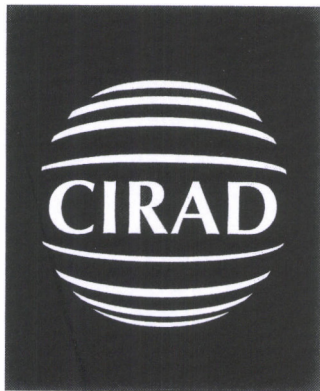




Département amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique Cirad-amis

Séchoir Cirad à produits granulés
Installation et mise en production au Burkina Faso et formations des utilisateurs
Compte rendu de mission de JM Méot et C Marouzé,
Juin 2005

Travail réalisé en collaboration avec
Michel Rivier (Cirad, Ouagadougou)
Moctar Ouedraogo (Technicien ATC/B)
Hamidou Namata (EIER)



Doc. Cirad/Amis N°17/2005

CIRAD-DIS1
Unité bibliothécaire
Lavalette



000073081

Sommaire

1	<i>Introduction</i>	2
2	<i>Analyse technique du besoin</i>	3
2.1	Introduction	3
2.2	Caractéristiques des produits	3
2.3	Débit de production	4
3	<i>Dimensionnement de l'installation</i>	5
4	<i>Réalisation du séchoir</i>	7
4.1	Introduction	7
4.2	Configuration avec composants importés	7
4.3	Configuration fabricable localement	10
5	<i>Installation et essais</i>	12
5.1	Installation et déroulement	12
5.2	Résultats de la configuration avec composant importés	13
5.3	Résultats de la configuration fabricable localement	13
6	<i>Evaluation du prix de revient</i>	15
7	<i>Conclusion / perspectives</i>	16

1 INTRODUCTION

Comme rédigé dans le document de demande de soutien financier (Annexe 1), le Cirad s'intéresse depuis plusieurs années aux produits roulés de type « couscous arabe ». Ayant constaté qu'en Afrique de l'Ouest, l'étape limitante du process est le séchage, JM Méot, spécialiste en séchage, a conduit des travaux à partir de 1998 pour apporter une solution. Les principes et équipements ont été validés par des tests au Cirad Montpellier en 2000. En 2004 – 2005, C Marouzé, chercheur en génie industriel, a repris la démarche en faisant réaliser et en testant à Montpellier un prototype de séchoir.

L'installation d'un séchoir au Burkina Faso correspond au passage d'un équipement testé en milieu contrôlé à une mise en milieu réel. Les objectifs et les contraintes de cette étape sont les suivantes :

- Démontrer que la solution technique proposée (1a) fonctionne, (1b) répond aux besoins et (1c) est rentable ;
- Poser les bases pour une diffusion, notamment en (2a) formant des constructeurs et des conseillers techniques mais aussi en (2b) essayant de substituer des réalisations locales aux pièces importées.

Dans le cadre limité d'une mission de 10 jours et 2 jours périphériques, JM Méot et C Marouzé ont choisi d'apporter une solution clef en main basée sur des équipements connus mais importés puis d'explorer une fabrication locale de l'ensemble du séchoir.

Dans ce rapport, on trouve d'abord une analyse technique du besoin de séchage. Ensuite, la solution technique dimensionnée pour répondre à ce besoin et basée les connaissances du Cirad est présentée. Les premiers résultats de sa mise en œuvre au Burkina Faso sont rapportés et analysés. Enfin, les résultats très positifs de l'utilisation d'un ventilateur fabriqué localement ouvrent de bonnes perspectives pour une diffusion du séchoir.

Les missions de JM Méot et C Marouzé ont été planifiées de manière décalée avec un recouvrement comme représenté ci-dessous. Les temps qu'ils pouvaient consacrer au séchoir à produits roulés étaient respectivement de 8 jours sur site pour JM Méot et de 3 jours sur site pour C Marouzé.

JM Méot 6 juin -----17 juin

C Marouzé 13 juin ----- 24 juin

2 ANALYSE TECHNIQUE DU BESOIN

2.1 INTRODUCTION

L'analyse technique du besoin s'est basée essentiellement sur le travail réalisé en 2003 pour le Cirad par Audrey Chazal (Stagiaire DESS « Nutrition » de l'Université de Montpellier). Les commentaires visent à situer les produits à sécher au Burkina Faso par rapport au couscous moyen de blé dur, produit référence des essais conduits au Cirad Montpellier.

2.2 CARACTERISTIQUES DES PRODUITS

2.2.1 Porosité

La majorité des produits est fabriquée à partir de farine. Seul le couscous de blé dur est fabriqué à partir de semoule (granulométrie plus grosse). On peut alors supposer que la porosité des produits est plus faible que celle du couscous de blé dur et que la taille des pores est sensiblement plus petite. En conséquence, il est très probable que les produits locaux de granulométrie équivalente au couscous de blé dur sèchent sensiblement plus lentement que lui.

2.2.2 Granulométrie

Selon les indications extraites du rapport de A. Chazal pages 42 à 47 du rapport (détail ci-dessous), la majorité des produits cibles ont une granulométrie similaire à celle du couscous de blé dur moyen, produit référence. Cependant, certains produits ont des granulométries supérieures ce qui conduira à des durées de séchage plus longues.

- La production majoritaire (>50%) de l'entreprise enquêtée est le couscous de mil, de sorgho rouge ou de mélange de céréales. Les Histogrammes montrent que ces produits ont quelques particules dont le diamètre est compris entre 0.5 et 1 mm et que la grande majorité des particules ont un diamètre compris entre 1 et 1.5 mm.
- Les granules de dégué et de bouillie sont plus gros avec des diamètres moyens de l'ordre de 1.5 à 2.5 mm.
- Le birba est constitué de granules de diamètre 2.5 mm à plus de 4.5 mm.

2.2.3 Densité des produits (mesures réalisées en mai 2005 au Cirad Mpl)

⇒ Couscous de blé dur moyen (produit référence)

- Humide (46%MH) : 774 kg/m^3
- Sec (10%MH) : 736 kg/m^3

⇒ Couscous de petit mil sec

- Gros granules : 814 kg/m^3
- Petits granules : 821 kg/m^3

⇒ Bouillie de mil sec : 586 kg/m^3

2.2.4 Estimation a priori des durées de séchage

Une approximation des temps de séchage a été faite afin de pouvoir dimensionner le séchoir. Elle n'est basée que sur des raisonnements logiques et quelques règles du génie des procédés. Ses résultats ne sont que des indications.

- 60 min temps de référence couscous de blé dur
- Facteur 1.5 pour différence de structure (farine au lieu de semoule) soit 90 min
- Facteur de taille
 - Pour le dégué
 - ◆ Période de transfert externe limitant (3/4 du séchage) : différence de durée proportionnelle au rayon. Temps multiplié par $2.5/1.5=1.6$.
 $\frac{3}{4} 90 * 1.7 = 112 \text{ min}$
 - ◆ Période de transfert interne limitant (1/4 du séchage) : temps multiplié par $(2.5/1.5)^2= 2.8$ pour effet de taille

$$\frac{1}{4} 90 * 2.8 = 62 \text{ min}$$

Au bilan, l'ordre de grandeur de la durée du séchage du dégué est de 180 min.

- Pour le birka
 - ◆ Période de transfert externe limitant (3/4 du séchage) : temps multiplié par 2.
 $\frac{3}{4} 90 * 2 = \frac{3}{2} 90 = 135 \text{ min}$
 - ◆ Période de transfert interne limitant (1/4 du séchage) : temps multiplié par $(4/1.5)^2 = 7$
 $(4/1.5)^2 = 7$ pour effet de taille
 $\frac{1}{4} 90 * 7 = 157 \text{ min}$

Au bilan, l'ordre de grandeur de la durée du séchage du birka est de 300 min soit 5 heures soit 3.3 fois le temps de séchage des autres produits cibles.

2.3 DEBIT DE PRODUCTION

Dans le rapport de A. Chazal, seul le cas d'une entreprise a été analysé. La production journalière est estimée à 74 kg de produit sec par jour. Selon les échanges avec Michel Rivier, chercheur Cirad en poste au Burkina Faso qui a suivi l'étude de A. Chazal en 2003, le séchage est réalisé en environ 5 heures, ce qui correspond à un débit horaire de l'ordre de 15 kg de produit sec.

Selon les échanges avec M Rivier, acteur local du projet, l'entreprise retenue pour recevoir en test le séchoir a une production proche de celle décrite par A. Chazal. Cependant, en cas de besoin, elle peut doubler la production journalière en allongeant le temps de travail.

3 DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Pour obtenir 15 kg/h de produit sec à environ 10%MH, il faut enlever 5.7 kg/h d'eau si l'humidité initiale est de 35%MH. En limitant le calcul d'énergie à la chaleur latente de vaporisation de l'eau (2250 kJ/kg eau) et à partir de notre connaissance d'un rendement de l'ordre de 65% sur ce type de séchoir, il faut 20 000 kJ/h soit une puissance de chauffe de l'ordre de 5.5 kW.

L'expérience acquise les années précédentes nous a appris que les plus petits générateurs d'air chauds à gaz disponibles en France sur le marché « grand public » ont des puissances de 10 kW. Lors de la préparation de cette mission, notre recherche de matériel nous a conduit à choisir un brûleur professionnel de puissance 12 kW. Ainsi, la capacité de séchage du séchoir devrait être de l'ordre de 30 kg/h pour des teneurs en eau initiales et finales comme énoncées au paragraphe précédent. Pour des teneurs en eau initiale différentes, les débits horaires maximaux sont rapportés au tableau ci-dessous.

	Teneur en eau initiale (%MH)								
	26%	28%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%
Débit horaire maximal (kg prod sec/h)	58	50	44	39	35	31	28	25	23

Tableau 1: débits maximaux de produit sec (10%MH) en fonction de l'humidité initiale

Ces débits sont sensiblement supérieurs au débit pris comme référence. Pour un équipement de démonstration, il serait utile que le séchoir puisse être utilisé simultanément par plusieurs producteurs car cela permettrait dans le même temps de satisfaire leurs besoins de séchage et d'accélérer la découverte de l'équipement par différents acteurs.

Si on considère que le séchoir doit prioritairement répondre aux besoins de séchage liés à la saison humide (température de l'air 30°C ; Humidité relative 60%) et qu'on fixe comme contrainte une température maximale de l'air de 60°C (moteur du ventilateur soumis à la température d'air chaud), le fonctionnement à pleine puissance du brûleur demande 1500 m³ air/h.

Les expériences menées sur Montpellier ont montré que la vitesse d'air maximale avant la couche de produit est de 0.3 m/s pour le couscous moyen de blé dur. La section de passage de l'air à travers les claies doit alors être de 1.4 m².

