Projet CFC/IGG - (FIGG/02)

Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio

CIRAD-IER-IRAG-IRSAT

Equipements de nettoyage du fonio

Rapport de synthèse

Gouyahali SON (Irsat – Burkina)
Claude MAROUZE (Cirad - France)
Djibril DRAME (IER – Mali)
Souleymane SAKHO (IRAG – Guinée)

Juin 2004

SOMMAIRE

	Pages
Préambule	**1**
1- Introduction	**2**
2- Identification et choix des équipements de nettoyage susceptibles de convenir pour le fonio	**3**
2.1. Vanneuse « Moussa »	**3**
2.2. Crible rotatif pentagonal	**4**
2.3. Nettoyeurs ACT et chinois type 60	**4**
2.4. Tarare Alvan Blanch	**5**
3- Etude bibliographique et recherche de principes de fonctionnement	**5**
3.1. Nettoyage de fonio par séparation dimensionnelle	**5**
3.2. Vannage du fonio	**6**
4- Conception, améliorations et tests de ces équipements	**7**
4.1. Canal de vannage	**7**
4.2. Vanneuse «Moussa» motorisée	**8**
4.3. Crible rotatif	**8**
4.4. Crible court	**9**
4.5. Crible mixte	**11**
5- Validation des équipements et essais au stade pilote	**13**
5.1. Canal de vannage	**13**
5.2. Tarare Alvan Blanch	**14**
5.3. Crible rotatif long	**14**
5.4. Crible rotatif court	**15**
5.5. Différentes versions de cribles	**16**
5.6. Evaluation du coût de nettoyage avec un crible long	**17**
6- Conclusion et perspectives	**18**
Références	**19**

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
- TANGARA Kola

BCN
- Baba Coulibaly « Néké » artisan de Bamako

CMDT
- TRAORE Moussa

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

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

DNA
- KOUYATE Souraghata
- LOUA Josué Francis

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

SGGI : Société de Gérance et de Génie Industriel
- BARY P.: Directeur

Minotier prestataire
- Mme TRAORE

Cirad – Burkina
- RIVIER Michel

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

CIRAD/CA
- CRUZ Jean-François : Coordonnateur Général

1- Introduction

Le nettoyage est une opération indispensable pour tous les grains, il est particulièrement difficile pour le fonio car le grain est de très petite taille. De plus, les sons gras adhèrent aux grains blanchis. Les impuretés à éliminer sont de nature très diverse : grains immatures, résidus de pailles, cailloux, sables, balles broyées, sons, etc. Ces impuretés réduisent l'efficacité des opérations de transformation par les effets suivants:

- Difficulté de transfert des grains dans les machines;
- Contribution à l'usure prématurée des organes de décorticage par les sables et cailloux;
- Présence importante de sables dans le produit fini.

Afin de réduire ces effets, il a été décidé de rechercher et de mettre au point des équipements de nettoyage pour toutes les étapes de la transformation que ce soit pour le fonio battu contenant beaucoup de pailles et menues pailles, le fonio paddy avant décorticage, le fonio décortiqué soit, en sortie de décortiqueur, soit, avant blanchiment et le fonio blanchi. La démarche de travail adoptée par l'équipe en charge du développement des équipements du CIRAD, de l'IRSAT, de l'IRAG et de l'IER a été constituée des étapes suivantes :

- Une recherche documentaire réalisée par le CIRAD en vue d'identifier les principes de fonctionnement susceptibles de s'appliquer au nettoyage du fonio[1];
- L'identification par les institutions partenaires (IER, IRAG, IRSAT, CIRAD) d'équipements existants et susceptibles de nettoyer le fonio;
- Les essais des équipements identifiés et retenus;
- Une phase de recherche de principe et leur validation par des tests sur maquettes ;
- Les technologies jugées pertinentes ont été améliorées et testées en milieu contrôlé;
- Les meilleurs équipements ont été retenus pour les essais au stade pilote.

Cette démarche conduit à la mise au point des plusieurs équipements pouvant nettoyer le fonio paddy, décortiqué ou blanchi voire d'autres céréales décortiquées ou non comme le maïs, le mil et le sorgho. Cette polyvalence des équipements développés correspond aux attentes des petites entreprises dont les activités de transformation ne sont pas spécialisées. Le présent rapport fait la synthèse de l'évolution du travail et des résultats obtenus.

---

[1] 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.

2) Identification et choix des équipements de nettoyage susceptibles de convenir pour le fonio

L'étude d'inventaire a permis de retenir les équipements indiqués dans le tableau 1 pour les tests de faisabilité. Les résultats de ces tests en milieu contrôle sont présentés ci- après:

Tableau 1. Equipements existants identifiés dans les pays pour les tests de faisabilité de nettoyage du fonio

Pays / Equipement	Guinée	Mali
Vanneuse manuelle «Moussa»		X
Crible rotatif pentagonal		X
Nettoyeur ACT	X	
Nettoyeur chinois type 60	X	
Tarare Alvan Blanch	X	

2.1. Vanneuse « Moussa »

Du nom de son constructeur, la vanneuse « Moussa » est un petit matériel à entraînement manuel fonctionnant en continu. De construction simple, elle comprend un ventilateur créant un flux d'air qui croise la chute de grain provenant de la trémie. Un ensemble de tôles assure le guidage de l'air.

Les débits sont faibles, des lots de 5 kg sont vannés en 5 à 6 minutes soit un débit instantané variant de 50 à 60 kg/h. Il a été décidé de motoriser la vanneuse pour obtenir des performances plus favorables.

Cliché: J.F. CRUZ (Cirad)

Cliché : D. DRAME (IER)

Fig.1. La vanneuse « Moussa » (versions manuelle et motorisée).

