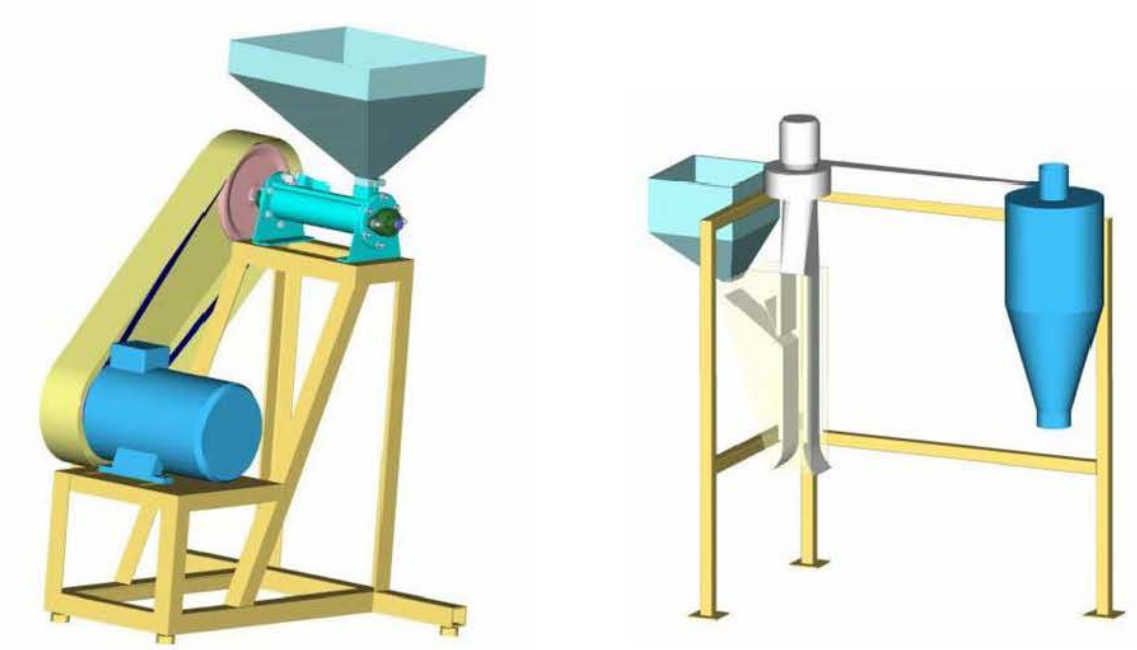
- utilisation d'un tube épais pour la partie centrale de la carcasse (stator) avec une ouverture longitudinale permettant un réglage de la lame-frein,
- montage-démontage axial du rotor avec les paliers montés sur des flasques centrés par rapport au tube dont les extrémités sont usinées.

Les essais réalisés montrent que pour avoir des résultats satisfaisants, il faut un débit important, de l'ordre de 100 kg/h car un débit faible entraîne un échauffement excessif des grains. Un usinage plus poussé en un seul passage pour réduire la quantité de grain paddy dans le produit fini conduit à une diminution des performances. Par contre, si l'usinage est effectué en deux passages (décorticage et blanchiment), les performances sont satisfaisantes ; la montée en température des grains reste faible et la puissance requise réduite. Il est possible d'obtenir un taux de décorticage supérieur à 99 % avec un rendement d'usinage pour les deux passages légèrement supérieur à 70 % donc meilleur que lors d'un usinage en un seul passage. Par ailleurs, le débit équivalent pour les deux passages est de 60 à 65 kg/h et la puissance consommée est plus faible (2 kW au lieu de 3 kW en un seul passage). Une optimisation de la combinaison des deux passages serait possible pour obtenir de meilleurs couples rendement d'usinage - taux de décorticage. Il a été décidé que cette optimisation ne serait réalisée que lors d'essais en conditions réelles avec un matériel plus évolué.

Ces résultats valident le principe et conduisent à développer un prototype de décortiqueur spécifique pour le fonio afin d'approfondir la recherche.

iv) Réalisation des plans et fabrication des pilotes

Les équipements pilotes ont été fabriqués au Mali selon les plans élaborés par le CIRAD qui a aussi apporté son appui à la fabrication. Ils sont le fruit d'une collaboration étroite entre des institutions de recherche et l'artisan constructeur.



Dessins P. THAUNAY & C. MAROUZE (Cirad)

Fig. 14. Dessins CAO du décortiqueur GMBF01 et du canal de vannage

4.3.2. Présentation et essais du décortiqueur à fonio GMBF01

Il s'agit du décortiqueur de type Engelberg fabriqué par la société IMAF à Bamako. La machine est entraînée par un moteur électrique de 5,5 kW. Pour le nettoyage des grains en sortie, le décortiqueur GMBF01 peut être accouplé à un canal de vannage qui permet de séparer les sons par aspiration.

Clichés: D. DRAME (IER)

Fig. 15. Vue d'ensemble du décortiqueur GMBF 01 et en couplage avec le canal de vannage.

Des essais de décorticage du fonio paddy et de blanchiment du fonio décortiqué (pour les transformatrices de fonio) ont été effectués en mars 2002 au LTA/IER[12]. Les résultats sont résumés ci-dessous.

Pour le décorticage du fonio paddy le fonctionnement est satisfaisant avec:

- Un débit élevé (de 90 à environ 120 kg/h),
- Un très bon taux de décorticage (taux de paddy dans les grains décortiqués compris entre 0,20 et 0,40% en un seul passage).
- Un rendement de décorticage/blanchiment élevé (61,2 à 71,6 %)
- Le grain décortiqué est bien vanné
- Un échauffement moindre du produit à la sortie (maximum de 72°C en sortie),

Pour le blanchiment du fonio décortiqué le fonctionnement est également très satisfaisant avec:

- Un débit élevé (130 - 140 kg/h),
- Un très haut niveau de blanchiment (0,04% de paddy dans le produit blanchi)
- Un rendement de blanchiment élevé proche de 90 %,
- Le grain décortiqué est bien vanné et présente un moindre échauffement à la sortie.