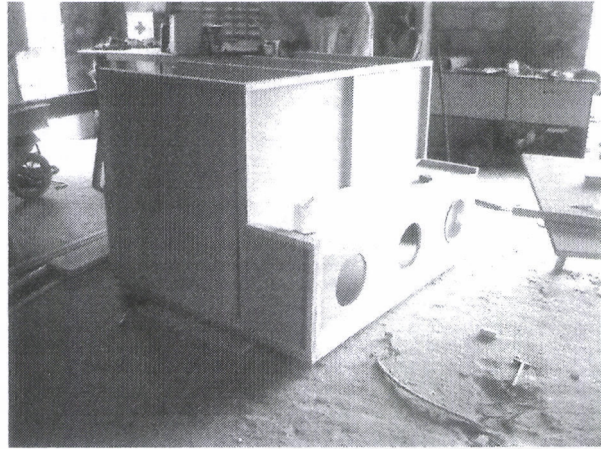
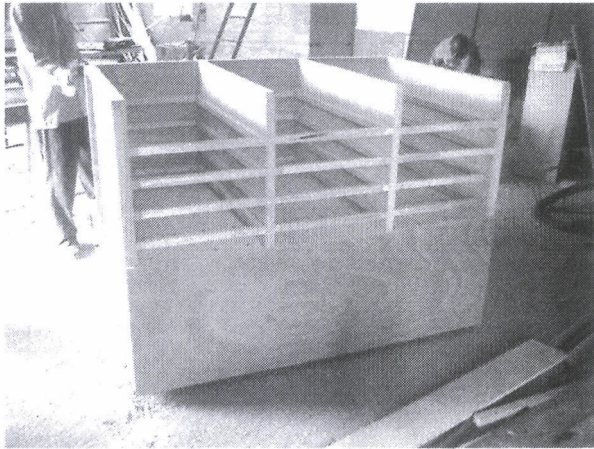
Cette surface est trop importante pour une unique claie. Le choix de la surface unitaire d'une claie se base alors sur les éléments suivants :

- Le débit est de l'ordre de 25 à 50 kg de produit sec/h, et plus certainement de 23 à 44 kg/h.
- Selon les produits, la durée de séchage est de 90 à 300 minutes. Le birka (300 min) étant une production minoritaire, nous considérons préférentiellement des temps de séchage de 90 à 180 minutes.
- Pour que le principe de séchoir utilisé soit intéressant, il faut que les manipulations de claies soient limitées. Pour cela, on estime que le séchoir doit comporter au plus quatre claies superposées.

On arrive alors, à une situation extrême de 44 kg de produit sec/h devant séjourner 3H dans le séchoir d'où un total de 132 kg de produit sec dans le séchoir, soit 33 kg de produit sec/niveau pour 4 niveaux de claies superposées ou encore 42.4 kg de produit humide/niveau. Il a été jugé raisonnable de séparer chaque niveau en trois claies qui recevraient chacune 10.6 kg de produit humide.

Au bilan, on arrive à un séchoir à trois compartiments de quatre claies chacun, chaque compartiment ayant une section de passage de 0.47 m^2 environ. L'ensemble est chauffé par un brûleur à gaz 12 kW . Le ventilateur doit permettre un débit d'air de l'ordre de $1500 \text{ m}^3/\text{h}$.

On arrive à un séchoir tel que présenté sur la photo ci-dessous.



4 REALISATION DU SECHOIR

4.1 INTRODUCTION

Pour être sûr d'obtenir les performances, une configuration a été préparée au Cirad Montpellier à partir de composants dont on connaissait exactement les caractéristiques (débit, pression). Par ailleurs, une alternative fabricable localement a été étudiée. Plus porteuse d'avenir car d'un coût inférieur, des tests étaient nécessaires pour confirmer que les performances attendues étaient bien atteintes. Notamment, nous devions valider les caractéristiques d'un ventilateur extrapolé à partir d'un modèle utilisé précédemment par le Cirad pour le vannage du fonio.

Une unique « ossature » de séchoir permettant de tester les deux configurations a été conçue et mise en plan au Cirad Montpellier. Les plans ont été transmis à M. Rivier qui a fait réaliser le séchoir par l'atelier de menuiserie et de chaudronnerie de la société ISOMET de Ouagadougou. Cette société a été choisie car son directeur, M. William Ilboudo, possède une expérience importante de réalisation d'équipements pour l'agroalimentaire. Il connaît les contraintes de cette filière et il a une bonne compréhension des questions de thermique.

4.2 CONFIGURATION AVEC COMPOSANTS IMPORTES

4.2.1 *Eléments constitutifs*

Les matériels, approvisionnés en France, utilisés pour cette configuration sont les suivants :

- Détendeur réglable avec manomètre,
- Indicateurs de température,
- Canon à air chaud professionnel,
- Thermostat de sécurité,
- Ventilateur dont la courbe de fonctionnement est connue,
- Régulateurs de débit pour garantir une bonne maîtrise de la répartition d'air entre les compartiments.

Les caractéristiques techniques de ces équipements, leur prix et les références des fournisseurs auprès desquels ils ont été achetés se trouvent en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Lors du montage du dispositif, un mélangeur statique a été réalisé à l'atelier dans le but d'éviter la présence de points chauds au sein de la veine d'air qui arrive au ventilateur. En effet, l'air chaud en sortie de générateur gaz a une température de l'ordre de 260°C, non tolérable par le ventilateur. Le modèle de mélangeur statique réalisé s'est inspiré de la photo suivante.

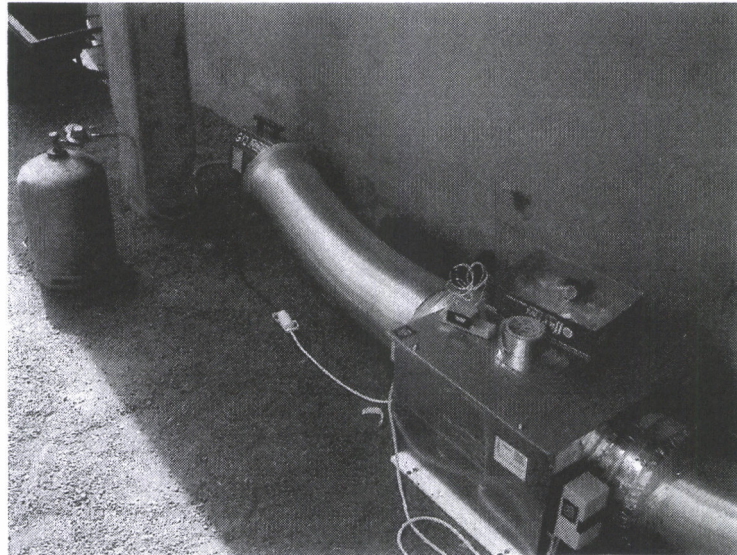


Deux demi-ellipses ont été soudées à 90° afin de forcer en rotation le flux d'air, entraînant ainsi un mélange. Il était prévu de mettre plusieurs dispositifs de ce type, montés à contre sens les uns des autres, pour garantir une homogénéité. A l'usage, il s'est avéré que chaque dispositif créait une perte de charge importante et que, dans cette phase d'essais, il valait mieux n'en installer qu'un seul.

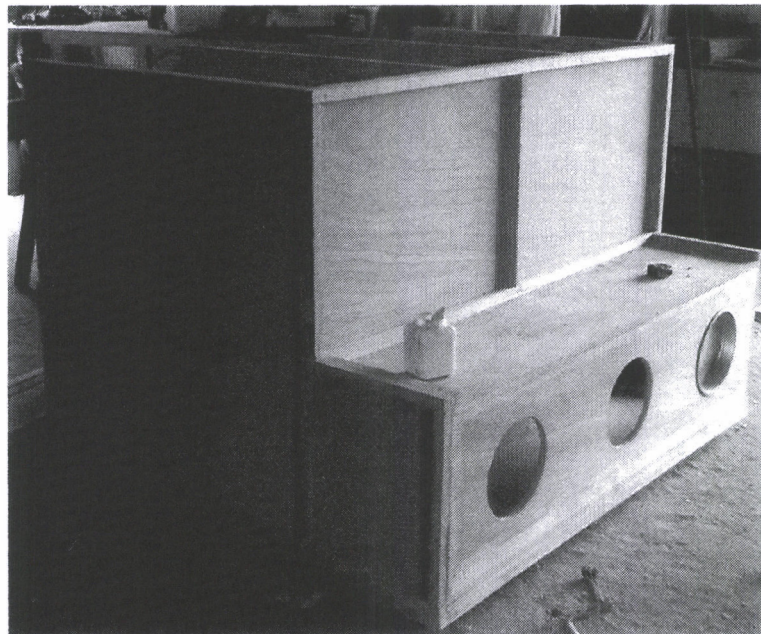
Il semble que les mélangeurs statiques selon la photo ci-dessous soient aussi efficaces en imposant des pertes de charge moindres. Nous n'avons pas pu les tester car leur fabrication était difficile localement.



4.2.2 Ensemble du séchoir



L'air chaud sortant du générateur à gaz (environ $250 \text{ m}^3/\text{h}$) est capté par un cône en même temps que de l'air environnant ($1250 \text{ m}^3/\text{h}$). Dans la section de tubulure qui suit, le mélangeur statique homogénéise la température du flux d'air. Le ventilateur est équipé d'un thermomètre placé sur l'air et d'un thermostat dont la partie sensible est collée au moteur. En cas de déclenchement du thermostat, la vanne d'alimentation en gaz du générateur d'air chaud se ferme. Elle doit être réarmée manuellement pour un nouveau démarrage du brûleur.



En sortie de ventilateur, l'air chaud est insufflé dans le caisson en bois situé à l'arrière du séchoir. Ce caisson communique avec chacun des trois compartiments par un trou de diamètre 200 mm dans lequel est installé un régulateur de débit.

Trois trous de visite sont prévus sur la face arrière du caisson pour permettre aux opérateurs de modifier le réglage des joues des régulateurs de débits (cf **Erreur! Source du renvoi introuvable.**). Ils peuvent ainsi adapter le débit d'air en fonction du produit à sécher.



L'air entré dans la partie basse d'un compartiment se répartit sur l'ensemble de la surface de la claie du fait de la perte de charge qu'il crée en traversant le produit. En dessous de la claie la plus basse, une plaque équipée d'une toile peut être ajoutée afin de filtrer l'air si nécessaire (poussières dans l'air ; insectes).

Chaque compartiment est équipé d'une porte qui donne accès aux claies. Celles-ci sont constituées d'un cadre bas, d'un grillage métallique galvanisé de maille 10 * 10 mm supporté par des raidisseurs, et d'un cadre haut pour contenir le produit. Le produit est disposé dans un tissu type rideau débordant d'environ 20 cm sur chaque bord de la claie. Ce tissu permet de contenir le produit, de le récupérer pour le sortir ou pour le mélanger. Il peut être lavé.



4.2.3 Prix de revient des fournitures techniques

Dans le cadre de ce travail, les coûts n'ont pas pu être optimisés notamment du fait du court délai entre l'obtention du financement et la réalisation de la mission. Néanmoins, quelques indications de prix peuvent donner un ordre d'idée.

Les fournitures techniques de cette configuration (générateur d'air chaud ; ventilateur ; thermostat ; régulateur de débit) ont un prix d'achat France de 784 €HT soit environ 515 000 Fcfa.

A cela, il faut ajouter des frais de transport de 500 € environ (avion) et des frais de douane actuellement de 54% à l'entrée au Burkina Faso.

Le prix de revient des organes techniques est de 1700 € rendus au Burkina Faso et dédouanés.

4.3 CONFIGURATION FABRICABLE LOCALEMENT

4.3.1 Introduction

La réalisation locale d'un séchoir se baserait à minima sur les éléments suivants :

- Un brûleur à gaz type tripate (8 à 10 kW)
- Un ventilateur de réalisation locale
- Un dispositif de répartition d'air par pertes de charges

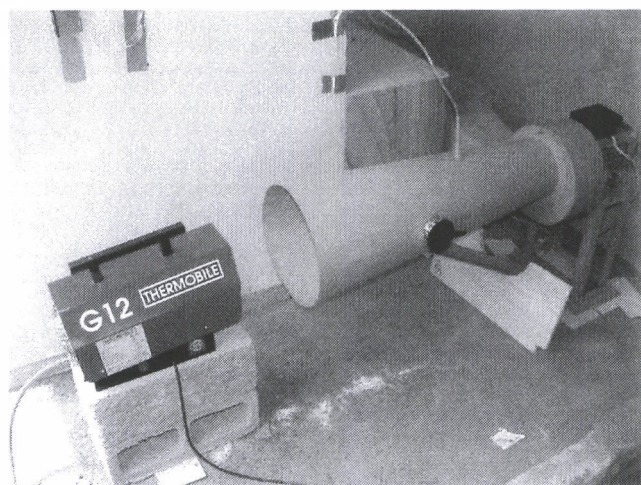
L'ajout de sécurités sur le brûleur est indispensable pour éviter les risques d'extinction de flamme, de surchauffe et d'arrêt du ventilateur. Dans le cadre d'un travail d'amélioration des séchoirs à mangues au Burkina Faso, nous avons pu concevoir et tester un dispositif de ce type. Son prix de revient est de l'ordre de 50 €HT départ France. Ce dispositif devra être importé.

