

ÉVALUATION DES PERFORMANCES D'UN SÉCHOIR HYBRIDE POUR LE SÉCHAGE DE YÊKÈ-YÊKÈ (COUSCOUS DE MAÏS) ET DE GAMBARI-LIFIN (FARINE RAFFINÉE DE MAÏS) AU BENIN

Paul A. F. HOUSSOU^{1*}, Nestor R. AHOYO ADJOVI²,
Agossou HOUNYEVOU KLOTOE¹, Valère DANSOU¹,
Hermine DJIVOH¹, Abel B. HOTEJNI¹, Robert METOHOUE³,
Noël H. AKISSOE⁴ et Guy A. MENSAH¹

¹*Programme Technologies Agricole Alimentaire, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 01 BP 128 Porto-Novo, République du Bénin*

²*Direction Scientifique de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 01 BP 128 Porto-Novo, République du Bénin*

³*Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquées (DANA), Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la pêche, 01BP 295 Porto-Novo, République du Bénin*

⁴*Département de Nutrition et Sciences Alimentaires, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Recette Principale Cotonou, République du Bénin*

* Correspondance, e-mail : houssou02@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le *yêkè-yêkè* et le *gambari-lifin* sont des produits très appréciés par les béninois. Après production, le *yêkè-yêkè* et le *gambari-lifin* sont séchés en vue de leur conservation. Cette étude a porté sur l'évaluation de performance de deux modes de fonctionnement d'un séchoir hybride pour le séchage de *yêkè-yêkè* et de *gambari-lifin*. Il s'agit de mode 'tout solaire' (1) et le mode 'solaire + gaz combustible' (2). Les paramètres de la cinétique de séchage (durée de séchage, évolution de la température de séchage et réduction du taux d'humidité du produit) ont été évalués ainsi que le coût lié à l'utilisation de chaque mode de séchage. Les essais ont été effectués au Sud Bénin en saison sèche. Les résultats obtenus montrent que le séchage de 48 kg des produits jusqu'à une teneur en eau de 10 % avec mode de séchage 1 est plus long à savoir 2 jours (10 hrs/jour) pour le *yêkè-yêkè* et la même durée pour le *gambari-lifin* ; alors que pour le séchage avec le mode 2, la durée de séchage est d'une journée (10 hrs) pour chacun des deux produits. Lors du séchage avec le mode 1, il y a eu variation considérable de la température à l'intérieur du séchoir allant de 24°C au début (le matin à partir de 9 h) à 49,5°C à midi pour

redescendre à 26,2°C dans la soirée vers 19 hrs. Avec le mode 2, la variation de température est relativement faible entre 40°C et 51,60°C.

Mots-clés : *séchage, yêkè-yêkè, gambari-lifin, séchoir, gaz combustible.*

ABSTRACT

Assessment of the performances of a hybrid drier for the drying of *yêkè-yêkè* (couscous of corn) and of *gambari-lifin* (refined flour of corn) to Benin

The *yêkè-yêkè* and *gambari-lifin* are products very appreciated by the Beninese. After production, the *yêkè-yêkè* and the *gambari-lifin* are dried in view of their good conservation. This study was conducted to assess the performance of two modes of use of hybrid drier. These modes are: '*only solar drying*' (*mode 1*) and '*solar drying + use of combustible gas*' (*mode 2*). The drying parameters (length of the drying, evolution of the drying temperature and reduction of the rate of humidity of the product) were assessed as well as the cost associated to the use of each mode. The tests were done in south Benin during dry season. The results obtained show that the drying of 48 kg of the products until water content fall to 10 % with the mode 1 is longer that is 2 days of the drying (10 hrs/day for the *yêkè-yêkè* and also the same length of drying for the *gambari-lifin*, whereas for the drying with mode 2, the duration of drying was one day (10hrs) for each of the two products. During the drying with the mode 1, there was considerable variation of the temperature inside drier starting from 24°C (in the morning at 9 o'clock) to 49.5°C at 12 o'clock and fall down to 26.2°C in afternoon around 7 o'clock. Whereas with the mode 2, the variation of temperature was relatively low, between 40°C and 51.60°C.