Le décortiqueur GMBF01 est donc utilisable aussi bien comme décortiqueur que comme blanchisseur.

Des transformatrices de Bamako ont participé aux démonstrations de blanchiment de leur fonio décortiqué à l'aide du décortiqueur GMBF01. Les appréciations et commentaires relevés à cette occasion furent les suivants :

[12] Dramé D., Cruz J.F. , Diallo T., Son G. 2002. Rapport Annuel des activités (juillet 2001 à juin 2002) n°6/02. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. CIRAD-Bamako. Mali. Septembre 2002. 26 p + annexes

- Le débit est très satisfaisant *«le décorticage est rapide en un seul passage»*. La capacité du GMBF en blanchiment est en effet 20 à 30 fois supérieure au travail d'une femme (5 kg/h).
- La qualité du produit fini est très bonne « *c'est mieux qu'en manuel* » pour le blanchiment.
- Pour le rendement de blanchiment, « *là aussi, c'est mieux qu'en manuel* ». Le rendement de blanchiment obtenu par les transformatrices est d'environ 85 % alors que l'on atteint un rendement de blanchiment proche de 90 % avec la machine.
- Au niveau des brisures, il ne semble pas qu'il y ait de différences significatives.
- Enfin, le grain blanchi est bien propre ce qui facilite grandement le lavage et permet une économie de temps et d'eau.

Autre point positif, les sons sont utilisables pour l'alimentation animale. Plusieurs femmes ont vendu les sons issus du blanchiment alors qu'il n'est pas possible de valoriser les sons issus du blanchiment manuel. En effet, ceux-ci sont soit dispersés lors du vannage, soit perdus dans les eaux de lavage.

Après les essais et les démonstrations réalisés à Bamako, le matériel a été expédié en Guinée en avril 2002 pour être testé au stade pilote. De juin 2002 à janvier 2003, la machine a fonctionné en prestation de service à Labé au Fouta Djalon dans des conditions réelles d'exploitation dans l'atelier de M. Diallo Abdoulaye. Il a été utilisé sans système de nettoyage.

Cliché: C. MAROUZE(Cirad)

Fig. 16. Essais du décortiqueur GMBF01 en Guinée

Le décortiqueur GMBF01 a fourni des résultats encourageants en milieu réel (un débit plus élevé par rapport aux premiers modèles de décortiqueurs identifiés en Guinée, 100 kg/h, un rendement d'usinage supérieur à 60%, un taux de paddy inférieur à 1% et une bonne satisfaction des utilisateurs).

Enfin, les possibilités d'amélioration identifiées lors des différents essais du décortiqueur GMBF01 ont été appliquées à la fabrication d'une pré-série de trois décortiqueurs GMBF02 (version évoluée du modèle GMBF01) qui associe un canal de vannage entraîné par le même moteur que le décortiqueur.

4.3.3. Le Décortiqueur GMBF 02

4.3.3.1. Fabrication du décortiqueur

Suite aux résultats satisfaisants obtenus lors des essais en station et en milieu réel du décortiqueur GMBF01, une série de trois décortiqueurs GMBF02 a été fabriquée par IMAF en juin 2002 à partir de plans réalisés par le Cirad en collaboration avec les partenaires. Ces nouveaux matériels ont été destinés à la réalisation de tests en milieu réel dans les trois pays : Guinée, Mali et Burkina.

Clichés: D. DRAME (IER)

Fig. 17. Fabrication chez IMAF et vue d'ensemble du décortiqueur GMBF 02.

Comme lors de la fabrication du GMBF01, le fabricant a rencontré certaines difficultés de fabrication (problème de lecture des plans, non-utilisation de gabarits,...) qui ont nécessité le désassemblage et le remontage des deux premiers GMBF02. Cela a permis au concepteur de former les ouvriers de l'entreprise tout en notant des améliorations de fabrication possibles.

4.3.3.2. Essais au stade pilote du décortiqueur GMBF02

Déroulement des essais au stade pilote

Au Mali, le décortiqueur GMBF 02 (décortiqueur associé au canal de vannage) équipé d'un moteur électrique de 5,5 kW a été mis à la disposition de PME urbaines de transformation du fonio (La Sahélienne de l'alimentation, UCODAL et chez Mme Soumaré). Les essais se sont déroulés de juin 2002 à juin 2003. L'utilisation a été faite de manière continue pendant plusieurs heures ce qui correspond à une exploitation intensive du matériel. Ces entreprises de Bamako l'ont exclusivement utilisé pour le blanchiment de fonio décortiqué. La version thermique du GMBF a été testée en milieu rural dans la région de San et du Seno (Benena, Sokoura, Bankass,...).

Au Burkina Faso, plusieurs essais en milieu contrôlé ont été réalisés en octobre 2002 sur de faibles quantités de fonio (5 kg) à des humidités de 9 % à 11 %. (Débits obtenus : de 111 kg/h à 127 kg/h). Le décortiqueur GMF02 a ensuite été installé chez une transformatrice (Mme Traoré) à Bobo Dioulasso pour être suivi au stade pilote. L'usinage est réalisé en deux passages : décorticage puis blanchiment.

En Guinée, le décortiqueur GMBF 02 a été placé chez M. Diallo, transformateur installé à Labé (Fouta Djalon) où le fonio à décortiquer est disponible sur toute l'année. La machine est utilisée en prestation de service. Les essais se sont déroulés du juin 2003 à janvier 2004. Il a également été procédé au montage d'un moteur diesel (10,3 kW) pour permettre la réalisation d'essais en milieu rural.