Pour tester cette configuration, il suffisait de valider les organes aérauliques. Nous les présentons ci-dessous.

4.3.2 Ventilateur et dispositif de réglage du débit

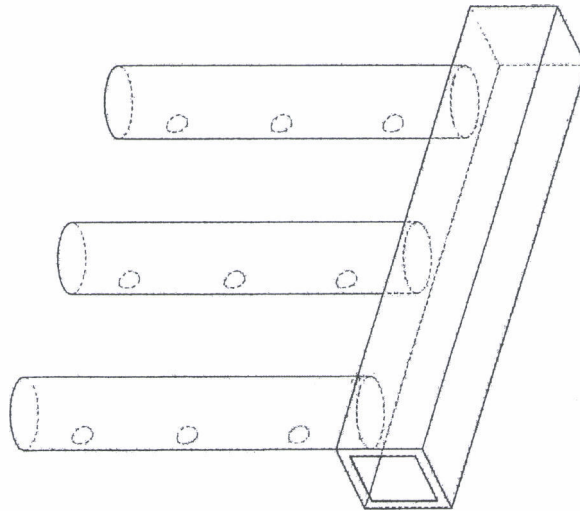
Il s'agit d'un ventilateur centrifuge monté directement sur l'arbre d'un moteur électrique tournant à 2800 tr/min. Son dimensionnement a été réalisé à partir du ventilateur utilisé sur un canal de vannage développé dans le cadre d'un autre projet. Le diamètre de la roue a été porté à 205 mm et sa largeur à 100 mm. Afin d'être certain de disposer de suffisamment de puissance d'entraînement, un moteur 1.1 kW / 3000 tr/min été choisi mais les essais ont montré qu'un moteur de 0.75 kW est suffisant.

Le réglage du débit est réalisé par pivotement d'une vanne papillon placée à l'entrée du ventilateur (voir montage ci-dessous réalisé avec le brûleur importé, le cône d'entrée du ventilateur avec la vanne, et le ventilateur avec son moteur).



4.3.3 Dispositif de répartition de l'air

Pour assurer une répartition homogène de l'air sous les trois claies et sur toute la longueur des claies, une gaine métallique de répartition distribue l'air chaud sous les claies. Trois perçages sont placés sur la partie basse de chacun des trois tubes répartiteurs. La perte de charge créée par ces orifices égalise les débits d'air (voir dessin ci-dessous).



Alors que le plénum représenté ci-dessus devrait remplacer le caisson de répartition d'air fait pour la configuration préparée à Montpellier, il a été modifié pour pouvoir être monté sur l'unique séchoir construit pour les tests. Les trois conduites circulaires ont été rallongées afin de traverser le caisson en bois.

5 INSTALLATION ET ESSAIS

5.1 INSTALLATION ET DEROULEMENT

Le décalage dans le temps des deux missions a permis de finir la réalisation des équipements de la configuration « fabricable localement » en parallèle du test de la configuration préparée à Montpellier.

5.1.1 Localisation

L'entreprise retenue par l'Association des Transformateurs de Céréales du Burkina (ATC/B) et par M Rivier, leader du projet est l'établissement « Tout Super ». Cette entreprise située à Pissy, un quartier du secteur 17 de Ouagadougou, est dirigée par Mme Traoré. Elle produit du fonio précuit et des produits roulés à base de petit mil, maïs, sorgho, riz et blé. Installée en ville, elle est soumise au problème de manque de place pour réaliser du séchage solaire.

5.1.2 Test de la configuration avec composants importés

L'assemblage des composants importés¹ sur le séchoir a été fait en une demi-journée dans l'atelier de Isomet. Aucune difficulté n'a été rencontrée et il a été possible de programmer le transport du séchoir et son installation pour le lendemain. Le vendredi 10 juin, le séchoir était installé et testé « à vide ».

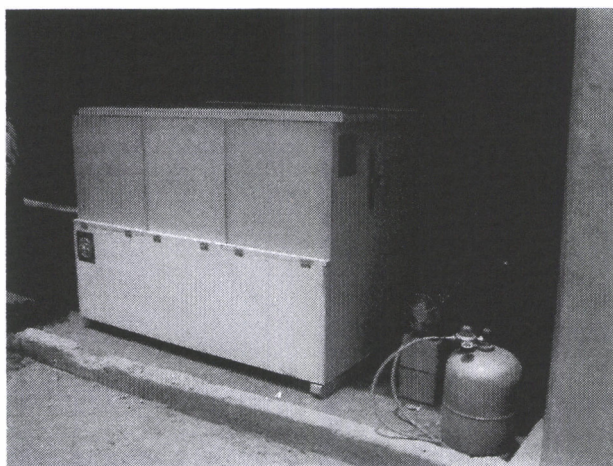
Le premier séchage a été réalisé le 13 juin sur du dégué et de la bouillie de petit mil.

Le 16 juin, la capacité du séchoir à sécher du fonio a été testée. Au cours de l'essai, de la bouillie de petit mil a été séchée en même temps que le fonio.

Le 17 juin, une démonstration – formation a été faite. Les membres de l'ATCB, Mobtar Ouedraogo, technicien de cette association ainsi que T. Ferré du projet EIDév ont pu découvrir le séchoir, voir ses performances et apprendre à s'en servir.

5.1.3 Test de la configuration fabricable localement

La seconde configuration a été substituée à la première en deux heures. Elle a testée le 24 juin par C Marouzé et M Rivier après le départ de JM Méot.



¹ Les composants achetés en France ont été expédiés en express par avion le jeudi 2 juin avec un engagement de mise à disposition au Burkina Faso pour le lundi 6 juin. Ils ne sont réellement arrivés que le 8 juin et n'ont pu être retirés que le 9 juin.

5.2 RESULTATS DE LA CONFIGURATION AVEC COMPOSANT IMPORTES

5.2.1 Introduction

Le déroulement des essais de la configuration préparée à Montpellier est rapporté en Annexe 3.

5.2.2 Appropriation du séchoir

La mise en route du séchoir s'est passée sans problème en veillant à ce que les futurs utilisateurs (Monsieur Traoré et un de ses fils) comprennent le fonctionnement et les réglages. Une attention particulière a été apportée sur l'absence de risque quelles que soient les erreurs commises par l'utilisateur. Cela a été bien perçu puisque, en fin de la première journée d'essai, les opérateurs ont accepté que le séchoir leur soit confié pour achever le séchage des produits qu'il contenait.

Le principe de séchage à contre courant a été assimilé. En effet, dès le deuxième jour d'essai, M Traoré a fait des propositions pour conduire la fin de séchage en limitant la consommation de gaz par regroupement des claies dans un unique compartiment.

Ces constats ne sont que des indications qui devront être confirmées dans le futur car notre temps d'observation fut trop court et toujours en notre présence.

5.2.3 Performances techniques

Des essais de séchage ont été conduits avec succès sur du dégué, de la bouillie et du fonio. Les régulateurs de débit d'air ont permis d'adapter facilement le séchoir en fonction du produit.

La quantité d'eau à enlever pour obtenir un kilogramme de produit sec (10%MH) est de 290g pour le fonio, 510 g pour la bouillie et 900g pour le dégué.

La durée de séchage est estimée à 2H pour la bouillie de petit mil et à 2H30 pour le fonio et le dégué.

Le rendement thermique est de l'ordre de 70% ce qui conduit à un coût de l'énergie de l'ordre de 30 Fcfa par kilogramme de dégué sec et de 15 Fcfa par kilogramme de fonio ou de bouillie.

La capacité évaporatoire du séchoir, dans les conditions rencontrées lors des essais est de l'ordre de 9.5 kg eau/h. Cela correspond à une production de 10.5 kg/h de dégué ou de 19 kg/h de bouillie. Pour le fonio, le débit d'air par cellule doit être réduit à 250 m³/h (400 m³/h pour dégué et bouillie) mais l'humidité initiale n'est que de 30.5%MH (53 %MH pour le dégué ; 40.5% pour la bouillie). La production est de l'ordre de 16 kg sec/h..

La qualité des produits a été jugée très satisfaisantes par les opératrices pour le dégué et le fonio. Par contre, les granules de bouillie sont plus friables qu'après un séchage naturel et ceux qui ont été exposés à l'état sec à une température de l'ordre de 55°C pendant environ 1H ont bruni.

5.3 RESULTATS DE LA CONFIGURATION FABRICABLE LOCALEMENT

5.3.1 Introduction

Avant de lancer l'essai de séchage, une expérimentation préalable a permis de vérifier que le réglage du débit d'air par la vanne papillon permettait d'adapter le séchoir au fonio et au dégué. Les réglages correspondant ont été repérés sur le levier de la vanne.

Ensuite, comme le souhaitait Mme Traoré, un essai de séchage a été conduit avec du fonio. Le déroulement est rapporté en Annexe 4.

5.3.2 Appropriation du séchoir

Le savoir faire acquis par les opérateurs sur la première configuration a permis une appropriation immédiate de la nouvelle configuration. A la fin de l'essai quantitatif conduit par les agents Cirad, les opérateurs ont poursuivi la production pour le séchage de couscous de riz.

5.3.3 Performances techniques

Dans cette configuration, le séchoir n'a été utilisé que pour le séchage du fonio mais il peut être utilisé pour les différentes productions des Ets tout Super. Pour l'essai, le débit d'air a été choisi pour du fonio (entre 800 et 1000 m³/h).

Pour obtenir un kilogramme de fonio sec à 10%MH à partir de fonio cuit à la vapeur, lors de l'essai, il fallait enlever 285 g d'eau. La durée de séchage aurait dû être 2H00. La majorité du produit a été laissé 2H30 environ ce qui a conduit à un séchage excessif.

En considérant que le fonctionnement « normal » du séchoir a été atteint seulement à partir de l'introduction de la troisième claie dans chaque cellule², le débit du séchoir est de 17 kg de fonio sec par heure. Ce débit est logiquement supérieur à celui obtenu avec la configuration préparée à Montpellier du fait de la possibilité d'avoir une température d'air plus élevée (moteur du ventilateur en dehors du flux d'air chaud).

Sur l'ensemble de l'essai, le rendement thermique a été de 55%. Cette valeur sensiblement inférieure aux 70% obtenus avec la première configuration est en réalité semblable. En effet, lors de cet essai, la phase de fonctionnement « normal » a été courte comparée aux phases de démarrage et d'arrêt. Pendant la phase d'arrêt avec une ou deux claies par cellule, le rendement thermique chute fortement car l'air qui sort du produit presque sec n'est pas saturé d'eau.

La qualité du fonio a été jugée bonne.

La procédure d'utilisation du séchoir est présentée en annexe 5.

² Le fonctionnement « normal » correspond à une alimentation semi continue. Les premières claies sèchent anormalement vite car elles reçoivent un air dont la capacité évaporatoire a été peu diminuée car il a traversé peu de produit.

6 EVALUATION DU PRIX DE REVIENT

Une première approche du coût de revient du séchage est présenté en Annexe 6 pour un matériel fabriqué localement. Il est de l'ordre de 47 Fcfa/ kg de produit sec, avec un poids similaire entre le coût d'amortissement du matériel et le coût de l'énergie.

Il est possible de réaliser d'autres simulations en modifiant les hypothèses de calcul. Par exemple, un fonctionnement 220 jours/an au lieu de 110 j/an abaisse le coût de revient à 36 Fcfa/kg alors qu'une augmentation du prix du gaz de 4.000 Fcfa/bouteille (forte subvention) à 10.000 Fcfa/bouteille le fait augmenter à 62 Fcfa/kg.