2.2. Crible rotatif pentagonal

Le crible rotatif est un équipement manuel dont la cage de nettoyage est un trommel légèrement incliné de forme pentagonale constitué du côté alimentation d'une première grille de 1 mm de maille et d'une seconde grille de maille de 2 mm. Les débits obtenus en nettoyage du fonio paddy varient entre 580 et 930 kg/h. Les débits avec le fonio décortiqué évoluent entre 450 et 790 kg/h. La simplicité de conception et de réalisation, les débits élevés de nettoyage ont justifié de retenir le principe du crible pour le développement d'un équipement.

Cliché: J.F. CRUZ (Cirad)

Fig. 2: Crible rotatif pentagonal

2.3. Nettoyeurs ACT et chinois type 60

Les nettoyeurs ACT et chinois type 60 sont des vanneuses manuelles simples où les grains tombant de la trémie d'alimentation sont nettoyés par le flux d'air croisant leur trajectoire de chute. Le flux d'air est produit par un ventilateur à pales.

Les débits de nettoyage sont de 54 à 170 kg/h (type 60) et 70 à 130 kg/h (ACT). La qualité de nettoyage est peu satisfaisante: 3 à 4,7 % d'impuretés dans le grain nettoyé pour le type 60 et 7,4 à 13 % pour l'ACT. Les pertes en grains emportés avec les menues pailles par le flux d'air sont excessives. Ces équipements n'ont pas été retenus pour la phase suivante.

Fig. 3: Nettoyeur chinois type 60

2.4. Tarare Alvan Blanch

Le tarare Alvan Blanch est un équipement manuel comprenant un ventilateur, une trémie et un caisson de nettoyage à mouvements alternés avec deux grilles disposées horizontalement, une supérieure en tôle perforée de trous de diamètre 10 mm et une inférieure avec des trous de diamètre 5 mm. Une troisième grille (maille de 1 mm x 1mm) en plan incliné élimine les particules plus petites que les grains. Les produits sont dirigés vers des orifices de collecte des produits, après leur nettoyage. Les grains tombent de la trémie sur les grilles horizontales qui sont ventilées par un flux d'air horizontal produit par le ventilateur. Le déplacement du produit sur la table est favorisé par le mouvement alternatif plan des grilles qui provoque en même temps la séparation, les pailles sont entraînées alors que les grains passent au travers des deux premières grilles.

Clichés: J.F. CRUZ (Cirad)

Fig. 4. Tarare Alvan Blanch

Lors des essais en milieu contrôlé, le débit atteint 225 kg/h pour une vitesse moyenne de rotation de la manivelle de 78 tr/min. Cependant le taux d'impuretés reste élevé, ce qui nécessite une phase d'amélioration de l'équipement.

3- Etude bibliographique et recherche de principes de fonctionnement

3.1. Nettoyage de fonio par séparation dimensionnelle

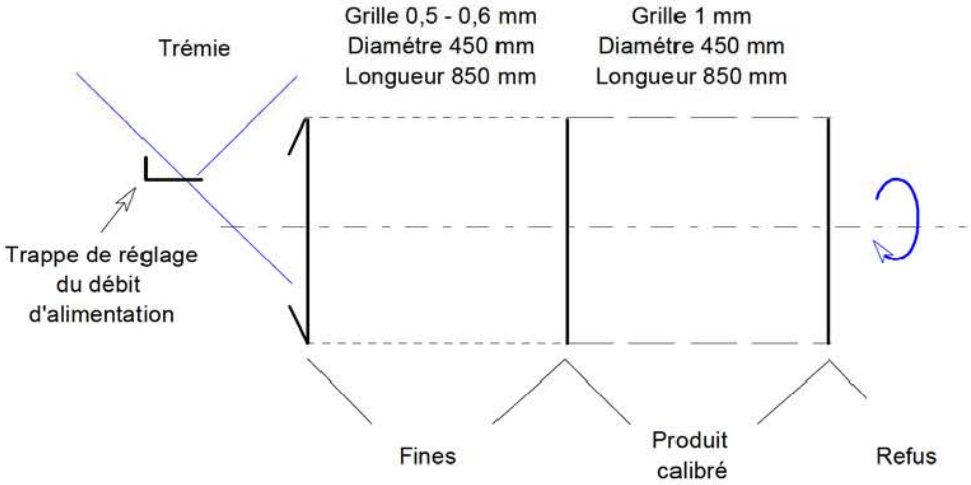

Fig. 5. Principe du crible rotatif (dessin Cirad)

L'étude bibliographique et la recherche de principe met en évidence l'intérêt du principe de crible rotatif pour assurer le nettoyage des grains. Ce principe a l'avantage d'une facilité de mise en œuvre, de fabrication et de maintenance d'un trommel entraîné en rotation à faible vitesse. Conçu pour éliminer les impuretés plus grosses ou plus petites que les grains à calibrer, le crible rotatif comporte un châssis, une trémie d'alimentation, un trommel assurant la séparation, un capot protégeant des poussières et des projections et un ensemble de tôles assurant le guidage des produits vers les bacs de récupération.

Un trommel à axe horizontal légèrement incliné et entraîné en rotation comporte deux grilles successives : une première grille qui retient les grains et laisse passer les impuretés fines, une deuxième grille qui laisse passer les grains et retient les corps étrangers d'une taille supérieure aux grains. Le trommel est alimenté en produit à nettoyer par une trémie équipée d'une trappe de réglage de débit. Après avoir traversé les grilles, les impuretés et les grains sont dirigés vers des bacs posés au sol sous la machine. Le trommel est incliné par rapport à l'horizontale pour assurer l'avancement longitudinal des produits. Les deux grilles sont d'une longueur identique pour assurer une bonne élimination des fines par la première grille.

3.2. Vannage du fonio

Après décorticage ou blanchiment, les graines de fonio sont mélangées aux balles et sons finement pulvérisés. Le fonio étant une graine extrêmement petite, la séparation grain / impuretés est d'autant plus difficile que la présence de lipides issus du germe provoque l'adhérence des sons sur les graines. La séparation ne peut être réalisée avec les dispositifs de simple vannage souvent montés en sortie de décortiqueurs. Pour mécaniser complètement la chaîne de la première transformation du fonio, la conception d'un dispositif de vannage adapté à la spécificité de celui-ci était donc indispensable[2].