Résultats des essais du décortiqueur GMBF02 au stade pilote

Au Mali, à « La Sahélienne », environ 11 tonnes de fonio décortiqué (à 10,6% d'humidité et 1,53 % de paddy) ont été blanchies, en 6 semaines, à un débit moyen d'environ 147 kg/h et à un bon taux de blanchiment (taux de paddy résiduel compris entre 0,20 et 0,40 % en un seul passage). Le grain blanchi est bien vanné; ce qui a permis de supprimer le tamisage après blanchiment et a entraîné une économie de temps et d'eau de lavage. L'échauffement du produit à la sortie est moindre (température maxi de 72°C en sortie). La consommation électrique horaire a été de 4,75 kW.

A «UCODAL», environ 14 tonnes de fonio décortiqué (2,1 % de paddy) ont été blanchies à un débit moyen d'environ 136 kg/h et à un très bon taux de blanchiment (taux de paddy résiduel de 0,02 %). La consommation électrique a été de 3,77 kW.

Certaines transformatrices précisent que le fonio du Mali contient habituellement plus d'impuretés que celui provenant de Guinée ; la qualité dépendant du village de provenance. Cependant, beaucoup de ces impuretés peuvent être éliminées en utilisant un crible rotatif et il n'y a, alors, plus de différence significative.

Le coût du blanchiment se situe à 16,27 FCFA/kg réparti entre la consommation électrique (51%), l'amortissement (24%) le personnel opérateur (12%), l'entretien/réparation (10%) et l'intérêt du capital (3%).

Les entreprises ont été très satisfaites du travail réalisé par le décortiqueur GMF02. Elles considèrent que ce matériel, d'une utilisation facile, leur a permis un gain de temps et une économie d'eau de lavage par rapport au blanchisseur préalablement utilisé

Cliché: C. MAROUZE (Cirad)

Cliché: D. DRAME (IER)

Fig. 18. Essais du décortiqueur GMBF02 au niveau de PME au Mali

En Guinée, le décortiqueur GMBF02 a été utilisé en prestations de services par le transformateur qui a pu traiter près de 45 tonnes de fonio (20 tonnes en paddy, 10 tonnes de grains décortiqués manuellement et 15 tonnes de grains décortiqués par la machine).

Les performances du décortiqueur GMBF sont jugées satisfaisantes avec:
- un débit élevé de 130 kg/h en décorticage et 200 Kg/h en blanchiment.
- Une bonne qualité d'usinage (pourcentage faible de non décortiqués dans le blanchi: 0.2 à 0.4%)
- une très faible influence de la variété sur la qualité de travail de la machine
- une utilisation aisée du décortiqueur.

Le principal problème rencontré concerne l'usure de la chambre de décorticage après la transformation de 35 tonnes de produits. Quatre lames freins ont été complètement usées durant les essais au stade pilote mais les nervures du rotor n'ont pas subi une usure très prononcée. Le rotor continu de travailler correctement malgré une usure très marquée de l'intérieur de la chambre de décorticage.

Au Burkina, le décortiqueur GMBF02 installé chez Mme Traoré, transformatrice à Bobo Dioulasso, a été utilisé avec du fonio préalablement nettoyé au crible rotatif manuel (type CRM02)[13].

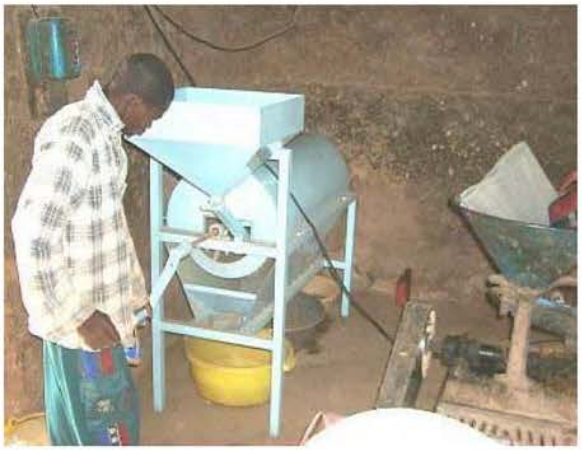
Les quantités moyennes apportées par client vont de 16 à 22 kg (environ 1 à 1,5 tines[14]) pour un nombre moyen de clients journaliers variant de 5 à 10, soit des quantités journalières traitées variant de 60 à 200 kg en période de la récolte (août à février). Les clients originaires de toute la région dans un rayon de 50 kilomètres (Nouna, Kénédougou, Léraba et Comoé)

Une quantité de 8 694 kg de fonio paddy a été transformée en 2 passages (ou plus en fonction de l'usure des pièces travaillantes) à des débits variant de 54 kg/h à 127 kg/h. Le taux de paddy résiduel dans le fonio blanchi est de 0,13 % à 0,2 % selon les réglages. Le rendement d'usinage moyen pour les deux passages est de 65 %. Sur grains nettoyés, on estime que la lame-frein doit être changée après 3 à 3,5T. La consommation électrique varie entre 2,6 et 4,2 kW.

Le décortiqueur est bien apprécié par les utilisateurs compte tenu de la pénibilité du décorticage manuel et des bonnes performances de la machine. Il semble même que d'un point de vue qualité organoleptique, le produit décortiqué à la machine soit beaucoup plus apprécié que celui décortiqué manuellement. Dans tous les cas, il paraît nécessaire de transformer du produit préalablement correctement nettoyé afin de réduire les problèmes d'usure de la machine.