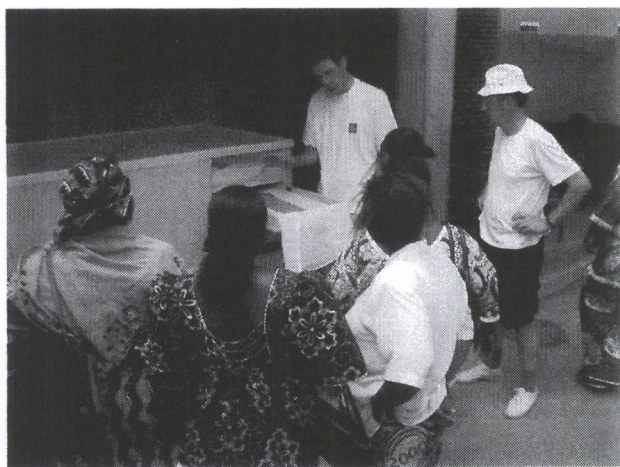
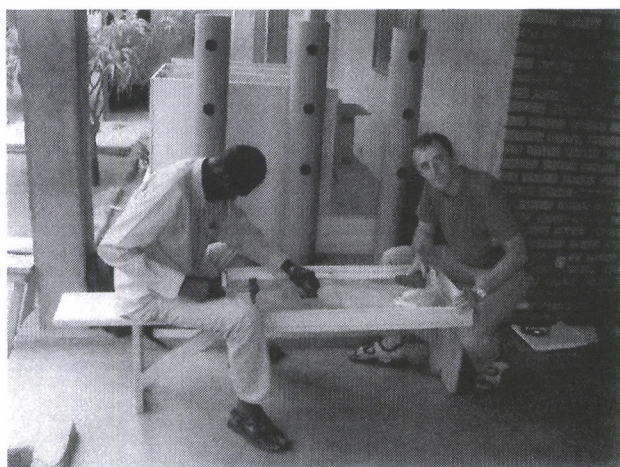
Le suivi de quelques installations permettrait de préciser ces données qui, à ce stade, ne sont qu'indicatives.

7 CONCLUSION / PERSPECTIVES

Le séchoir semi continu à flux traversant à contre courant conçu et testé par le Cirad permet un séchage rapide des produits granulés. Leur qualité est bonne et le rendement énergétique est très élevé. Le fonctionnement semi-continu permet d'assurer un séchage des produits dès leur préparation (cuisson vapeur) sans avoir à les stocker à l'état humide.

La conduite du séchoir est simple et facilement compréhensible par les transformateurs : réglage du débit d'air, réglage de la température de l'air chaud et déplacement des claies. Les deux configurations testées permettent de moduler la capacité du séchoir en fonction de la production de l'entreprise. Son ergonomie permet à tous de l'utiliser.

Avec les quelques améliorations prévues comme le changement de moteur électrique, l'utilisation d'un brûleur de cuisine collective de type « Tripate » et le montage d'une toile filtrante pour protéger le produit d'une contamination par les poussières de l'air ambiant, la diffusion du séchoir peut être lancée. Il devrait intéresser de nombreux transformateurs du Burkina Faso et d'autres pays de la zone ouest africaine.



Annexe 1: Document de demande de soutien financier

La partie budgétaire n'est pas mise dans cette annexe.

Appui-Formation

« Maîtrise du séchage des produits céréaliers »

pour l'Association des Transformateurs de Céréales

du Burkina (ATCB)

Contexte

L'Association des Transformateurs de Céréales du Burkina Faso (ATC/B) est une association créée en mars 2002 dont les membres sont des professionnels reconnus qui ont tous plus de cinq ans d'exercice dans leur secteur d'activité. Entrepreneurs, responsables de très petites, petites et moyennes entreprises ou groupements ils se sont engagés à travers cette association, dans la définition d'une stratégie collective et la mise en œuvre d'actions communes afin de conforter leur existence et assurer le développement de leurs entreprises.

Cette organisation professionnelle qui compte des membres dans différentes régions du pays, souhaite progressivement être présente sur l'ensemble du territoire national. Afin de conforter leur existence, assurer leur développement mais également afin de pouvoir agir plus efficacement, les membres de cette association professionnelle ont pu réaliser au cours de l'année 2003 leur plan stratégique de développement assorti d'un plan d'actions prioritaires. Cette action structurante a pu être conduite avec le soutien technique et financier du projet EIDév.

Depuis 2004, avec le soutien du Projet PADDAB (composante Appui Direct aux Opérateurs Privés) de l'Ambassade du Danemark et du projet EIDév de l'Ambassade de France et de la Chambre de Commerce, l'ATCB met en œuvre un programme de « *Professionnalisation des acteurs de la transformation des céréales au Burkina Faso : Appui aux entreprises et renforcement des capacités de l'ATCB* ». Dans ce cadre l'ATCB a mis en place une plate forme commune d'équipements qui vise notamment à soutenir la formation de ses membres dans les domaines de la maîtrise des procédés, l'utilisation des équipements, l'amélioration de la qualité des produits.

C'est dans ce cadre que l'ATCB a sollicité le Cirad, en complément des formations déjà effectuées, pour réaliser une formation spécifique sur la mise en place et la conduite des séchoirs ventilés pour produits céréaliers.

Problématique

Aujourd'hui l'évolution des pratiques alimentaires, notamment en zone urbaine, conduit à la recherche de nouvelles formes de consommation des céréales. Les "produits roulés" notamment, constituent une des voies de diversification en plein développement.

Les produits roulés sont des granules, fabriqués à partir d'une farine de céréales humidifiées et roulées. Les granules sont ensuite cuisinés de diverses manières pour donner différents plats. Certains de ces plats, comme la bouillie et le "dégué" composés de granules de mil, sont très connus et très répandus dans l'alimentation urbaine. Mais leur élaboration est très contraignante et demande beaucoup de temps. En milieu urbain, les ménagères ne peuvent plus s'adonner à de telles préparations trop longues et pénibles.

Aussi, les transformateurs professionnels se sont mis à fabriquer des produits roulés secs, emballés dans des sachets présentant une qualité d'usage très appréciée. Ils ont aussi créé de nouveaux produits à base de mélanges de céréales ou de légumineuses. Mais pour eux aussi, se pose également d'importants problèmes d'optimisation de la fabrication de ces produits roulés. Leur mode d'élaboration présente encore de nombreuses étapes manuelles très pénibles (c'est le cas du roulage), difficiles à effectuer pour réaliser une production importante et ne permettant pas de répondre à tous les critères de qualité hygiénique, particulièrement pour le séchage.

Parmi les membres de l'ATC/B, nombreux sont ceux qui proposent une large gamme de produits roulés. Il paraît aujourd'hui difficile de mécaniser l'opération manuelle de roulage car aucun équipement à l'échelle artisanale ou semi industriel n'est actuellement disponible.

L'opération de séchage qui suit le roulage et, le cas échéant, la pré-cuisson, est souvent réalisée dans de très mauvaises conditions, particulièrement d'hygiène par contact prolongé avec l'air ambiant. Les transformateurs utilisent des "technologies" ou procèdent de la façon suivante :

- Séchage en air ambiant avec ventilation forcée : les produits sont positionnés sur des tables, sous des ventilateurs. Un brassage régulier permet de réduire les temps de séchage,
- Séchage solaire sur aire bétonnée : équivalent au séchage traditionnel amélioré,
- Séchage en séchoir coquillage : c'est un séchoir solaire de petite capacité, fait de deux coquilles revêtues de peinture noire. Les produits à sécher sont disposés sur une ou deux claies qui se positionnent dans le séchoir,
- Le séchoir de type "Atesta" : c'est un séchoir à claies avec apport de chaleur provenant de la combustion de gaz. Le brûleur est installé au fond d'une enceinte composée, le plus souvent, d'une base maçonnée intégrant le brûleur, d'une enceinte en panneaux de bois recevant les claies et d'une cheminée.

Les séchoirs actuellement disponibles sont des séchoirs de petite capacité assurant une très mauvaise protection contre la pollution issue du proche environnement (poussières, animaux, ...) avec comme impact une altération de la qualité des produits finis. Le séchage direct présente aussi l'inconvénient d'une forte dépendance vis à vis des conditions atmosphériques et induit nécessairement une très forte hétérogénéité des produits obtenus. La plupart des séchoirs actuellement utilisés présentent une mauvaise efficacité thermique (forte consommation d'énergies fossiles).

Au Burkina, des travaux récents (consortium Cirad, Groupe Eier, Tech Dév) sur la filière mangues séchées ont conduit à la mise au point de séchoirs plus adaptés. En particulier, il

a pu être démontré la pertinence de l'intégration de la ventilation forcée dans la phase de séchage. Elle permet d'augmenter la rentabilité de production par une amélioration importante de la qualité des produits finis et par la réduction de la consommation de gaz. Les effets physiques de la ventilation forcée sont les suivants :

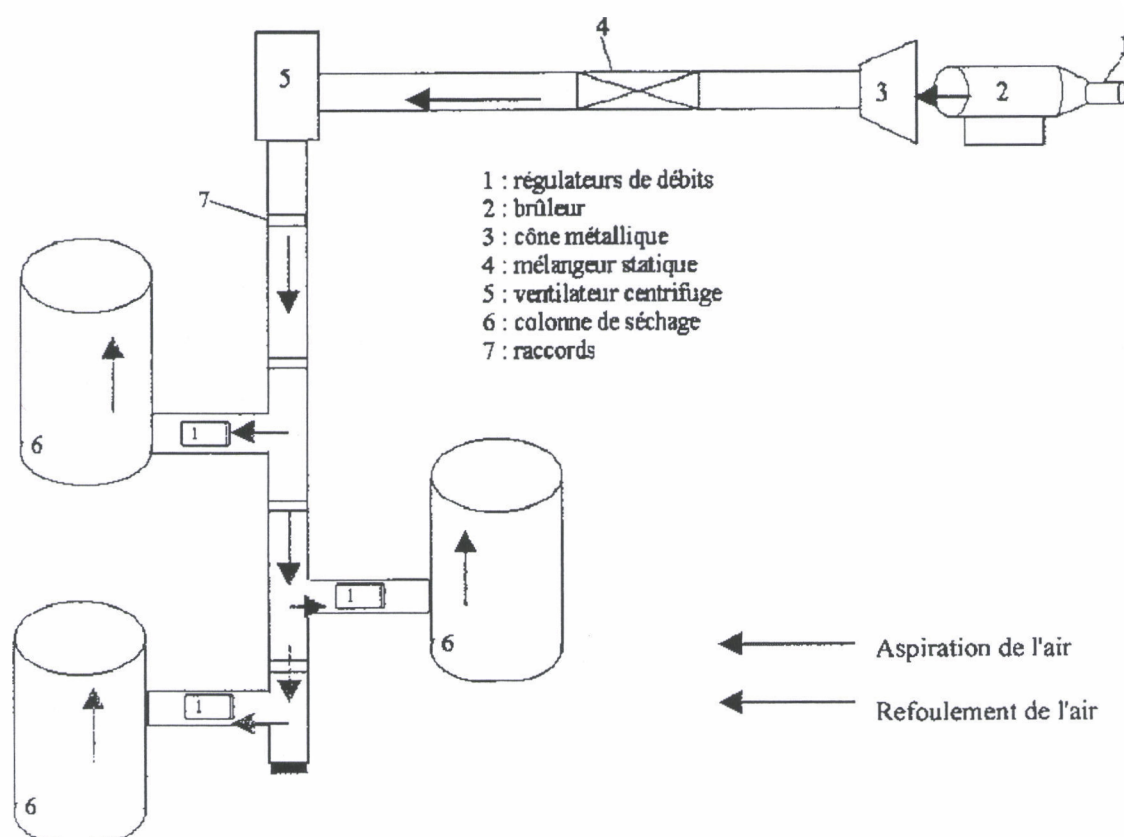
- Amélioration de l'échange de chaleur air / produit,
- Augmentation du rendement thermique,
- Homogénéisation du séchage des différentes claies,
- Réduction du temps de séchage (/ par 2)

Si la mécanisation du roulage doit encore être améliorée afin d'aboutir à des propositions techniques rentables, un principe de séchoir à produits roulés a été testé et validé sur du « couscous arabe » depuis 2000 (Ursule N ; 2000 ; Séchoir artisanal à gaz pour les produits roulés : tests des solutions techniques ; Évaluation des performances ; Rapport de stage de fin d'études de BTS IAA, ITSA La Raque, Castelnau-d'Aud, France).