Dans un canal vertical de section rectangulaire et soumis à un flux d'air ascendant, le mélange graines-sons est introduit à mi-hauteur. Pour une vitesse d'air adéquate, les produits légers sont entraînés vers le haut par le flux d'air alors que, malgré la force d'entraînement de l'air, les graines plus lourdes tombent dans un bac placé sous la maquette.

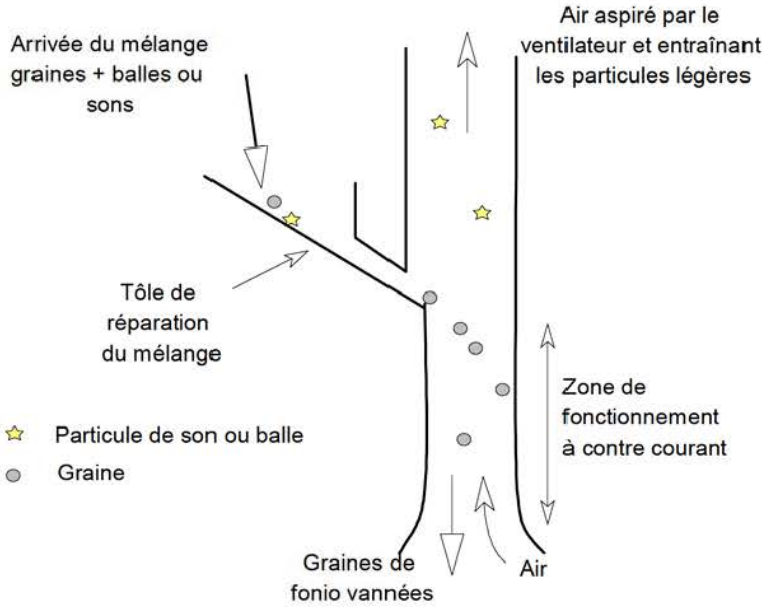

Fig. 6. Principe du canal de vannage avec flux air-grains à contre courant.

[2] Marouzé C., Seige C. 2001. Etude, mise au point et développement d'un canal de vannage pour le fonio. Projet Fonio CFC/ICG(FIGG/02). Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT, CIRAD-AMIS, n° 78/01, Septembre 2001. Montpellier.

4- Conception, améliorations et tests de ces équipements

A l'issue des essais préalables et de la phase de recherche de principes, les équipements suivants ont été retenus pour amélioration ou reconception:

* Canal de vannage;

* Vanneuse «Moussa» motorisée;

* Crible rotatif;

* Tarare Alvan Blanch.

Les principaux résultats sont présentés ci-dessous :

4.1. Canal de vannage

Les travaux menés par le Cirad et les tests de différents principes de fonctionnement démontrent l'intérêt d'un dispositif de vannage dans un canal vertical pour la séparation des sons et des balles, c'est-à-dire le nettoyage du fonio sortant d'un décortiqueur. Ce principe a été retenu pour être couplé au décortiqueur à fonio GMBF. Le principe est présenté ci-dessus.

Le premier modèle fabriqué par la société IMAF équipementier à Bamako au Mali est un équipement indépendant qui est couplé au décortiqueur de fonio. Utilisé seul, il est équipé d'une trémie amovible. Le canal comporte une trémie, un canal de vannage, un ventilateur et un cyclone, le tout étant monté sur un châssis. Le débit d'air est réglable.

Dans les conditions difficiles (présence de sons gras), le débit peut atteindre 150 kg/h pour le nettoyage du fonio décortiqué et les grains sont propres à la sortie. Il n'y a quasiment pas de pertes en grains avec le son. Sur fonio blanchi, les débits varient de 100 à 200 kg /h. Les transformatrices qualifient le produit obtenu de produit propre. Cet équipement permet le nettoyage du fonio paddy et d'autres céréales telles que les mils, maïs et sorghos. Un débit de 450 kg/h a été obtenu pour le nettoyage du mil décortiqué sur Engelberg ou le maïs.

Cliché: C. MAROUZE (Cirad)

Fig. 7. Premier modèle de canal de vannage (modèle indépendant).

4.2. Vanneuse «Moussa» motorisée

La vanneuse améliorée et motorisée avait un débit d'air excessif pour le fonio. Seul, l'essai à entraînement manuel a été effectué. Les essais ont donné un débit moyen 39 kg/h et quelques essais avec des débits instantanés de 50 à 60 kg/h. Les pertes dues au flux d'air sont évaluées entre 2 et 5,2 % du poids initial et les pertes sous machine à 0,4 %.

La vanneuse ainsi équipée a été mise en essai pilote chez UCODAL, transformatrice à Bamako qui ne l'a utilisée finalement que pour les mil et maïs décortiqués. Pour ces céréales, des débits élevés (200 à 250 kg/heure) et une bonne qualité de vannage ont été obtenus. L'utilisatrice était satisfaite du travail de vannage du mil et maïs. On note la fragilité du matériel (tôles fines, pales de ventilation fragiles, etc.) et des réglages peu commodes.

Cliché: C. MAROUZE (Cirad)

Fig. 8. Vanneuse «Moussa» motorisée lors des essais en milieu contrôlé.

4.3. Crible rotatif

L'équipement a été fabriqué par l'atelier BCN (Baba Coulibaly dit Nékè), selon les plans élaborés par le CIRAD après une discussion des modes de réalisation avec BCN et l'IER. La conception résulte des résultats des essais du crible pentagonal de l'IER et des études des principes de séparation présentées ci-dessus.