Le coût de la prestation de service a varié de 20 à 23 FCFA/kg (300 à 350 FCFA par tine) pour atteindre 27,59 FCFCA le kg. Avec un coût de fonctionnement de 13,19 FCFA/kg, la marge brute atteint de 10,9 FCFA/kg à 14,4 FCFA/kg

Le décortiqueur est bien apprécié par les utilisateurs compte tenu de la pénibilité du décorticage manuel. Les expérimentateurs ont suggéré de réduire la hauteur de la trémie pour faciliter l'alimentation de la machine et de prévoir un tendeur sur courroie du ventilateur et un capot de protection des courroies



Clichés: D. DRAME (IER)

Fig. 19. Essais du décortiqueur GMBF02 accompagné du crible rotatif au Burkina

Le principal problème relevé au cours de ces essais au stade pilote, est le phénomène d'usure prononcée de la cage (tube carcasse) soit 13 à 15 tonnes pour perforer les 5 mm d'épaisseur du tube carcasse au Mali alors qu'en Guinée, il a fallu 35 tonnes pour perforer le tube carcasse.

[13] Cruz J.F. , Dramé D., Diallo T., Son G. 2004. Rapport Annuel des activités (juillet 2002 à décembre 2003) n°8/04. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. CIRAD-Montpellier. France. Janvier 2004. 38 p + annexes

[14] la tine est une unité de mesure volumétrique locale qui représente environ 15 kg

4.3.3.3. Phénomènes d'usure du décortiqueur GMBF02

Les machinistes du projet ont recommandé au fabricant IMAF de porter une attention particulière au choix de matériaux résistants à l'usure pour la fabrication de la carcasse du décortiqueur, des nervures du rotor et de la lame frein.

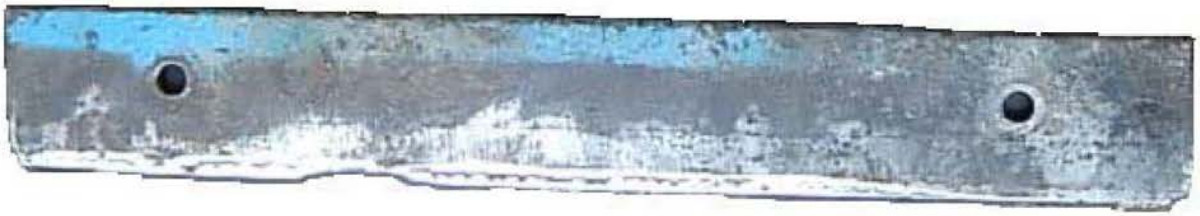
Usure de la lame-frein

L'usure de la lame frein, qui est une pièce d'usure comme sur tous les décortiqueurs de type Engelberg, a été particulièrement rapide dès les premiers essais. Pour avoir une durée de vie satisfaisante la lame doit être découpée dans une barre d'acier ressort de 50 mm de large et de 6 mm d'épaisseur ayant une dureté 400 H.B. Dans ces conditions la durée de vie est estimée à 2 à 3 T par arrête soit 10 à 12 T par lame. Il est possible de réaffûter la lame sur les deux faces opposées pour doubler sa durée de vie.

Cliché: C. MAROUZE (CIRAD)

Fig. 20. Usure normale d'une lame-frein en acier 400 H.B. sur GMBF02.

Le rechargement du bord de la lame avec un acier de rechargement est possible mais ne permet pas d'augmenter significativement la durée de vie de la lame.



Cliché: C. MAROUZE (CIRAD)

Fig. 21. Usure d'une lame-frein rechargée avec électrode de rechargement sur GMBF02

Usure de la chambre de décorticage

Le principal problème relevé au cours des essais au stade pilote, est le phénomène d'usure prononcée de l'intérieur du tube carcasse (chambre d'usinage) et du plat support de lame-frein.

Pour répondre **au problème d'usure de la cage**, qui est inévitable, trois solutions ont été envisagées. Ces différentes solutions et les résultats de leur mise en œuvre sont les suivants.

1) Première solution : Renforcement de l'intérieur du tube par rechargement de soudure sur les zones d'usure

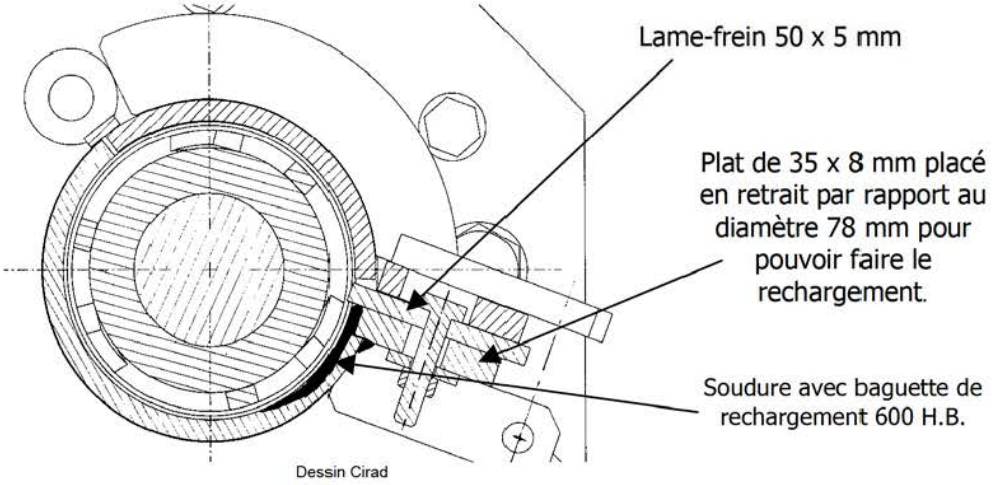


Fig. 22. Rechargement intérieur du corps de décorticage

Cette réparation par rechargement à la baguette de rechargement (acier dur) ainsi que le renforcement par une tôle externe n'ont pas donné de résultats suffisants. D'où l'idée la mise en œuvre des deux solutions suivantes.