Le Cirad a fortement contribué à la mise au point de ces équipements et les résultats obtenus permettent de proposer aujourd'hui un transfert de la technologie et son application au séchage des produits roulés burkinabè.

Description de la technologie proposée et présentation de quelques données

Le principe du séchoir est représenté à la figure suivante :



Le séchoir à produits roulés est un séchoir semi-continu à contre-courant, à gaz, à convection forcée et à circuit aéraulique ouvert.

De l'air ambiant passe dans un générateur d'air chaud et ressort à une température de l'ordre de 250°C. Il est mélangé à de l'air ambiant au niveau de la zone d'aspiration du ventilateur. Ce mélange d'air, de température impérativement inférieure à 60°C, est aspiré par le ventilateur puis poussé dans un circuit aéraulique qui sert à le répartir vers différentes embases de séchage. La bonne répartition est garantie par la présence de régulateur de débit d'air entre le circuit de répartition et les embases. Au niveau de chaque embase, l'air passe à travers le produit en le séchant. Après le produit, l'air est rejeté dans l'atmosphère.

Le produit est disposé sur des claies qui servent de support. Un tulle ou une moustiquaire permet de bien manipuler le produit et limite les chutes. Les claies sont disposées sur les embases. On réalise un séchage à contre-courant en approvisionnant périodiquement chaque embase avec une claie de couscous humide disposée sur le haut de la pile. En phase de production, à chaque ajout d'une claie, on enlève la claie du bas où le produit est sec. Sur chaque embase se trouve deux ou trois claies, la plus sèche étant en bas, la plus humide étant en haut.

Les performances mesurées lors des essais sur Montpellier ont démontré un séchage homogène en 1H environ, avec un rendement thermique supérieur à 70%. La configuration testée utilisée une brûleur de 10 kW (consommation de l'ordre de 0.8 kg de gaz par heure), permettant d'enlever 11 kg eau/h. Pour un produit roulé de céréales sans gluten (teneur en eau après roulage et cuisson comprise entre 45 et 48%MH), il est possible d'obtenir environ 14 kg /h de produit sec.

Les composants techniques de ce séchoir sont essentiellement le générateur d'air chaud et le ventilateur. Les générateurs d'air chaud encore appelés "canons à air chaud" sont utilisés pour chauffer les ateliers et autres installations de gros volume. En standard, ils ont des puissances de 10 à 100 kW, comportent toutes les sécurités nécessaires (extinction de flamme, surchauffe, coupure d'électricité), et sont vendus à des prix "raisonnables".

Objectifs de la formation

La présente formation contribuera à une meilleure maîtrise par les transformateurs, d'équipements et procédés appropriés de séchage des produits céréaliers et par conséquence à une meilleure qualité des produits finis mis en marché.

Les objectifs spécifiques de la formation seront les suivants :

- Formation des utilisateurs (entrepreneurs, ouvriers) pour la mise en place et la conduite des séchoirs ventilés ; formation et mise en œuvre de quelques notions de génie des procédés dans le domaine de l'élaboration et le séchage des produits roulés.
- Formation du technicien national mandaté par l'ATCB, qui pourra par la suite accompagner les entrepreneurs dans la mise en place des innovations dans leurs unités.

Déroulement de la formation :

- ✓ Mise en route de l'installation de séchage livré par le Cirad,
- ✓ Formation des utilisateurs à la conduite du séchoir et à des notions de génie des procédés pour ce type de production,
- ✓ Analyse technico-économique,
- ✓ Étude auprès des fabricants locaux des possibilités de diffusion du séchoir,
- ✓ Élaboration d'un rapport,
- ✓ Restitution des résultats lors de deux démonstrations.

Personnes ressources mobilisées :

Sur le Burkina Faso :

- Jean Michel Méot, expert en séchage et équipement de séchage, Cirad Montpellier en mission au Burkina
- Moctar Ouedraogo, technicien ATC/B
- Michel Rivier, Cirad Ouagadougou
- Membres de l'ATC/B

Période proposée pour la formation : du 7 au 17 juin 2005

Annexe 2: Equipements de la configuration préparée à Montpellier.

N.B. : les prix indiqués ci-dessous sont des prix négociés pour un équipement de test susceptible de développer un marché pour les fournisseurs.

Détendeur réglage avec manomètre

Détendeur réglage 0- 300 mbar avec manomètre indicateur, débit 4 kg/h

Marque

Acheté chez UNITECH - Parc d'activité de la Siagne - 06210 MANDELIEU

Prix : 98 €HT

Indicateurs de température

Thermomètre rectangulaire 25x58 mm - 0/120° - bulbe Ø 6x10mm - capillaire L 3000mm

Acheté chez UNITECH - Parc d'activité de la Siagne - 06210 MANDELIEU sous la référence 21842

Prix : 5.30 €HT

Générateur d'air chaud à gaz professionnel

Générateur 12 kW, modèle GA 12

Cet équipement comporte des sécurités extinction de flamme, surchauffe et absence de courant.

Acheté chez THERMOBILE FRANCE

3, rue Denis Papin 45240 La Ferté Saint Aubin

Prix : 223 €HT

Thermostat de sécurité

Thermostat électrique Sécurité unipolaire avec presse étoupe et inverseur 65 - capillaire 900 mm - bulbe Ø 6 x L 70 mm

Acheté chez UNITECH - Parc d'activité de la Siagne - 06210 MANDELIEU sous la référence 23282

Prix : 56 €HT

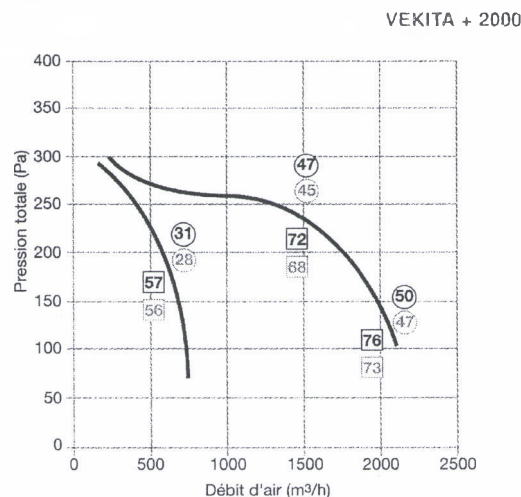
Ventilateur

Ventilateur Vekita +2000

Acheté chez ALDES, ZAC Garosud r Ben Barka 34000 Montpellier

Prix : 316 €HT

Courbe caractéristique jointe ci-dessous.



Régulateurs de débit

Régulateurs de débit d'air diamètre 200 mm

Acheté chez ALDES, ZAC Garosud r Ben Barka 34000 Montpellier

Prix : 25.20 €HT

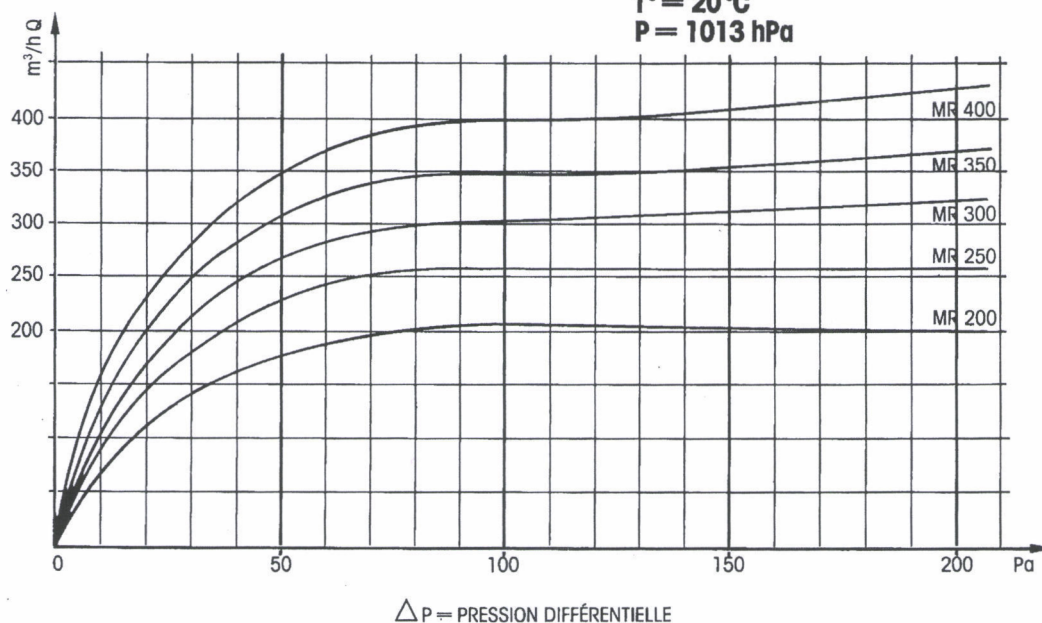
Courbe caractéristique et figures de réglages jointes ci-dessous

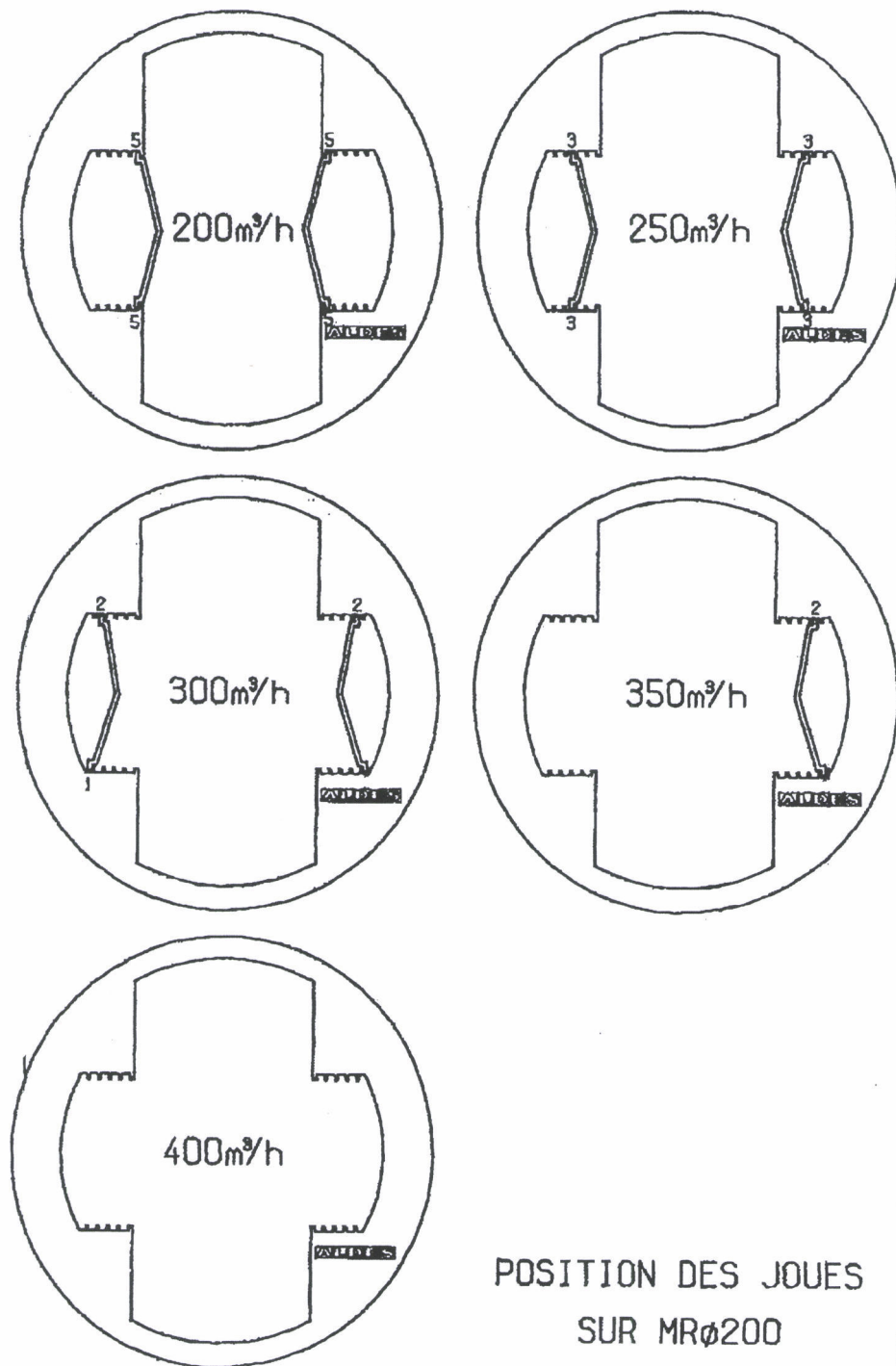
Module de régulation Ø 200 mm.