Conçu pour éliminer les impuretés plus grosses ou plus petites que les grains à calibrer, le crible rotatif comporte un châssis, une trémie d'alimentation, un trommel assurant la séparation, un capot protégeant des poussières et des projections et un ensemble de tôles assurant le guidage des produits vers les bacs de récupération.

Un trommel à axe horizontal légèrement incliné et entraîné manuellement ou par un moteur électrique comporte deux grilles successives : une première grille qui retient les grains et laisse passer les impuretés fines, une deuxième grille qui laisse passer les grains et retient les corps étrangers d'une taille supérieure aux grains. Le trommel est alimenté en produit à nettoyer par une trémie équipée d'une trappe de réglage de débit. Après avoir traversé les grilles, les impuretés et les grains sont dirigés vers des bacs posés au sol sous la machine. Le trommel est incliné de 2° par rapport à l'horizontale pour assurer l'avancement longitudinal des produits.

Cliché: C. MAROUZE (Cirad)

Cliché: D.DRAME (IER)

Fig. 9. Premier crible rotatif long à entraînement manuel

Les premiers essais crible rotatif long ont donné les résultats satisfaisants :

- le débit optimal varie entre 150 et 300 kg/h selon le produit;
- l'effort d'entraînement est acceptable si le débit n'est pas excessif ;
- les impuretés dans le grain propre varient entre 1,6 et 0,8 % de la masse de grains;

Néanmoins des fuites existent au niveau du capot, la trappe de réglage du débit est difficile à manipuler et une quantité de grains de fonio importante se retrouve avec les impuretés sous la première grille car la maille est de 0,65 mm. Ces observations ont conduit au remplacement de la première grille par une grille de maille de 0,5 mm et l'amélioration de la fabrication

4.4. Crible court

A partir de la version longue, expérimentée au Mali, une version courte a été proposée en raison du faible espace de travail des ateliers de transformation de fonio. Le crible court a été fabriqué et testé au Burkina Faso. Il est plus court de 620 mm par rapport à la version longue ce qui permet aussi une économie sur la matière première et un moindre coût des treillis. A partir de ce modèle, le mode de fixation des grilles par cornières a été retenu. L'entraînement du trommel est manuel.

Cliché: M. RIVIER (Cirad)

Fig. 10. Crible rotatif court fabriqué par SGGI

L'influence des deux principaux réglages a été étudiée : le débit par l'ouverture de la trappe d'alimentation et l'inclinaison de l'axe du trommel donc de la vitesse d'avancement des produits à l'intérieur des grilles.

Tableau 2. Influence de l'ouverture de la trappe d'alimentation

Ouverture de la trappe (mm)	Masse de l'échantillon (kg)	Débit moyen (kg/h)	Masse de fines sous la 1ère grille (%)	Masse de refus (%)
5	7	18	5,8%	4,4%
7,5	7	62	6,1%	4,5%
10	7	147	4,2%	6,4%

Les essais ont été réalisés avec un angle d'inclinaison de 1° et une vitesse de rotation comprise entre 35 et 55 tr/min. Pour une ouverture de la trappe de 5 mm, une obstruction de l'orifice d'alimentation par les impuretés du fonio à nettoyer (menues pailles, pierres et autres impuretés) est constatée. Par ailleurs, une ouverture de la trappe de 15 mm engendre un débit trop élevé et rend la l'entraînement manuel pénible.

Une ouverture de l'ordre 10 mm est satisfaisante avec un débit de l'ordre de 150 kg/h, 4,2 % de fines (particules fines séparées + quelques grains fins) et 6,4 % de refus. On notera que refus (avec une forte proportion de grains) n'ont pas été séparés pour connaître le poids réel des grains et celui des grosses impuretés.

Tableau 3. Influence de l'inclinaison du trommel

Angle d'inclinaison (°)	Ouverture de la trappe d'alimen-tation (mm)	Débit moyen (kg/h)	Masse de fines sous la 1ère grille (%)	Masse de refus (%)
0,5	10	88	12,0%	3,4%
1	10	139	3,7%	5,0%
1,5	10	139	8,3%	5,3%
2	10	193	7,2%	8,6%

L'angle d'inclinaison du trommel a été testé pour une ouverture de la trappe d'alimentation de 10 mm. Plus l'angle d'inclinaison est important, moins, il y a de produit sous la première grille et plus la masse de refus augmente, elle est de 8,6 % pour un angle de 2°. Le débit augmente avec l'inclinaison. L'effort d'entraînement est acceptable.

Les produits collectés sous la première grille sont essentiellement composés de sables, de débris organiques fins ; les produits les plus fins tombant côté arrivée de grain dans le trommel.

Plus l'angle est important, plus le grain s'évacue rapidement du trommel après l'arrêt de l'alimentation en grain de la trémie ; avec l'angle le plus faible la masse de grains résiduelle est difficile à évacuer.

Les inclinaisons du trommel par rapport à l'horizontale de 1 et 1,5 ° donnent les meilleurs résultats avec un débit de 139 kg/h et une masse globale de refus de 5 %.

4.5. Crible mixte

Au regard des résultats obtenus avec le crible court présentés ci-dessus et pour réduire la quantité de grains dans les refus, l'IRSAT a développé un modèle de crible mixte en allongeant le trommel de 50 cm par une augmentation de la longueur de la 2ème grille. Ce crible est proposé en version thermique, tout en maintenant la possibilité de l'utiliser manuellement pour les petites quantités de fonio ou en cas de pannes de moteur.

Les caractéristiques du moteur diesel utilisé sont:

- vitesse de rotation à l'arbre moteur, 2600 tr/min avec une réduction de la vitesse de l'arbre moteur par des poulies en jantes de cycles d'un rapport de 1/28;
- puissance maxi arbre moteur, 1,7 kW;
- poids, 25 kg.