2) Deuxième solution : Décortiqueur GMBF à dessous amovible

Le décortiqueur GMF02 a été modifié de façon à rendre le tube carcasse démontable et réversible de manière à ce qu'il constitue une pièce de rechange à part entière[15].

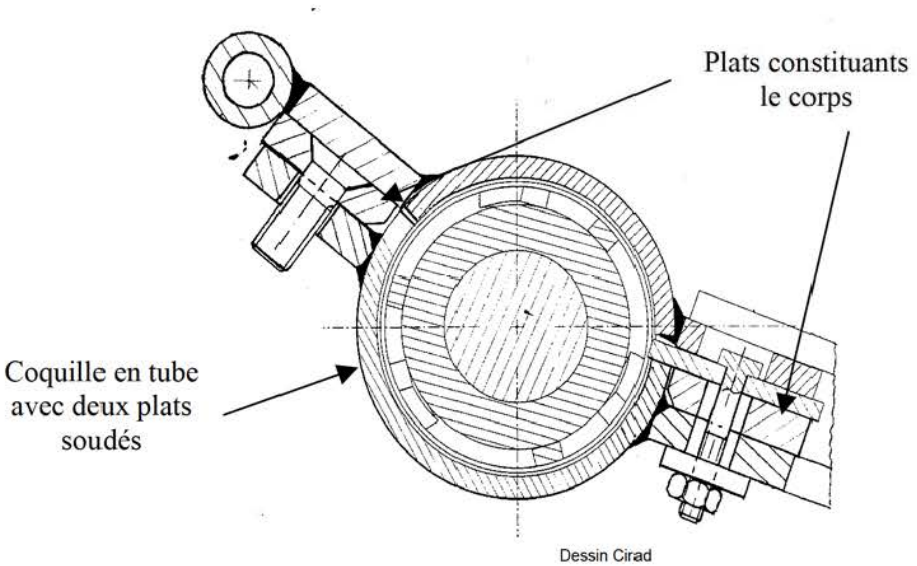


Fig. 23. Coupe du montage avec une coquille en tube avec deux plats longitudinaux soudés

La modification suivante a été réalisée : montage d'une coquille amovible en tube et soudure de deux plats selon deux génératrices diamétralement opposées. Ces plats en 40 x 10 mm sont boulonnés sur deux autres plats soudés sur les deux flasques extrêmes. L'ensemble plats + flasques constitue le corps du décortiqueur.

[15] Marouzé C. avec la participation de Dramé D. 2004. Fabrication locale, suivi des essais au stade pilote et évolution des équipements de transformation de fonio. Compte rendu de missions de C. Marouzé au Mali du 8 au 19 juin, les 4 et 5 décembre et du 12 au 20 décembre 2003 et au Burkina Faso du 1er au 8 juin 2003. Projet CFC/IGG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du FONIO. CIRAD-AMIS n° 63/04 Janvier 2004. Montpellier.

Cliché: D. DRAME (IER)

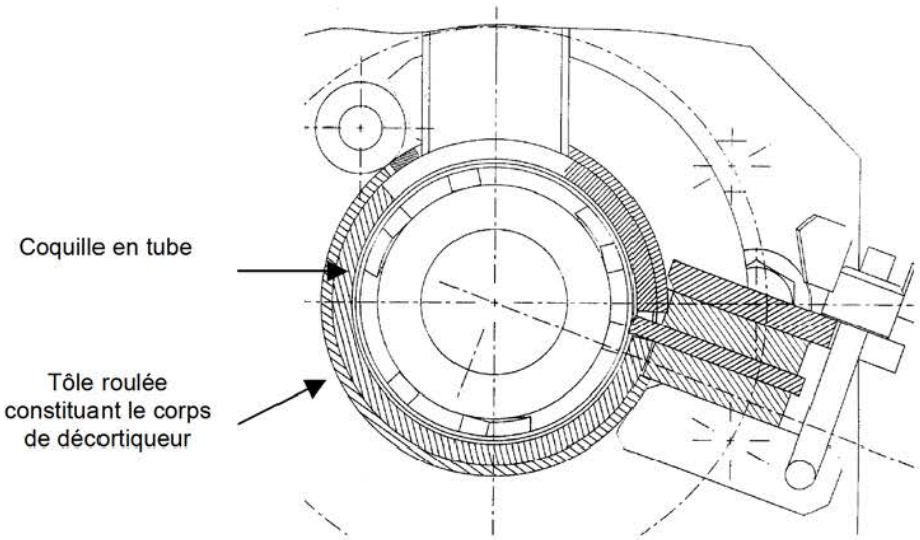
Fig. 24. Vue de la coquille avec deux plats longitudinaux soudés (dessous amovible)

Le décortiqueur « GMBF à dessous amovible » a d'abord été testé en laboratoire puis les essais au stade pilote ont été réalisés chez une transformatrice de Bamako (Mme Soumaré) en juillet 2003. Ces essais ont permis de blanchir 2 400 kg de fonio à partir d'une matière première constituée de fonio décortiqué ayant un taux de paddy résiduel de 1,5% et une humidité de 9,3%. Le matériel a ensuite été réinstallé au Laboratoire LTA où l'on continue à l'utiliser pour blanchir du fonio décortiqué apporté régulièrement par des transformatrices bamakoises.

En matière d'usure de la machine, les expérimentateurs considèrent que le remplacement du dessous amovible devrait intervenir après le blanchiment de 12 T à 14 T de fonio décortiqué. Les nervures du rotor apparaissent usées après 40 T et la lame frein doit être changée après 10 T à 12 T. Son coût de remplacement proposé par IMAF (en 2003/2004) était de 32 500 FCFA soit environ 2, 3 à 2,7 FCFA/kg de produit. Même si cette solution présente l'avantage d'un montage/démontage plus facile et serait d'une meilleure adaptabilité à la polyvalence de l'équipement, il n'est pas facile à fabriquer par n'importe quel atelier mécanique ; ce qui constitue un obstacle pour les utilisateurs éloignés du fabricant.