CARACTÉRISTIQUES AÉRAULIQUES.

$T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$

$P = 1013 \text{ hPa}$





16974

Conduites aérauliques

Différentes conduites aérauliques ont été achetées chez Aldes afin de permettre un montage rapide : coude 90°, réduction, flexible aluminium, brides, bouchons...

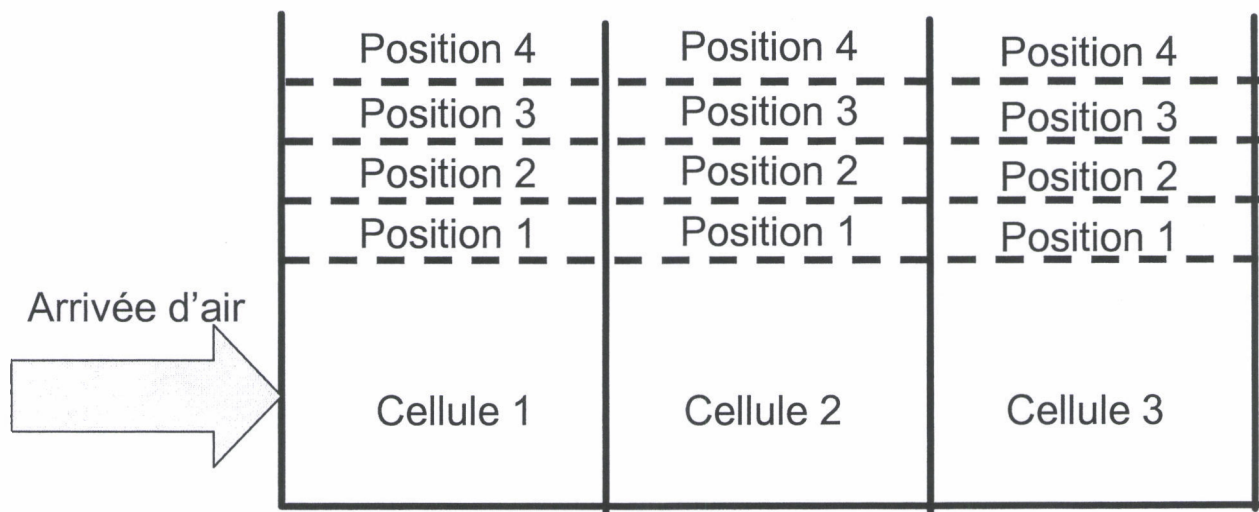
Annexe 3: Essais de la configuration préparée à Montpellier

Dans les pages qui suivent, les trois essais de fonctionnement du séchoir dans la configuration préparée à Montpellier sont présentés.

Par convention, les cellules ont été numérotées de 1 à 3. La cellule 1 est celle située du côté de l'arrivée d'air dans le caisson arrière. La cellule 2 est celle du milieu. La cellule 3 est située à l'opposé de l'arrivée d'air dans le caisson arrière.

Dans chaque cellule, les positions des claies sont repérées de 1 à 4. La position 1 est celle du bas, exposée directement à l'air chaud venant du ventilateur par la gaine arrière. La position 4 est celle du haut de la cellule. Les positions 2 et 3 sont logiquement placées entre la position 1 et la position 4. Dans la pratique, la position 1 est celle où le produit est en finition de séchage voire sur-séchage. En position 2 et 3, le séchage est intense : phase d'évaporation de l'eau libre. C'est en général sur la claie 2 que se produit le passage de cette phase de séchage au ralentissement (transfert interne limitant). Le produit situé sur la claie en position 4 ne sèche normalement pas ou très peu. Il sert à garantir la consommation totale du pouvoir évaporatoire de l'air.

On peut représenter cette convention de notation comme à la figure suivante.



Essai du 14 juin 2005

Le 14 juin, Mme Traore avait choisi de produire du dégué³. Au cours de la matinée, nous avons observé l'organisation de la production. Elle conduit à disposer d'environ 40 kg de dégué toute les 2H30min. En effet, la cuisson à la vapeur en deux temps entrecoupés d'un mouillage et d'une désagglomération est pratiquée par deux lots de produit : pendant qu'on mouille et désagglomère le premier lot, le second est en première cuisson. Ensuite, pendant que le second lot est désaggloméré, la seconde cuisson du premier lot à lieu.

Sur la base d'un débit de l'ordre de 16 kg/h, nous avons choisi de travailler sur deux cellules réglées à 400 m³ d'air /h⁴. Selon nos estimations (cf § 2.2.4), la durée de séchage devait être de l'ordre de 3H. Disposant de quatre claies par cellules, nous avons choisi une charge de claie permettant d'accepter une erreur d'estimation de la durée de séchage de l'ordre d'une heure. Ainsi, la charge par claie devait être de l'ordre de 8 kg. Faute d'une estimation précise du débit, nous avons choisi de charger les claies à 9.250 kg.

L'observation du séchoir fut conduite de 12H à 17H30. Ensuite, le séchoir fut laissé sous la surveillance des personnes de l'entreprise pour finir le séchage des produits. Elles arrêterent le séchage à 22H30.

Les données relevées au cours de l'essai se sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

41.4 kg d'eau furent éliminés avec une consommation de 2.7 kg de gaz en 5H30 (consommation électrique de l'ordre de 2.75 kWh).

Pour un prix de 4000 Fcfa / 12.5 kg de gaz et de 130 Fcfa/kWh électrique, on arrive à un coût énergétique de 29.5 Fcfa/ kg d'eau éliminée. Sachant que pour produire 1 kg de dégué sec, il faut éliminer 1 kg d'eau et que pour produire 1 kg de bouillie sèche, il faut éliminer 0.5 kg d'eau, le coût énergétique du séchage pour la production d'un kg de dégué est de 30 Fcfa et de 15 Fcfa pour produire 1 kg de bouillie.

La consommation d'énergie sur la période d'observation fut de
 $(2.7 \text{ kg gaz} \cdot 45600 \text{ kJ/kg}) + (2.75 \text{ kWh} \cdot 3600 \text{ kJ/kWh}) = 133\,020 \text{ kJ}$.

Le rendement de séchage, en ne tenant compte que de l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau ($L_v = 2250 \text{ kJ/kg}$ eau évaporée) est alors de 70%, valeur équivalente à celle obtenue lors des essais menés sur Montpellier.

Le dégué séché a été jugé de très bonne qualité, notamment avec une absence totale de goût de fermentation. Par contre, la bouillie sèche a été jugée plus friable que celle séchée traditionnellement. Par ailleurs, les grains secs soumis au flux d'air chaud (grains au bas de la couche de produit) avaient pris une teinte marron clair.

³ Le dégué est de la bouillie de petit mil cuite à la vapeur. La bouillie de petit mil est fabriquée à partir de farine. La granulométrie des grains est comprise entre 2 et 4 mm. La bouillie est d'abord passée à la vapeur jusqu'à ce que sa couleur passe du gris clair au marron. Dans les conditions des Ets Tout Super, cette première cuisson dure environ 30 à 35 minutes pour une quantité de produit correspondant à environ 12 kg de farine. Le produit obtenu est séparé à la cuillère en morceaux de 300 ml environ. Ces morceaux sont trempés dans l'eau froide puis désagglomérés à la main. Les granules subissent ensuite une seconde cuisson à la vapeur qui dure environ 25 minutes.

⁴ Débit maximal autorisé par le montage : un seul régulateur de débit par cellule.

La conclusion de l'essai est que le séchoir permet de sécher largement la production « standard » des Ets Tout Super, que ses performances thermiques sont élevées et que le coût énergétique représente environ 3% du prix de vente de la bouillie (1000 Fcfa/kg) et 1.5% de celui de la bouillie (même prix de vente même si cela est surprenant). La qualité du dégué est bonne par contre il y a un problème concernant la bouillie.

Heure	Claies	Température ambiante (°C)	T avant ventilateur (°C)	T après produit (°C)	Reglage détendeur	Poids gaz bouteille (kg)
12:02	Dégué 9.25kg (a) en cellule 1 position 1 Dégué 9.25kg (b) en cellule 2 position 1	Démarrage séchoir			4.5	
12:07		39	56			
12:11					3.5	
12:13			59			
12:18			61	35		
12:22		40	62		3	
12:28		41	60	34		
12:29	Dégué 9.25 kg (c) en cellule 2 position 2					
12:40	Dégué 9.25 kg (d) en cellule 1 position 2	42	60	34		
12:52						18.1
13:05		42	59	36		
13:26		42	59	36		
13:33	Observation: Séchage homogène					
13:36						17.8
13:45	Ouverture orifice cellule 3 à 400 m3/h pour séchage de bouillie					
13:46	Bouillie 9.06kg (e) en cellule 3 position 1					
13:52	Bouillie 9.06kg (f) en cellule 3 position 2					
13:54	Bouillie 9.16 kg (g) en cellule 3 position 3					
13:56		42	58	35		17.8
13:56	Dégué 9.12 kg (h) en cellule 1 position 3					
14:10		42	60	34		17.6
14:20	Enlèvement mélangeur statique				4.5	
14:40			65		4 puis 3	
14:42						17.3
15:14						17.2
15:28		43	62	38	3	
15:37	Dégué 9.15kg (i) en cellule 2 position 3 Dégué 9.06 kg (j) en cellule 1 position 4					
15:53	Cellule 1 position 1 sortie (a): 4.84 kg dégué sec Descente des claies de la cellule 1 C1P1 (d); C1P2 (h); C1P3 (j)					
15:55	Cellule 2 position 1 sortie (b): 4.87 kg dégué sec Descente des claies de la cellule 2 C2P1 (c); C2P2 (i)					
16:00	Dégué 6.85 kg (k) en cellule 1 position 4 C1P1 (d); C1P2 (h); C1P3 (j); C1P4 (k)					

Heure	Claies	Température ambiante (°C)	T avant ventilateur (°C)	T après produit (°C)	Reglage détendeur	Poids gaz bouteille (kg)
16:04	Cellule 3 position 1 sortie (e): 5.82 kg bouillie C3P2 (f); C3P3 (g)					
16:10						16.8
16:27		42	60	38	3	
16:44	Claie dégué transférée de cellule 1 position 4 vers cellule 2 position 3 C1P1 (d); C1P2 (h); C1P3 (j) C2P1 (c); C2P2 (i); C2P2 (k) Descente des claies de la cellule 3 C3P1 (f); C3P2 (g)					
16:52	Dégué 9.30kg (l) en cellule 3 position 3 C3P1 (f); C3P2 (g); C3P3 (l)					
17:02						16.1
17:08		44	58	40		
17:17	<i>Température après ventilateur: 52°C</i>	42	60	40		
17:23	Dégué 8.70 kg (m) en cellule 1 position 4 C1P1 (d); C1P2 (h); C1P3 (j); C1P4 (m)					
17:30	Cellule 3 position 1 sortie (f): 5.78 kg bouillie Descente des claies de la cellule 3 C3P1 (g); C3P2 (l) Dégué 9.00 kg (n) en cellule 3 position 3 C3P1 (g); C3P2 (l); C3P3 (n)					
17:37	Cellule 2 position 1 sortie (c): 4.84 kg dégué Descente des claies de la cellule 2 C2P1 (i); C2P2 (k)					
17:40	Dégué 2.81 kg (o) en cellule 2 position 3 C2P1 (i); C2P2 (k); C2P3 (o)					
17:43						15.7
17:46	Bilan avant de quitter le lieu en laissant le séchoir sous la conduite de l'entreprise C1P1 (d) 4.9kg; C1P2 (h) 4.9kg; C1P3 (j) 6.9kg C1P4 (m) 7.8kg C2P1 (i) 5.9kg; C2P2 (k) 4.9kg; C2P3 (o) 2.9kg C3P1 (g) 6.2kg; C3P2 (l) 8.2kg; C3P3 (n) 8.2kg					

Essai du 15 juin

Les Ets Tout Super sont reconnus pour la qualité de son fonio précuit sec. Pour ce deuxième essai, Mme Traore a souhaité que nous testions l'utilisation du séchoir pour ce produit, même si l'équipement n'était pas conçu pour cela. Lors du même essai, elle a aussi voulu sécher à nouveau de la bouillie de manière à voir si le problème de friabilité n'était pas lié au roulage. Pour cela, elle a demandé aux opératrices de faire attention à obtenir des grains très compacts.