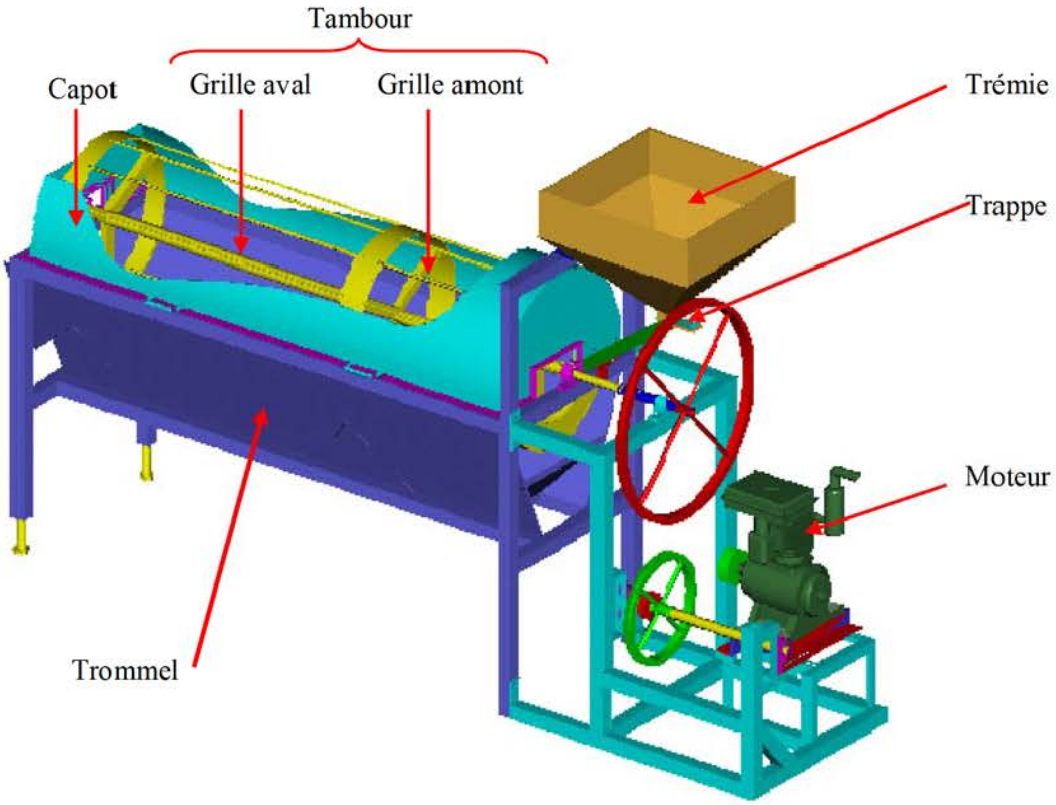

Fig. 11. Crible rotatif mixte (dessin CAO IRSAT)

Cet équipement comprend un trommel d'inclinaison réglable, comportant un capot supérieur, des tôles inférieures avec des orifices de collecte évitant la dispersion des produits traités à la sortie machine. Une trémie fixée au châssis permet l'alimentation du trommel avec un réglage de débit par la trappe d'alimentation. Le moteur est monté sur un châssis autonome boulonné au châssis principal, tout en permettant le réglage de l'inclinaison du trommel.

a) Version manuelle

Cette version a été testée en faisant varier l'inclinaison du trommel (1° - 1,5° - 2°) et la vitesse de rotation du rotor (35-50 tr/min). Il résulte des essais, les observations suivantes:

Avec une ouverture de la trappe de 10 mm, on observe:

- des obstructions de la goulotte de la trémie par des feuilles;
- des pertes au sol de 0,1%;
- peu de dépôt à l'intérieur des grilles.

Avec une ouverture de la trappe de 20 mm, on observe :

- pas d'obstruction de la goulotte;
- des pertes au sol sont de 0,2%;
- peu de dépôt sur les grilles.

Les performances obtenues avec la version manuelle sont résumées par la figure suivante.

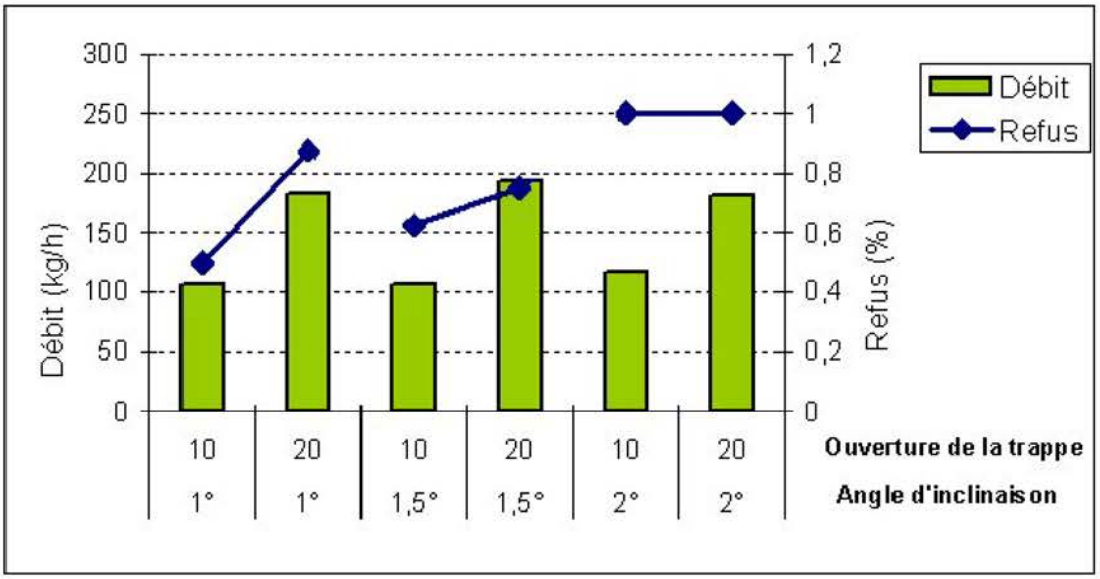

Fig.12. Résultats obtenus avec la version manuelle du crible court

* Pour une inclinaison de un degré (1°) du trommel, le débit évolue de 105 kg/h à 182 kg/h et les refus croissent de 0,5 à 0,87% quand l'ouverture de la trappe passe de 10 à 20 mm ; un débit plus élevé entraîne un taux de refus plus important.