3) Troisième solution : montage d'une coquille interchangeable dans la chambre.

Dans ce modèle, la chambre de décorticage est constituée d'une tôle roulée de 3 mm insérant une coquille en tube de 5,5 mm d'épaisseur. La « coquille tube » devient alors une pièce de rechange au même titre que la lame-frein.



Dessin Cirad

Fig. 25. Coquille en tube insérée dans une tôle roulée constituant le corps du décortiqueur

Clichés: D. DRAME (IER)

Fig. 26. Vues de la «coquille tube» avant et après insertion dans le corps du décortiqueur

La machine ainsi équipée a fait l'objet d'essais dans les régions de Koutiala et de San (village de Bénéna et Dougouba) durant l'été 2003.

Clichés: D. DRAME (IER)

Fig. 27. Transport du décortiqueur sur pick-up du projet

Fig. 28. Le décortiqueur à fonio en milieu rural

Les résultats synthétiques des essais de démonstration réalisés en milieu rural sont les suivants :

Localisation des essais	Quantité traitée	Débit (Kg/h)	Qualité du produit obtenu	Consommation en gasoil		Température du produit (°C)	
				L/h	L/kg de grain	entrée	sortie
Benena Juin 2003	886 kg (fonio paddy)	93,2	Bon (paddy=0,3 à 1%) à très bon (paddy ≤ 0,2%)	1,55	0,0166	30 à 34 °C	59 à 80 °C
Koutiala juillet 2003	441 kg (fonio décortiqué)	118,5	Excellent (paddy < 0,1%, avec moins de brisures)	1,6	0,0135	28 à 34 °C	54 à 71 °c

Nota : Prix gasoil à 400 FCFA/l

Tableau 8: Essais du décortiqueur GMBF « coquille tube » au Mali

Les performances techniques du décortiqueur ont particulièrement satisfait les populations rurales qui ont souhaité, avec insistance, l'installation définitive d'au moins une machine dans leurs localités respectives.

Les débits d'usinage qui ont varié entre 93,2 kg/h (décorticage) et 118,5 kg/h (blanchiment) ont été jugé très convenables. La qualité d'usinage, réglée selon le souhait du propriétaire du fonio, était jugée satisfaisante le plus souvent après un seul passage dans la machine. Les personnes qui transformaient un produit destiné à la vente exigeaient le plus souvent un moindre degré de blanchiment (notamment à Benena)

Après la réalisation des démonstrations en milieu rural, la machine a été installée dans les locaux du LTA, à Bamako, et utilisée pour effectuer un travail à façon à la demande de diverses transformatrices de fonio. Avant blanchiment, la matière première (fonio décortiqué) est nettoyée au moyen du crible rotatif CRM01.

Les expérimentateurs considèrent que le remplacement de la pièce d'usure « coquille tube » devrait intervenir après la transformation d'environ 10 T de produit. Cela est certainement du au fait que l'acier utilisé pour la réalisation de cette pièce d'usure était de piètre qualité. Il est indispensable que le constructeur puisse s'approvisionner en acier de bonne qualité pour la réalisation des pièces travaillantes (coquille tube, nervures du rotor et lame frein).

4.3.4. Conclusions sur la conception du décortiqueur GMBF

Suite aux essais des différentes solutions proposées, il apparaît que la forme de chambre de décorticage la mieux adaptée est « la coquille en tube » (sans plats) telle que représentée dans la figure 25. Cette conception semble préférable car il sera plus facile aux fabricants et surtout, aux réparateurs de fabriquer des coquilles de rechange. Des plans de fabrication modifiés et actualisés ont été fournis au constructeur IMAF

Les solutions suivantes peuvent être retenues :

Carcasse
Montage d'une coquille interchangeable et réversible en tube de diamètre 89 mm, épaisseur 5,5 mm, insérée dans une tôle roulée de 3 mm comportant une découpe pour un meilleur refroidissement de la coquille
Capot
Tube à l'intérieur d'une tôle roulée de 3 mm d'épaisseur mais avec la trappe de réglage de sortie de grain posée directement sur le tube donc découpe beaucoup plus importante dans la tôle roulée.
Lame-frein
Plat de 50 x 5 mm serré par deux plats de 40 x 10 mm solidaire l'un de la carcasse et l'autre du capot.
Rotor
Diamètre du noyau 63 mm, portées au diamètre 50 mm au niveau des flasques pour permettre le serrage axial du palier côté trémie.
Nervures
Acier ressort 400 H.B. épaisseur 5 mm, bande de 8 mm, petites soudures continues à 45 ° à l'arrière, électrodes normales 2,5 mm en creux à l'avant, électrode de rechargement de 2,5 mm
Plaque des flasques (211)
En épaisseur 6 mm, et fixée par boulons M10.
Moteur thermique
Montage de silentblocs entre les deux châssis et sous le châssis principal
Châssis
Réduire la hauteur pour que le haut de la trémie soit à 1400 mm du sol (possibilité de mettre la sortie grain un peu plus bas).
Pièces de rechange
5 lames-frein et 5 coquilles tube devraient accompagner toute livraison de décortiqueur

Ces améliorations sont intégrées dans le dossier de fabrication du décortiqueur GMBF 03.