Keywords : *solar, drying, gas combustible, yêkè-yêkè, gambari-lifin.*

I - INTRODUCTION

Le séchage est une opération ayant pour but d'éliminer l'eau d'un corps humide par évaporation [1]. C'est l'un des procédés les plus anciens utilisés pour la conservation des aliments qui permet de les stabiliser. Pour les aliments déshydratés, du fait de la faible activité de l'eau, les microorganismes ne peuvent pas proliférer et la plupart des réactions chimiques et enzymatiques de détérioration sont ralenties [2]. Le couscous de maïs appelé *yêkè-yêkè* et le *gambari-lifin* sont deux produits issus de la transformation du maïs au Bénin, et qui font aujourd'hui l'objet d'amélioration sur les plans technologique et qualité de produit. Ainsi l'étape de séchage constitue la dernière opération

avant le conditionnement qui a un impact sur la qualité de *yèkè-yèkè* et de *gambari-lifin* [3, 4]. Cette opération constitue l'un des points critiques sur lesquelles les actions de recherche méritent d'être conduites en vue d'aboutir à des produits de bonne qualité hygiénique ayant une durée de conservation raisonnable (au moins 1 an). Initialement le *gambari-lifin* tel que produit par les transformatrices est séché sur les nattes à même le sol ce qui expose cette farine à toutes sortes de contaminations environnementales [5]. Dans ces conditions, les actions d'amélioration de ce mode séchage est donc plus que nécessaire. Pour le *yèkè-yèkè*, c'est souvent consommé frais. La forme séchée pour la conservation constitue une innovation, mais pour laquelle un type de séchoir approprié est nécessaire pour les petites et moyennes entreprises locales [6]. C'est dans ce contexte qu'un séchoir hybride a été mis au point par la recherche Agronomique du Bénin à travers le Programme Technologies Agricole et Alimentaire (PTAA). Cette étude s'est focalisée essentiellement sur les performances techniques de ce séchoir pour le séchage de *gambari-lifin* et de *yèkè-yèkè*.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Matériel

II-1-1. Matériel végétal

Le *gambari-lifin* et le *yèkè-yèkè* utilisés pour le séchage ont été produits suivant le diagramme technologique amélioré en utilisant le maïs blanc de variété farineuse variété «DMR-W. ESR» [3, 4]. Trois types de *yèkè-yèkè* ont été produits puis séchés. Il s'agit de *yèkè-yèkè* enrichi à 20 % au niébé, *yèkè-yèkè* enrichi à 20 % au voandzou et le *yèkè-yèkè* enrichi à 20 % au soja [4].

II-1-2. Equipements utilisés

Le principal équipement utilisé est le séchoir hybride (*Figures 1a, b*) qui fonctionne suivant deux modes : Il s'agit de mode 'tout solaire' (1) et le mode 'solaire + gaz combustible' (2).



Figure 1a : Séchoir hybride vu d'un côté



Figure1b : Séchoir hybride contenant la farine

II-1-3. Caractéristique et Principe de fonctionnement du séchoir

Ce séchoir hybride comporte 8 modules de séchage tous couverts chacun par de plexiglas. Chaque module contient 2 plateaux en tôle galvanisée de dimensions 1,3 m sur 0,70 m. Chaque plateau peut contenir jusqu'à 10 kg de farine étalée en couche mince. Le séchoir est doté de 2 panneaux et d'une batterie d'accumulation d'énergie électrique. Cette chaleur est envoyée et éparpillée dans le séchoir grâce à 4 ventilateurs qui tournent lorsque le séchoir est en marche. Le séchoir utilise également le gaz relié par un raccord à un bruleur qui lorsqu'on l'allume fournit de la chaleur qui est diffusée dans le séchoir grâce aux ventilateurs.

- Autres caractéristique du séchoir hybride
 - Ventilation forcée avec quatre ventilateurs de voiture totalisant 40 w de puissance électrique consommé : 1100 m³ / hrs en moyenne ;
 - Chambre de séchage : 11,4 m² de surface avec dimensions longueur=12 m, largeur = 1,3 m et de hauteur = 0,3 m soit 4,68 m³ de volume ;
 - Chambre de séchage couverte en plexiglace.
- Performances du séchoir hybride ;
 - Capacité de séchage : 60 kg à 160 kg ;
 - Temps de séchage au sud Bénin : 6 h à 48 hrs en fonction du produit à sécher et la quantité.