* Pour une inclinaison de 1,5° du trommel, les débits évoluent de 105 kg/h pour une ouverture de la trappe 10 mm, à 193 kg/h pour une ouverture 20 mm de la trappe. Les refus sont respectivement de 0,63 % et 0,75 %.

* A 2° d'inclinaison, le taux de refus atteint 1%.

Les refus augmentent légèrement avec l'angle d'inclinaison du trommel alors que le débit dépend de l'ouverture de la trappe de réglage de la trémie.

En manuel, la vitesse de rotation optimum pour le fonctionnement est comprise entre 40 et 45 tr/min avec une ouverture de 20 mm de la trappe et un angle d'inclinaison du crible de 1,5°.

b) Version motorisée

Avec une ouverture 20 mm de la trappe, les débits sont respectivement de 146 kg/h, 187 kg/h et 263 kg/h pour les angles d'inclinaison de 1°, 1,5° et 2°. Les refus sont d'environ 0,90% et varient peu en fonction du réglage.

5- Validation des équipements et essais au stade pilote

5.1. Canal de vannage

5.1.1. Premier modèle de canal de vannage

Le premier modèle de canal de vannage indépendant présenté ci-dessus a été expérimenté au stade pilote au sein de l'entreprise UCODAL (Mali) sur le fonio décortiqué et sur d'autres céréales. Les essais sur le nettoyage du fonio blanchi ont duré trois semaines avec une moyenne de 1,5 T/semaine soient 4,5 tonnes de produit traité. Le débit moyen est de 128 kg/h. La charge en son du produit entrant est de l'ordre de 4 à 7 %. Le son résiduel après nettoyage est inférieur à 1%. La consommation électrique est de 0,565 kW avec un moteur de 0,75 kW. Le coût d'utilisation est évalué à 4,20 FCFA/kg.

Trois tonnes de mil décortiqué ont été vannées à un débit variant entre 204 et 510 kg/h avec une moyenne de 292 kg/h. Six cents kilos de maïs décortiqué ont été également nettoyés sur le canal à un débit moyen de 546 kg/h. Ces différents produits sortent bien vannés du canal. L'équipement est facile à utiliser. Aucune modification ou amélioration n'a été identifiée par les utilisateurs, cependant la capacité de la trémie pourrait être augmentée au regard des débits de nettoyage élevés.

L'utilisatrice est satisfaite de l'équipement qu'elle trouve facile d'utilisation, efficace pour le vannage du fonio et bénéfique en termes de facilitation du lavage et de valorisation des sons.

5.1.2. Deuxième modèle de canal de vannage intégré au décortiqueur GMBF 02

Le second modèle du canal de vannage a été monté sur la série des 3 décortiqueurs GMBF 02 testés dans les trois pays partenaires et sur le décortiqueur thermique testé au Mali. Cette version est intégrée au décortiqueur c'est-à-dire que le canal est monté sur le châssis du décortiqueur et que l'entraînement est assuré à partir du rotor du décortiqueur. Des défauts de fabrication ont été enregistrés mais une fois corrigés, les performances de ce modèle sont satisfaisantes. Les 4 modèles testés lors des essais ont vanné plus d'une centaine de tonnes de fonio.

Cliché: C. MAROUZE (Cirad)

Fig. 13. Canal de vannage intégré au décortiqueur GMBF 02 dans l'atelier d'une transformatrice à Bamako.

5.1.3. Modèle définitif de canal de vannage

Suite aux essais au stade pilote, des améliorations ont été apportées au canal de vannage au niveau de la géométrie du canal pour faciliter le passage de l'air et le mode de fabrication. Le ventilateur aussi été déplacé vers le cyclone pour laisser un espace à l'entrée des grains qui facilite l'ouverture du capot du décortiqueur.

C'est ce modèle qui est diffusé. Il est disponible soit, intégré au décortiqueur, soit, indépendant comme présenté sur la figure 14.

Cliché: C. MAROUZE (Cirad)

Fig. 14. Modèle définitif de canal de vannage (modèle indépendant).

5.2. Tarare Alvan Blanch

Cet équipement a été testé en essai au stade pilote dans le village de Hindè (sous-préfecture de Hafia près de Labé, Guinée) pour le nettoyage du fonio battu. Après formation de deux opérateurs et sensibilisation des producteurs, il y a eu une grande affluence des volontaires pour les essais de nettoyage. Les résultats suivants ont été obtenus lors d'essais de courte durée :

- Débit de la machine en fonio paddy: 610 - 823 kg/h à une vitesse de rotation de la manivelle comprise entre 72 et 80 tr/min;
- Pourcentage d'impuretés dans le produit traité: 0,32 à 0,35 % ;
- Coût d'utilisation par kilogramme de produit: 8 CFA/kg;
- Possibilités de nettoyage du fonio décortiqué et blanchi;
- Lors des essais au stade pilote au total 2,9 T de fonio paddy battu manuellement ont été nettoyées.

Ce matériel assure un nettoyage correct, en particulier, quand le produit comporte beaucoup de menues pailles mais la séparation n'est pas aussi sélective que pour le crible rotatif.

5.3. Crible rotatif long

Les essais au stade pilote ont été réalisés avec une première grille de maille 0,50 mm au lieu de 0,63 mm et une meilleure étanchéité du capot. L'équipement a été utilisé pour le nettoyage du fonio décortiqué manuellement avant blanchiment mécanique par les entreprises UCODAL et «la Sahélienne» à Bamako.