4.4. Appui à la fabrication locale des équipements

De nombreux appuis CIRAD et IER ont été apportés au constructeur IMAF de Bamako pour la réalisation des différents décortiqueurs GMBF (et du canal de vannage) conçus dans le cadre du projet. Des liasses de plans ont été fournies à IMAF intégrant et spécifiant les modifications de cotes, de développés et de plans. Un appui technique direct en atelier a également été fourni pour la réalisation des matériels. Il a été recommandé au fabricant IMAF de porter une attention particulière sur le choix de matériaux résistant à l'usure pour la fabrication de la carcasse du décortiqueur, des nervures du rotor et de la lame frein. Il a également été proposé de désolidariser le canal de vannage du décortiqueur pour qu'il soit utilisable sur d'autres céréales.

Cliché: C. MAROUZE (Cirad)

Fig. 29. Fabrication du canal de vannage et du décortiqueur GMBF chez IMAF à Bamako

Dossier de fabrication des équipements et fiches équipements

Les dossiers de fabrication des différents matériels développés dans le cadre du projet ont été finalisés lors d'une réunion des «machinistes» qui s'est tenue à Ouagadougou en juin 2004. Ces dossiers de fabrication sont en cours d'édition et seront remis directement aux constructeurs d'équipements qui en feront la demande[16].

Des fiches de présentation des équipements ont également été élaborées pour être fournies aux constructeurs intéressés afin de les aider à promouvoir leurs fabrications[17].

Commercialisation

Les premières commandes de matériels ont été faites dans le cadre du projet. Depuis, certains des transformateurs qui ont bénéficié de l'appui du projet à l'occasion des essais en milieu réel, ont commandé des équipements aux constructeurs. Enfin la société IMAF a récemment été contactée par des transformateurs du Sénégal ou du Bénin pour l'achat de décortiqueurs. Le projet a acheté et mis à la disposition de IMAF, un décortiqueur équipé d'un canal de vannage pour être utilisé comme matériel de démonstration au niveau de la société même ou à l'occasion de foires agricoles.

---

[16] Marouzé C. Thaunay P., Dramé D., Loua F., Son G., Diop A. (2005). Dossier de fabrication Décortiqueur GMBF à Fonio. Projet Fonio CFC/ICG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Harmattan. Paris (à paraître).

[17] Cruz J.F. 2004. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Rapport final. Novembre 2004. Cirad-Montpellier. France. 31 p + annexes

4.5. Evaluation du coût de décorticage avec le décortiqueur GMBF

L'évaluation économique a été réalisée à l'aide des fiches de calcul de coût élaborées lors de la réunion des machinistes de Bamako en mars 2002[18].

Les tableaux suivants présentent les résultats pour les opérations de nettoyage blanchiment à Bamako d'une part (tableau 9) et pour les opérations de nettoyage et de décorticage en zone rurale d'autre part (tableau 10). Ils montrent que l'opération mécanisée est moins coûteuse que l'opération manuelle. L'introduction de la mécanisation du décorticage et du blanchiment du fonio avec le décortiqueur GMBF permet donc de réduire la pénibilité du travail des femmes, d'augmenter les quantités de fonio pouvant être mises sur les marchés mais aussi de réduire les coûts de transformation.

Tableau 9 : Evaluation économique pour les opérations de nettoyage-blanchiment à Bamako

	Opération	Invests.	Tonnage	Débit	Coût
Transformation à Bamako		000 FCFA	T/an	Kg/h	FCFA/kg
Crible rotatif long manuel CRLM	Nettoyage	450	50	300	2,1
Décortiqueur GMBF + canal de vannage	Blanchiment	1 000	50	140	13,6
Coût nettoyage au crible + blanchiment		1 450	50		16
Rappel des coûts (opérations manuelles)					20 à 25
Réduction de coût par apport de la mécanisation					**4 à 9 FCFA/kg**

Tableau 10: Evaluation économique pour les opérations de nettoyage-décorticage en zone rurale.

	Opération	Invests.	Tonnage	Débit	Coût
Transformation en zone rurale		000 FCFA	T/an	Kg/h	FCFA/kg
Crible rotatif manuel court CRMC	Nettoyage	400	43	150	2,6
Décortiqueur GMBF diesel + canal de vannage	Décorticage	1 500	43	100	20,5
Coût nettoyage au crible + décorticage		1 900	43		23
Coût nettoyage au crible + décorticage		1 900	*60*		*20,4*
Rappel des coûts (opérations manuelles)					30 à 35
Réduction de coût par apport de la mécanisation					**7 à 15 FCFA/kg**

[18] Marouzé C., Dramé D. 2002. Projet Fonio CFC/ICG(FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT, Activités 14, 23 et 24. Atelier de Conception d'équipements de Bamako du 4 au 8 mars 2002. Formation aux protocoles d'essai au stade pilote des matériels de transformation de fonio et intégration de la fabrication locale dans la démarche de conception. CIRAD-AMIS, n° 32/02, Mars 2002. Montpellier.

5. Conclusions

Les travaux réalisés dans le cadre du projet CFC « Amélioration des technologies post-récolte du fonio » ont conduit à des résultats concrets notamment par la mise au point d'un décortiqueur-blanchisseur adapté au fonio. Ce résultat est important car il permet de résoudre un des principaux goulets d'étranglement de la filière fonio que représente le décorticage. Ce résultat a été obtenu grâce à l'étroite collaboration des chercheurs et des partenaires privés et notamment les transformatrices et les constructeurs d'équipements. Ce décortiqueur à fonio GMBF (Guinée, Mali, Burkina, France) a été validé par les utilisateurs ruraux et urbains qui l'ont bien apprécié, en termes de débit, de qualité d'usinage et de facilité d'utilisation. Ces derniers affirment qu'avec un tel équipement, l'augmentation des surfaces cultivées et par conséquent le développement de la production et de la consommation en fonio, va devenir une réalité. Toutefois, la non-diffusion de cet équipement dans les meilleurs délais engendrerait une crise de confiance avec les utilisateurs.