II-2. Lieux d'expérimentation

Les essais de séchage ont eu lieu à Porto-Novo, au sud du Bénin pendant le mois de février 2015. Porto-Novo est une ville située dans une zone agro-écologique humide où l'humidité relative de l'air est en moyenne de 90% et la température varie entre 25 et 28°C rarement atteint 40°C en saison sèche.

II-3. Méthodes

Deux types de séchage ont été expérimentés. Il s'agit de mode 'tout solaire' (mode 1) et le mode 'Solaire + gaz combustible' (mode 2). Pour chaque essai de séchage, 48 kg de produits ont été séchés répartis dans les 16 plateaux à raison de 3 kg de produit étalés en couche mince par plateau. Le séchage a démarré à 9h pour prendre fin à 19 h. Au cours du séchage, les données telles que la température et le taux d'humidité ont été prises du début du séchage jusqu'à la fin du séchage et cela à intervalles régulières d'une heure.

II-3-1. Détermination de la température

La température a été prise à intervalle d'une heure depuis le début du séchage jusqu'à la fin. Les températures à l'intérieur ont été prises aux deux extrêmes et au milieu du séchoir à l'aide d'un thermomètre infrarouge (*Brannan, High Temperature InfraRed Thermoter -50.0 to 550°C*).

II-3-2. Détermination du taux d'humidité

Les quantités de 100 g des produits séchés ont été prélevées à intervalles d'une heure du début jusqu'à la fin du séchage. A chaque prise, les échantillons ont été prélevés aux deux extrémités et au milieu du séchoir. La teneur en eau de ces échantillons a été déterminée par la méthode AOAC [7].

II-3-3. Analyses statistiques

Les données collectées ont été traitées avec le logiciel Microsoft Excel pour le calcul des moyennes et des écart-types. A partir des moyennes calculées, une analyse de variante a été effectuée à l'aide du logiciel SPSS.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Cinétique de séchage de *yèkè-yèkè* et de *gambari-lifin* avec le séchoir hybride

Le séchage comporte trois phases. La première phase au cours de laquelle le produit à sécher cherche à équilibrer sa température avec l'humidité de l'air entrant, en ce moment la perte d'humidité du produit est lente ; la seconde phase où l'équilibre entre l'humidité de l'air et du produit est établie et l'eau libre contenue dans le produit s'évapore et enfin la troisième phase caractérisée par l'évaporation d'une partie de l'eau liée contenue dans le produit [8]. Dans le cas de cette étude, le séchage de *yèkè-yèkè* avec le séchoir hybride en mode

‘tout solaire’ (1) est plus lent et prend plus d’une journée que le séchage de la même quantité de produit en mode ‘Solaire + gaz combustible’ (2). En une journée de 10 hrs de séchage, le séchoir en mode tout solaire sèche les 48 kg à 34 % de teneur en eau de *yèkè-yèkè* jusqu’à une teneur de 13 % tandis que la même quantité est séchée jusqu’à une teneur en eau de 10 % pendant la même période (*Figures 2 et 3*). Aucune différence significative n’est observée ($P > 0,05$) par rapport à la cinétique de séchage des trois types de *yèkè-yèkè*.

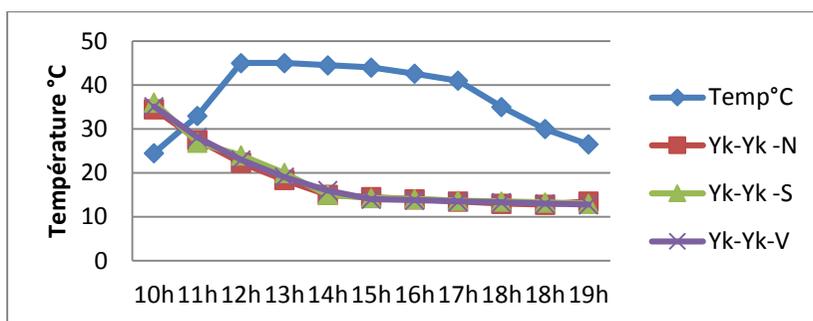


Figure 2 : Evolution du séchage de *yèkè-yèkè* en fonction de la température de séchage en mode ‘tout solaire’(1)