Les principaux résultats sont les suivants :

- Les quantités totales traitées étaient de l'ordre de 11 tonnes (en six semaines) et 14 tonnes (en cinq semaines) respectivement chez la Sahélienne et à UCODAL ; la quantité journalière traitée était au maximum de une tonne,
- Le débit d'opération était de l'ordre de 300 à 350 kg/heure,
- Le produit trié était bien débarrassé des impuretés fines (de moins de 0,5 mm de taille) et des gros cailloux pouvant nuire au décortiqueur,
- Aucun problème technique n'a été relevé durant ces essais,
- Le crible était manipulé par 1 ou 2 personnes selon le planning du jour. On note un effort d'entraînement manuel faible mais pénible pour des longues durées d'opération.
- Le coût d'utilisation est de 1,56 FCFA /kg de fonio criblé

Cliché: D.DRAME (IER)

Fig. 15. Crible manuel long CRM 02

Il n'a pas eu de problème technique particulier mais un colmatage notable de la première grille nécessitant un nettoyage régulier. Le caractère gras et « colmatant » du son et l'humidité ambiante contribuent à accentuer ce phénomène. Le nettoyage est effectué au balai mais n'est pas toujours suffisant. Les grilles sont donc facilement démontables pour réaliser un nettoyage plus complet après démontage.

Les utilisatrices sont satisfaites de l'équipement qu'elles jugent très efficace pour le tamisage du fonio. Elles ne veulent plus revenir à leur tamis manuel et ont toutes les deux acheté une version améliorée du crible en version manuelle ou motorisée.

5.4. Crible rotatif court

Le crible rotatif court (voir figure 16) a été placé sur le même site que le décortiqueur GMBF 02 dans l'entreprise de Mme Traoré à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) pour nettoyer le fonio paddy avant décorticage. Les performances sont satisfaisantes avec un débit moyen entre 171 kg/h et 167 kg/h pour une vitesse de rotation comprise entre 40-50 tr/min. Les refus sont de l'ordre de 5 % du produit à nettoyer ce qui nécessite leur reprise en tamisage manuel. Par ailleurs, le décortiqueur étant placé en prestation de service, la forte affluence des clients apportant de faibles quantités rendaient les temps de passage d'un client au suivant relativement longs car le trommel doit être vidé du grain du client précédent.

Cliché: D.DRAME (IER)

Fig. 16. Crible rotatif court en essai au stade pilote à Bobo-Dioulasso

5.5. Différentes versions de cribles

Trois modèles de cribles sont proposés. On peut noter que :

- La hauteur de la trémie a été légèrement réduite sur tous les modèles pour faciliter le chargement ;
- Diverses améliorations ont été réalisées ;
- Il faut veiller à ne pas plier les grilles car cela risque de provoquer leurs déchirures.

Les caractéristiques des trois modèles de cribles sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques des trois modèles de cribles

Désignation	**Crible long manuel ou motorisé**	**Crible court manuel**	**Crible mixte (manuel et motorisée)**
Maille de la 1ère grille	Maille de 5/10ème pour le fonio décortiqué et de 6,3/10ème pour le fonio paddy		
Maille de la 2ème grille	Maille de 1 mm		
Longueur de passage des grilles (mm)	1ère grille : 880 2ème grille : 880	1ère grille : 420 2ème grille : 420	1ère grille : 445 2ème grille : 935
Diamètre des grilles	450		
Longueur hors tout (mm)	2500	1830	Manuelle: 2350 Motorisée: 2660
Longueur du tambour (mm)	1960	1080	1600

5.6. Evaluation du coût de nettoyage avec un crible long

Cette évaluation est réalisée à l'aide des fiches développées dans le cadre du projet. Le cas d'un atelier de transformation est présenté dans le tableau 5. Le coût de nettoyage avec un crible rotatif manuel est de 2,3 FCFA/kg pour un tonnage annuel de 43 T. Le poste les plus important est l'amortissement du matériel.

Le coût d'utilisation dépend du prix d'achat du matériel et varie fortement en fonction de la quantité annuelle traitée.

Tableau 5. Evaluation du coût de nettoyage avec un crible long

Projet CFC/ICG - (FIGG/02)				Fiche C. Marouzé du 04 03 02			
Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio			**Unité monétaire :**		**F CFA**		
CIRAD-IER-IRAG-IRSAT				1 EURO =	655,96 FCFA		
			Date de réalisation :		23 03 04		
				Par :	C. Marouzé		
Fiche évaluation du coût d'utilisation d'un équipement							
Type d'équipt :		**Crible manuel rotatif long CRML**					
Type d'utilisation :		**Utilisation dans l'atelier Bamako**					
Valeurs données à titre indicatif							
Prix d'achat de l'équipement	PR = Pd + Pa + Pt				**450 000**	**F**	
Prix départ usine	Pd			400 000 F			
Prix accessoires (moteur, etc.)	Pa						
Coût de mise à disposition (transport, montage, taxe	Pt			50 000 F			
Nombre d'heures d'utilisation de l'équipement	Nv = D. vie * D.an *Nh/j * Dis.m * Coef.ut				**1 152**	**h**	
Durée de vie de l'équipement	D.vie	8	ans				
Durée de la campagne d'utilisation de la machine	D.an	100	j				
Nombre d'heures d'utilisation par jour	Nh/j	2	h				
Disponibilité de la machine	Disp.m	80%					
Coefficient d'utilisation (clients, personnels, jours fér	Coef.ut	90%					
Nombre d'heures réelles d'utilisation par an		144	h				
Caractéristiques machine							
Débit théorique	Dth	*300 à 500*	kg/h				
Débit horaire en continu durant la journée de travail	Dréel	300	kg/h				
Nombre de personnes nécessaires pour la conduite	Nbre.m	1/2		Deux personnes pendant		**2**	h
Paramètres économiques							
Facteur de réparation	F.rép	0,1					
Coût journalier des manoeuvres de la machine	Coût.man	800	F/j				
Tonnage annuel traité par la machine					**43**	**t/an**	
Calcul du coût d'utilisation horaire de la machine					**688**	**F/h**	
Charges fixes							
Amortissement	A = PR / Nv			391 F	57%		
Réparations pièces et main d'œuvre	R = A * F.rép			39 F	6%		
Assurances et remisage	A * 2 %			8 F	1%		
Charges variables							
Conduite personnel	Coût.man * Nbre.m / (Nh/j *			250 F	36%		
Entretien		p.m.			0%		
					100%		
Calcul du coût d'utilisation de la machine par kg de grain entrant					**2,29**	**F/kg**	