Pour valoriser les acquis du Projet, le dossier de plans de fabrication du décortiqueur à Fonio GMBF est diffusé de telle manière que les équipementiers, que ce soit des artisans ou de petites entreprises industrielles, puissent fabriquer l'équipement en assurant toutes les fonctionnalités de l'équipement. Les travaux réalisés ont montré la nécessité de veiller à la bonne qualité de fabrication de la machine à travers notamment un bon choix des matériaux et un suivi rigoureux des opérations de fabrication.

Il importe maintenant de mettre en place un programme adéquat de transfert effectif des résultats aux bénéficiaires (équipementiers, producteurs, transformateurs, etc.). Car les deux années de diffusion des résultats initialement prévues dans le Projet, ont été absorbées par les activités de recherche compte tenu de la complexité des problèmes techniques abordés et résolus, d'où la nécessité de valider davantage les nouveaux équipements mis au point dans les principales zones de production et de transférer l'ensemble des technologies développées aux acteurs de la filière (producteurs, transformateurs, équipementiers, ...). Ceci devrait permettre une meilleure appropriation des technologies développées et la valorisation des résultats de recherche aux plans technologique et socio-économique. L'impact pourrait être hautement positif sur la promotion, la sauvegarde et la valorisation du fonio dans la sous région Ouest africaine et au niveau international.

Références

Cruz J.F., Dramé D., Marouzé C., Son G. 1999. Méthodes de conception d'équipements et protocoles d'essais. Compte-rendu de l'atelier de Ouagadougou de novembre 1999. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Cirad. 12 p. + annexes

Marouzé C. 2000. Projet Fonio CFC/ICG-(FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Etude des équipements existant susceptibles d'être appliqués à la transformation du Fonio, Activité n° 6, Inventaire des principes de décorticage-blanchiment, de séparation et de battage. Montpellier, CIRAD-AMIS n° 58/2000. 31 p.

Cruz J.F., Dramé D., Thaunay P. 2000. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Essais des équipements de transformation au Mali. Rapport intermédiaire n°1-7/00. IER, CIRAD Bamako. Mali. 14 p + annexes

Cruz J.F. 2001. Le fonio. CIRAD. Département de Cultures Annuelles. Montpellier. France. 23 p.

Cruz J.F., Dramé D., Diallo T.A., Son G. 2001. Rapport Annuel des activités (juillet 2000 à juillet 2001) n°4/01. Projet CFC/IGG - (FIGG/02): Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. CIRAD. Bamako. Mali. Septembre 2001. 34 p + annexes

Loua F., Kouyaté S., Sakho S. Diallo T.A. 2001. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Rapport d'étape Activité n° 14 : Essai des matériels au stade pilote - Décortiqueur CCIEC petit modèle et Batteuse ASSI. IRAG. Bareng. Guinée. 19 p.

Marouzé C., Thaunay P., Seige C., Pons B. 2001. Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT, Activités 13 Amélioration et Conception d'équipements. Etude et mise au point d'un décortiqueur Engelberg pour le fonio et étude de la séparation dimensionnelle CIRAD-AMIS, n° 80/01, Novembre 2001. Montpellier. 17 p. + annexes

Marouzé C., Dramé D. 2002. Projet Fonio CFC/ICG (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT, Activités 14, 23 et 24. Atelier de Conception d'équipements de Bamako du 4 au 8 mars 2002. Formation aux protocoles d'essai au stade pilote des matériels de transformation de fonio et intégration de la fabrication locale dans la démarche de conception. CIRAD-AMIS, n°32/02. Montpellier. 11 p.

Dramé D., Cruz J.F, Diallo T.A., Son G., 2002. Rapport Annuel des activités (juillet 2001 à juin 2002) n°6/02 Projet CFC/IGG - (FIGG/02): Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. CIRAD-Bamako. Mali. Septembre 2002. 29 p + annexes

Son G. Zangré S. Konaté A. Hien T. 2003. Projet CFC/IGG : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. Rapport des essais pilote du décortiqueur GMBF02. IRSAT. Burkina Faso. 11 p.

Dramé D., Marouzé C., Sakho S., Kouyaté S., Loua F., Zangré S., Cruz J.F. 2003. Projet CFC/IGG : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. Réunion technique « Equipements de transformation du fonio». Juillet 2003. 19 p + annexes

Cruz J.F., Dramé D., Diallo T., Fliedel G., Son G., Marouzé C. 2004. Projet CFC/IGG : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. Compte-rendu de la Réunion de Coordination n°5 à Bamako. (Mali). CIRAD, IER, IRAG, IRSAT. Mars 2004. Montpellier. 19 p + annexes

Marouzé C., Dramé D. 2004. Fabrication locale, suivi des essais au stade pilote et évolution des équipements de transformation de fonio. Compte rendu de missions au Mali du 8 au 19 juin, les 4 et 5 décembre et du 12 au 20 décembre 2003 et au Burkina Faso du 1er au 8 juin 2003. Projet CFC/IGG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du FONIO. CIRAD-AMIS n° 63/04 Janvier 2004. Montpellier.

Cruz J.F., Dramé D., Diallo T., Son G. 2004. Rapport Annuel des activités (juillet 2002 à décembre 2003) n°8/04. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. CIRAD-Montpellier. France. Janvier 2004. 38 p + annexes

Cruz J.F. 2004. Projet CFC/IGG – (FIGG/02) Amélioration des technologies post-récolte du fonio. CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Rapport final. Novembre 2004. Cirad-Montpellier. France. 31 p + annexes

Marouzé C. Thaunay P., Dramé D., Loua F., Son G., Diop A. 2005. Dossier de fabrication Décortiqueur GMBF à Fonio. Projet Fonio CFC/ICG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Harmattan. Paris (à paraître).