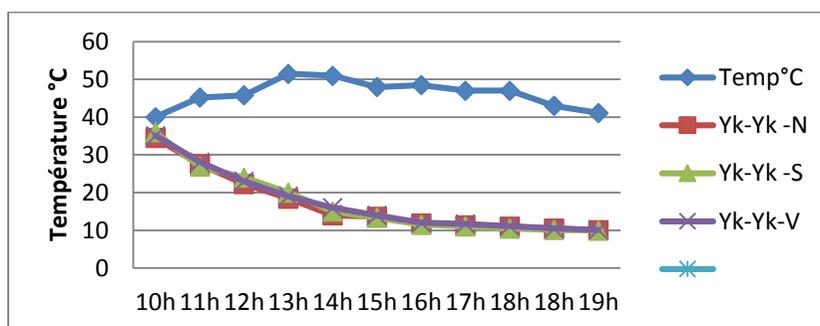


Figure 3 : Evolution du séchage de *yèkè-yèkè* en fonction de la température de séchage en mode ‘Solaire + gaz combustible’(2)

Le séchage de *yèkè-yèkè* en mode (2) est plus rapide à cause de l’énergie d’appoint qui est le gaz qui brûle sous forme de feu qui non seulement fait augmenter la température au niveau des plateaux de séchage mais aussi ne permet pas une grande fluctuation de cette température. Par contre il a été observé une fluctuation importante de température pour le mode ‘tout solaire’ qui ne permet pas de finir le séchage des 48 kg avant la fin de la journée. Ce qui nécessite la poursuite du séchage le lendemain s’il fait soleil. Dans le cas contraire, le risque que le *yèkè-yèkè* commence à se fermenter est élevé. Par contre ce risque est moindre quand le *yèkè-yèkè* est séché avec le mode 2

(‘Solaire + gaz combustible’) ; le *yêkè-yêkè* non fermenté étant le produit le plus apprécié par les consommateurs. Pour le *gambari-lifin*, la tendance est presque la même. Avec le mode 1 (tout solaire), les 48 kg de farine n’ont pas pu être séchés dans la même journée. Après 10 hrs de séchage, la teneur en eau est passée de 36 % à 14,4 % (**Figure 4**) ce qui nécessite la poursuite du séchage le lendemain. Par contre le séchage avec le mode 2 (solaire plus gaz) la farine a été séchée jusqu’à une teneur en eau moyenne de 12 % (**Figure 5**).

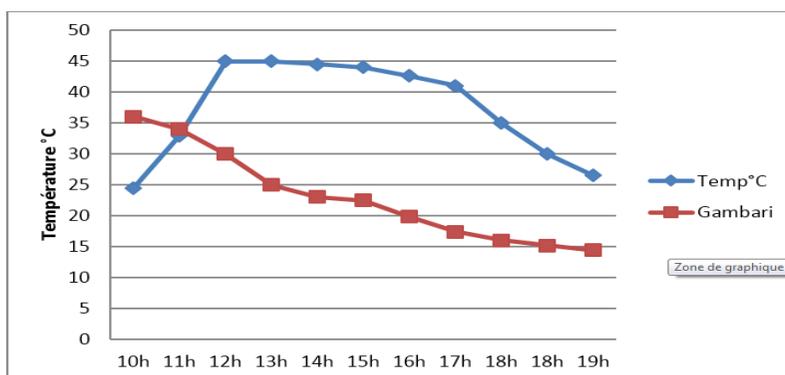


Figure 4 : Evolution du séchage de gambari-lifin en fonction de la température de séchage en mode ‘tout solaire’(1)

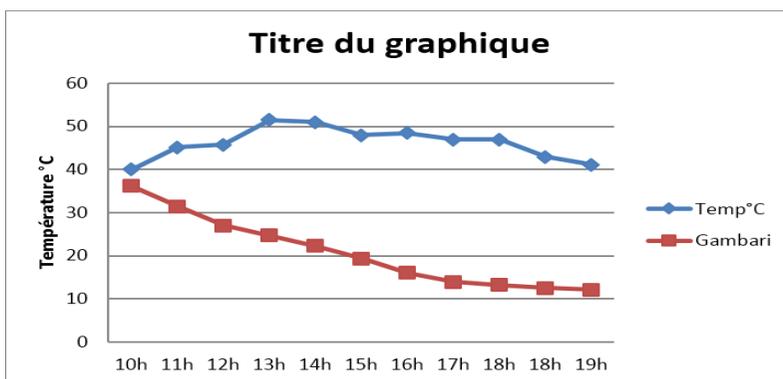


Figure 5 : Evolution du séchage de gambari-lifin en fonction de la température de séchage en mode ‘Solaire + gaz combustible’(2)