Afin de régler le débit d'air pour le fonio, nous avons disposé du fonio sec sur une claie, elle-même mise dans une cellule du séchoir. Différents réglages du régulateur de débit de la cellule ont été testés. Un débit d'air de 250 m³/h a été retenu.

Les données de l'essai se trouvent au tableau suivant. Elles ne sont pas exploitables pour déterminer un rendement thermique ou un coût.

La qualité du fonio séché a été jugée très bonne. Par contre, les granules de bouillie ont eu les mêmes défauts que lors de l'essai du 13 juin : friables et de couleur marron pour ceux soumis à l'air chaud.

Au bilan, cet essai a permis de vérifier que le séchoir pouvait être utilisé pour sécher simultanément des produits différents et qu'il convient aussi au fonio.

Heure	Claie	Temp. Air ambiant	Temp. Air avt Ventilo.	Temp. Air gaine	Détendeur
10:17	Fonio 7.5 kg (a) cellule 1 position 1 Fonio 7.5 kg (b) cellule 1 position 2 Bouillie 9 kg (c) cellule 3 position 1 Bouillie 7.95 kg (d) cellule 3 position 2				3.5
10:24		28	48	38	4.5
10:29		27	58	42	4.5
10:32		27	52	44	5.5
10:35		27	54	47	7
10:39		27	59	52	7
10:44	Arrêt jusqu'à 12H52				
10:52	Fonio 7.5 kg (e) cellule 2 position 1				3
10:56	Fonio 7.5 kg (f) cellule 2 position 2				
10:59		27	59	52	6
11:00					7
11:01	Bouillie 8.9 kg (g) cellule 3 position 3				
11:06		27	63	56	8
11:11		27	66	59	8.25
11:23	Thermostat coupe; redémarrage				
11:35		28	67	59	8
12:02		29	64	59	8
12:20	Sortie C1P1 (a) 5.4 kg C1P1 (rien); C1P2 (b)				

Heure	Claie	Temp. Air ambiant	Temp. Air avt Ventilo.	Temp. Air gaine	Détendeur
12:24		30	63	59	8
12:25	Sortie C3P1 (c) 5.7 kg Descente des claies cellule 3 C3P1 (d); C3P2 (g) Ajout bouillie 8.7 kg (h) cellule 3 position 3 C3P1 (d); C3P2 (g); C3P3 (h)				8.5
12:38		30	62	56	8
12:45	Descente des claies cellule 1 C1P1 (d); Ajout d'une claie non pesée en cellule 1 Sortie C2P1 (e): 5.1 kg puis descente claies C2P1 (f) Ajout d'une claie non pesée en cellule 2				
13:09		30	58	52	8
13:27		30	50	47	8
13:28	Changement bouteille de gaz				6
13:54		32	65	58	6
14:20	Sortie C2P1 (f): 5.4 kg				
14:42	Sortie C1P1 (d): 5.3 kg				

Démonstration formation du 17 juin

La journée du 17 juin, a été consacrée à une démonstration – formation pour les membres de l'ATC/B. En accord avec Mme Traore, il avait été décidé de travailler sur deux cellules en fonio et sur la troisième en dégué. Devant une assistance nombreuse et intéressée, nous avons réalisé les séchages dont les données sont regroupées au tableau ci-dessous. Un soin particulier a été apporté à la détermination des temps de séchage.

Il s'avère que le fonio et le dégué ont des temps de séchage de l'ordre de 3 heures en fonctionnement continu.

L'assistance semble avoir bien compris le fonctionnement du séchoir. La formation reçue au cours des deux essais précédents par Moctar Ouedraogo, technicien chargé de l'animation et du suivi technique de l'ATC/B a pu être vérifiée : il a assuré des explications correctes sur le principe du séchoir, ses organes et sa conduite. Il est apte à faire des formations et à conduire des essais.

Heure	Claies	Temp. Air ambiant	Hum. Air ambiant (%)	Temp. avt ventil	Temp. ap. ventil	Temp. bas cel. 1	Réglage détendeur	Poids Bouteil- le gaz
09:30	Mise en route Fonio 5.5 kg (a) en C1P1 Fonio 5.5 kg (b) en C1P2 Fonio 5.5 kg (c) en C2P1 Fonio 5.5 kg (d) en C2P2							
09:34		33		66	58		6.5	
09:35	Fonio 5.5kg (e) en C1P3							
09:38		38		68	59		6	
09:40	Fonio 5.037kg (f) en C2P3							
09:42		32.6	52					23
09:47				69	60	57	6	
09:50	Arret du brûleur et remise en route avec réduction pression de gaz						5.5	
10:05		33.3	50	68	60	57	5	
10:18	Dégué 5.7 kg (g) en C3P1 Dégué 5.7 kg (h) en C3P2							
10:20				68	59	57		
10:39		34			59	57	5	
10:44	Dégué 5.7 kg (i) en C3P3							
10:50	Dégué 5.7 kg (j) en C3P4							
11:00		34	50	67	59	57		
11:23	Arret du brûleur et remise en route avec réduction pression de gaz						4.5	
11:25	Pesée C3P2 (h): 4.03 kg							
11:30	Sortie C1P1 (a): 4.1 kg Descente des claies cellule 1 =>C1P1 (b); C1P2 (e)							
11:32	Sortie C2P1 (c): 4.089 kg Descente des claies cellule 2 =>C2P1(d); C2P2 (f)							
11:35	Sortie C2P1 (d): 4.089 kg Descente claie cellule 2 =>C2P1 (f)							
11:45		35.6	45	66	60	58	4.5	
11:55	Sortie C1P1 (b): 4.158 kg Descente claie cellule 1 =>C1P1 (e)							

Heure	Claies	Temp. Air ambiant	Hum. Air ambiant (%)	Temp. avt ventil	Temp. ap. ventil	Temp. bas cel. 1	Réglage Déten- deur	Poids bouteille gaz
12:00	Pesée C3P1 (g): 3.243 kg							
12:12		36		66	60	58	4.5	
12:15	Sortie C3P1 (g): 2.981 kg Descente claies cellule 3 =>C3P1 (h); C3P2 (i); C3P3 (j) Dégué 5.7 kg (k) en C3P4 =>C3P1 (h); C3P2 (i); C3P3 (j); C3P4 (k)							
12:35	Sortie C1P1 (e): 4.22 kg =>Cellule 1 vide Sortie C2P1 (f): 3.765 kg =>cellule 2 vide							
12:37		37		68	61		4.5	
12:40	Sortie C3P1 (h): 3.11 kg Pesée (i): 3.632 kg Descente claies cellule 3 =>C3P1 (i); C3P2 (j); C3P3 (k)							
12:50								
12:55	Arrêt du brûleur et remise en route avec réduction pression de gaz						4.2	
13:00	Sortie C3P1 (i): 3.441 kg Descente claies cellule 3 => C3P1 (j); C3P2 (k)							
13:08								
13:10	Fermeture de la cellule 2							
13:20								21.1
13:25		37		68	60	57	4.2	
13:42		36.5	45	70	61	60	4	
13:43	Sortie C3P1 (j): 3.427 kg Descente claie cellule 3 => C3P2 (j)							
14:05		35.7	47					20.7
14:10	Pesée C3P1 (k): 3.798 kg							
Séchoir laissé aux opérateurs								

Annexe 4: essai de la configuration à base d'équipements locaux

L'essai a été réalisé le 24 juin et la transformatrice a souhaité sécher du fonio le jour de l'essai. Pour cet essai, nous avons choisi de charger les claies de 5,7 kg de fonio humide pré cuit et de fixer la température de l'air chaud à 65 °C qui est la valeur maximale recommandée. Le débit d'air était entre 800 et 1000 m³/h correspondant à une position de la vanne de réglage de débit d'air de 20.

Données relevées durant l'essai :

- Durée de l'essai 4 h
- Quantité de fonio humide : 76 kg
- Quantité de fonio sec : 57 kg
- Consommation de gaz : 1,8 kg
- Puissance électrique consommée par le ventilateur : 725 W
- Puissance électrique consommée par le brûleur et le ventilateur : 900 W

Cet essai montre :

- que la durée moyenne de séchage d'une claie est de 3 heures pour les claies qui sont dans un cycle normal de permutation (claie 3 et +) et que cette durée est plus réduite pour les deux premières claies (de 1 h 30 à 2 h 30).
- la saturation de l'air à la sortie du séchoir est très satisfaisante (de l'ordre de 90 %) ce qui permet d'avoir une bonne efficacité thermique du séchoir.
- une bonne stabilité de la température de l'air chaud.
- le séchage est un peu trop poussé car l'humidité du fonio sec est de 7,3 %, il aurait fallu sortir les claies un peu plus vite.

Cet essai correspond à un débit de fonio sec de 15 kg/h.

Malgré la bonne saturation de l'air sortant du séchoir, le rendement thermique de cet essai n'est que de 55 %. Ceci s'explique par la fin du séchage durant la dernière demie heure, il n'y avait qu'une seule claie par cellule, l'air sort du séchoir chaud et sec (à 13 h 52, il sort de la cellule 2 à 48 °C et 28 % d'humidité). Ces mesures n'apparaissent pas sur le graphe car la cellule 1 a été rechargée avec une claie de couscous de riz humide.

Il est donc important d'arrêter le séchoir (ou au moins le brûleur) quand il n'y a plus qu'une ou deux claies par cellule. Le produit restant dans ces claies qui est à une humidité de 20 ou 25 % sera alors séché le lendemain.