6- Conclusion et perspectives

Les travaux de recherche et de développement menés lors du projet dans le domaine du nettoyage du fonio ont permis de mettre à la disposition des opérateurs des équipements assurant la mécanisation des différentes opérations du nettoyage que ce soit pour le fonio battu contenant des pailles et menues pailles, le fonio paddy avant décorticage, le fonio décortiqué (après décorticage ou avant blanchiment) et le fonio blanchi. Ces équipements sont aussi utilisables pour d'autres céréales.

Les équipements validés sont les suivants :

- Le tarare Alvan Blanch mais celui-ci, contrairement aux deux autres matériels, n'est pas fabriqué dans la zone fonio. Ce matériel est bien adapté au nettoyage du fonio battu. Les plans de ce matériel ont été dressés pour envisager une fabrication locale.
- Les cribles rotatifs disponibles en versions courte, longue et mixte. Ils sont soit, à entraînement manuel, soit, motorisés (électriquement pour la version longue et avec un moteur thermique pour la version mixte). Ce type de matériel est principalement destiné au nettoyage du fonio avant les opérations de décorticage et de blanchiment pour l'élimination des sables et des cailloux.
- Le canal de vannage destiné principalement au vannage des produits sortant du décortiqueur pour les opérations de décorticage ou de blanchiment. Dans ce cas, il est monté directement à la sortie du décortiqueur. Il peut aussi être utilisé indépendamment du décortiqueur pour le vannage du fonio ou d'autres céréales.

La disponibilité de ces technologies permet un choix motivé des utilisateurs, selon le type d'opération à mécaniser. Réalisés pour trois matériels, des dossiers de fabrication présentant l'ensemble des plans de détail des équipements vont permettre aux équipementiers de bénéficier de tous les acquis du projet dans le domaine du nettoyage. Leur publication est en cours : crible court (Marouzé *et al.*, 2005), crible long (Marouzé *et al.*, 2005) et canal de vannage (Marouzé *et al.*, 2005). Toutefois, tous les modèles ne sont pas encore tous fabriqués dans les trois pays partenaires, il conviendra donc d'accompagner la fabrication locale et leur diffusion dans tous les pays.

Le coût d'utilisation de ces machines est faible de 2 à 5 FCFA/kg et le prix de vente de ces équipements est de l'ordre de 500 000 FCFA. C'est un facteur très positif pour la diffusion de ces matériels. La capitalisation réalisée en fin de projet avec la rédaction des fiches de présentation des matériels, des guides d'utilisation, des dossiers de plans contribuera au lancement de la diffusion des équipements et des résultats du projet.

Quelques matériels ont déjà été commercialisés (crible long et canal de vannage) mais des efforts doivent être déployés pour que ces technologies soient effectivement disponibles sur le terrain avec la mise en place d'unités pilotes en milieu urbain et de plates-formes en milieu rural de transformation des céréales intégrant ces équipements de nettoyage couplés aux décortiqueurs qui assureront la promotion des technologies développées par le projet.

Références

Marouzé C. 2000. Projet Fonio CFC/ICG(FIGG/02). Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Activité n° 6, Inventaire des principes de décorticage-blanchiment, de séparation et de battage. Montpellier, CIRAD-AMIS n° 58/2000.

Marouzé, C., Buffetaud B. 2000. Projet Fonio CFC/ICG(FIGG/02). Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Amélioration et conception d'équipement. Nettoyage à sec des graines de fonio Etude de principes de nettoyage. CIRAD-AMIS, n° 60/00, Octobre 2000. Montpellier.

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

Marouzé C., Seige C. 2001. Etude, mise au point et développement d'un canal de vannage pour le fonio. Projet Fonio CFC/ICG(FIGG/02). Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT, CIRAD-AMIS, n° 78/01, Septembre 2001. Montpellier.

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

Dramé D. 2003. Rapport d'essais d'équipements. Projet CFC/IGG(FIGG/02): Amélioration des technologies post-récolte du fonio. IER. Bamako. Mali. Juin 2003. 18 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

Sakho S., Loua J.F., Kouyaté S. 2003. Essais des équipements au stade pilote. Tests et suivi d'un nettoyeur de grains adapté au fonio. Projet CFC Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio. IRAG. Conakry. Guinée. 12 p

Son G. Zangré S. Konaté A. Hien T. 2003. Projet CFC/IGG : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. Rapport du crible court. IRSAT. Burkina Faso. 6 p.

Son G. Zangré S. Konaté A. Hien T. 2003. Projet CFC/IGG : Amélioration des technologies post-récolte du fonio. Rapport du crible mixte. IRSAT. Burkina Faso. 9 p.

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

Marouzé C., Dramé D., Brouat J., Coulibaly B. 2005. Dossier de fabrication Crible Rotatif Long CRL. Projet Fonio CFC/ICG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Harmattan, Paris.

Marouzé C., Thaunay P., Dramé D., Diop A. 2005. Dossier de fabrication Canal de vannage pour grains et graines. Projet Fonio CFC/ICG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Harmattan. Paris

Marouzé C., Brouat J., Zangré S., Dramé D. 2005. Dossier de fabrication Crible Rotatif Manuel Court CRMC Projet Fonio CFC/ICG - (FIGG/02). Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Harmattan, Paris