Essai du 24 juin 2005
chez Me Traoré, fonio

- x— Temp. Air ambiant
- ♦— Temp. air sous claie Cel. 1
- x— Delta P ventilateur mm CE
- ♦— Détendeur
- △— Hum. Air dessus (%)
- +— Temp. air gaine
- +— Temp. Air dessus Cel 1
- *— Position vanne
- ♦— Hum. Air ambiant (%)

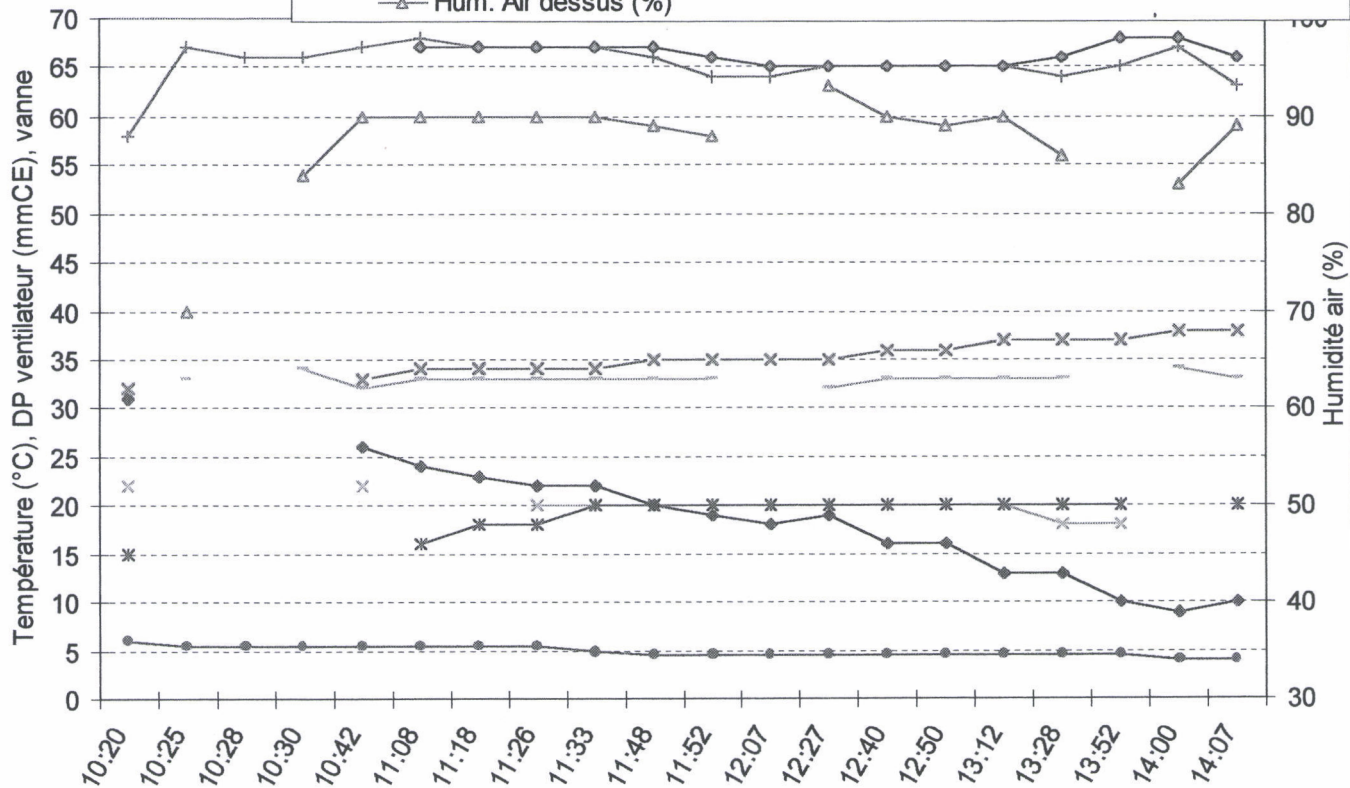


Fig. : Relevé des paramètres physiques de l'essai de séchage du 24 juin

Heure	Temp. Air ambiant	Hum. Air ambiant (%)	Temp. air gaine	Temp. air sous claie Cel. 1	Temp. Air dessus Cel 1	Hum. Air dessus (%)	Delta P ventilateur mm CE	Position vanne	Réglage détendeur	Bouteille gaz (kg)
10:18	Mise en route									19.6
10:20	32	61	58				22	15	6	
10:25			67		33	70			5.5	
10:28			66						5.5	
10:30			66		34	84			5.5	
10:42	33	56	67		32	90	22		5.5	
11:08	34	54	68	67	33	90		16	5.5	
11:18	34	53	67	67	33	90		18	5.5	
11:26	34	52	67	67	33	90	20	18	5.5	
11:33	34	52	67	67	33	90	20	20	5	
11:48	35	50	66	67	33	89		20	4.5	
11:52	35	49	64	66	33	88	20	20	4.5	
12:07	35	48	64	65			20	20	4.5	
12:27	35	49	65	65	32	93	20	20	4.5	
12:40	36	46	65	65	33	90	20	20	4.5	
12:50	36	46	65	65	33	89	20	20	4.5	
13:12	37	43	65	65	33	90	20	20	4.5	
13:28	37	43	64	66	33	86	18	20	4.5	
13:52	37	40	65	68			18	20	4.5	
14:00	38	39	67	68	34	83			4	
14:07	38	40	63	66	33	89		20	4	
14:07	Fin d'essai									17.8

Le relevé ci-dessus montre une bonne stabilité des températures d'air chaud corrélées avec une baisse de la pression de gaz qui doit être réduite au cours de la journée car l'air ambiant est de plus en plus chaud sur la durée de l'essai.

24-juin	Cel 1, fonio	Cel 1, fonio	Cel 1, fonio	Cel 1, fonio	Cel 1, fonio	Cel 2, fonio	Cel 2, fonio	Cel 2, fonio	Cel 2, fonio	Cel 2, couscous	Cel 3, fonio	Cel 3, fonio	Cel 3, fonio	Cel 3, fonio	Cel 3, fonio
Claie	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)
10:18	5.7	5.7	5.7			5.4	5.7				5.7	5.7			
10:22								5.7					5.7		
10:30				5.7					5.7					5.7	
11:52	4.23					3.978					4.213				
11:57															2.4
12:07					5.7										
12:25		4.27													
12:39							4.3					4.27			
12:53			4.3												
13:22													4.276		
13:43								4.313							
13:45				4.288											
14:03														4.16	
14:07									4.325						
14:10					4.295										1.795
Durée séchage	01:34	02:07	02:35	02:23	02:03	01:34	02:21	03:21	03:37		02:21	02:21	03:00	03:33	02:03
Quantité d'eau	1.54	1.43	1.40	1.41	1.41	1.42	1.40	1.39	1.38		1.49	1.43	1.42	1.54	0.61
Hum initiale est. (%MH)***	30.2	30.4	30.3	29.9	30.2	30.7	29.9	29.6	29.7		30.4	30.4	29.5	31.5	31.4
Humidité finale (%MH)	5.9*	7.1*	7.6	6.9	7.4**	5.9*	7.1*	7.0	7.4**		5.9*	7.1*	6.1	6.1	8.3**

*Mesure d'humidité réalisée sur le mélange des produits issus des premières claies (a, f, k) et sur le mélange des produits issus des deuxième claies (b, g, l).

**Valeurs non mesurées, seulement estimées.

*** la teneur en eau initiale est estimée à partir de l'humidité des produits secs et de la perte en eau mesurée lors du suivi de séchage.

Annexe 5: Procédure d'utilisation du séchoir à flux traversant

Mise en route

- avant de démarrer le séchoir, il faut s'assurer qu'une quantité suffisante de produit est prête pour le séchage,
- régler la position de la vanne de réglage de débit d'air en fonction du produit à sécher,
 - vanne complètement ouverte (position 24) pour le dégué, la bouillie ou tout produit d'une taille égale ou supérieure,
 - vanne en position 20 pour le fonio ou tout produit d'une taille équivalente,
 - vanne en position 15 pour le couscous de riz (position à confirmer),
- charger deux claies par cellule et les placer en position 1 et 2,
 - pour le fonio, 6 kg de fonio humide par claie
 - pour le dégué ou la bouillie, 9 kg de produit humide par claie
- mettre en route le ventilateur,
- mettre en route le brûleur (détendeur en position 4) puis au bout de quelques minutes vérifier la température de l'air chaud dans la gaine et ajuster la position du détendeur. Le niveau de température recommandé est entre 50 et 60 °C. Plus la température de l'air est élevée, plus le séchage est rapide et la capacité du séchoir importante.
- poursuivre le chargement des claies en position 3 et 4 pour chaque cellule.
- surveiller le séchage de la claie en position 1.

Déplacement des claies

- surveiller le degré de séchage de la claie en position 1
- quand le produit de la claie en position 1 est sec, il faut retirer la claie,
- retirer la claie en position 2, brasser le produit et remettre la claie en position 1,
- procéder de même pour les deux autres claies mais sans brasser le produit,
- recharger la claie libre et la mettre en position 4.

Annexe 6: Evaluation du coût de revient

Prix d'achat de l'équipement	$PR = Pd + Pa + Pt$		800 000 F
Prix départ de l'équipement	Pd	700 000 F	
Prix accessoires (moteur, etc.)	Pa		
Coût de mise à disposition (transport, montage, taxes, intermédiaires...)	Pt	100 000 F	
Caractéristiques de la machine			
Puissance moteur	P	1.1 kW	
Consommation horaire électrique	Puis.	0.725 kW	
	Cons		
Consommation journalière de gaz		4 kg/j	
Capacité théorique	Dth	100 à 200 kg/j	
Capacité pour une journée de travail	Dréel	120 kg/j	
Nombre de personnes nécessaires pour la conduite	Nbre.m	1	
Nombre d'heures d'utilisation de l'équipement	$Nv = D.vie * D.an * Nh/j * Dis.m * Coef.ut$		3 326 h
Nbre de jours d'utilisation de l'équipement			475 jours
Durée de vie de l'équipement	D.vie	6 ans	
Durée de la campagne d'utilisation de la machine	D.an	110 j	
Nombre d'heures d'utilisation par jour	Nh/j	7 h	
Disponibilité de la machine	Disp.m	90%	
Coefficient d'utilisation (clients, personnels, jours fériés)	Coef.ut	80%	
Nombre d'heures réelles d'utilisation par an		554 h	
Paramètres économiques			
Facteur de réparation	F.rép	0.6	
Prix de l'électricité	Coût.kWh	130 F/kWh	
	h		
Prix du gaz		333 F/kg	
Coût journalier du conducteur de la machine	Coût.m	700 F/j	
Tonnage annuel traité par la machine			10 t/an
Calcul du coût d'utilisation journalier de la machine			5 498 F/h
Charges fixes			
Amortissement	$A = PR / Nv$	1 684 F	31%
Réparations pièces et main d'œuvre	$R = A * F.rép$	1 010 F	18%
Assurances et remisage	$A * 2 \%$	34 F	1%
Charges proportionnelles			
Coût de l'électricité	$Puis.cons * Coût.kWh$	660 F	12%
Coût du gaz		1 333 F	24%
Conduite personnel	$Coût.m * Nbre.m / (Disp.m)$	778 F	14%
			100%
Calcul du coût d'utilisation de l'équipement par kg de produit séché			45.8 F/kg

Titre

Séchoir Cirad à produits granulés : Installation et mise en production au Burkina Faso et formations des utilisateurs

Compte rendu de mission de JM Méot et C Marouzé,

Juin 2005

Résumé

A partir de travaux réalisés en interne au Cirad au cours des années précédentes, un séchoir à produits roulés a été conçu pour répondre à la demande de l'Association des Transformateurs de Céréales du Burkina Faso (ATCB).

Deux configurations ont été préparées. La première utilisait des pièces sélectionnées et achetées en France puis expédiées. La seconde visait une fabrication locale de tous les composants à partir de l'expérience du Cirad. La structure du séchoir a été construite localement sous la supervision de M Rivier.

Pendant la mission, le séchoir a été installé dans l'entreprise "Tout Super". Les deux configurations ont été testées avec succès. Ses performances ont été validées dont un rendement thermique de l'ordre de 70%. Le séchoir a été présenté aux membres de l'ATCB qui ont reçu une formation à son utilisation.

Désormais, ce séchoir peut être diffusé auprès des transformateurs de l'ATC/B, des transformateurs burkinabè et de la sous-région.

Mots clefs

Séchoir ; Couscous ; Produits roulés ; Burkina Faso ; Équipement