La variation de température demeure la même comme dans le cas du séchage de *yêkè-yêkè*. Ces résultats obtenus au cours du séchage solaire de *yêkè-yêkè* et de *gambari-lifin* sont sensiblement proches de ceux trouvés par [8] lors de ses travaux sur l’utilisation d’énergies renouvelables pour améliorer la qualité des produits agroalimentaires séchés au Burkina-Faso. Cet auteur a séché pendant 18 hrs environ à une température de 50°C le couscous à base de sorgho.

III-2. Distribution de la chaleur au sein du séchoir hybride

Dans le but de mieux connaître les performances de ce séchoir hybride, la distribution de la chaleur à l'intérieur à vide a été évaluée en comparaison avec la température à l'extérieur (température ambiante). La **Figure 6** indique la variation au cours de la journée de la température dans l'enceinte du séchoir en comparaison avec la température ambiante.

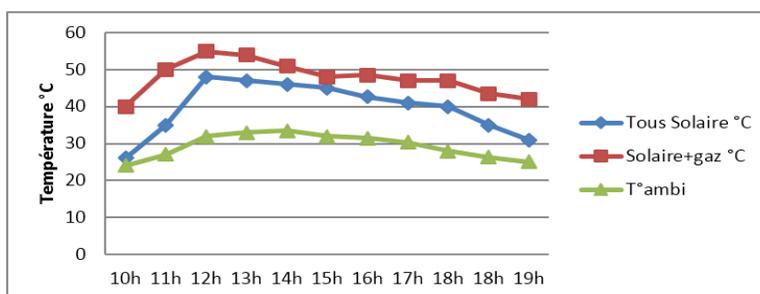


Figure 6 : Evolution de la température à l'intérieur et à l'extérieur du séchoir

Quelque soit le mode de fonctionnement, les résultats ont montré que la température à l'intérieur du séchoir hybride est significativement supérieure ($P < 0,05$) à celle ambiante surtout à partir de 11 h. Cette augmentation est plus importante surtout avec le mode 2 (solaire + gaz). En effet les plexiglas qui couvrent les chambres de séchage créent un effet de serre et font ainsi augmenter de plus de 5°C la température à l'intérieur du séchoir. De plus, avec l'appoint en énergie issue du gaz combustible, cette augmentation va jusqu'à 20°C. Il est à noter que cette augmentation est plus significative entre 12 hrs et 15 hrs pour les deux modes de séchage. Ainsi, à 13 hrs les températures jusqu'à 51°C et 48°C sont respectivement obtenues pour le mode 2 (solaire + gaz) et le mode 1 (tout solaire) alors que la température ambiante est de 32°C en moyenne pendant la période des essais (février 2015 au sud Bénin). Ces résultats suggèrent que le séchoir hybride, avec ces températures à l'intérieur peut être utilisé pour le séchage de beaucoup de denrées agricoles. Ces performances peuvent être accrues dans les zones arides où les températures ambiantes sont plus élevées.

IV-CONCLUSION

L'utilisation du séchoir hybride pour le séchage des produits granulés et les farines apparaît comme une bonne option technologique pour avoir les produits de bonne qualité protégés contre les contaminations environnementales. Le séchoir hybride testé dans le cadre de cette étude tout en protégeant le produit

lors du séchage, accélère le séchage de *yêkè-yêkè* et de *gambari-lifin* lorsqu'il est utilisé en mode 2 (*solaire + gaz*). Toutefois en fonction du produit à sécher l'opérateur ou l'entrepreneur peut utiliser ce séchoir en mode 1 (tout solaire) ou en mode 2 (*solaire + gaz*).

RÉFÉRENCES

- [1] - O. V. EKECHUKURU and B. NORTON, Review of Solar-Energy Drying Systems II: An overview of Solar Drying Technology, Energy Conversion and Management, 4 (6) (1999) 615 - 655.
- [2] - S. SOKHANSANJ and D. JAYERS, Drying of Food Stuffs, In: A.S. Mujumdar. Editor. "Handbook of Industrial Drying, 2" New York: Marcel DekerInc, (1995) 387 p.
- [3] - A. P. F. HOUSSOU, N. R. AHOYO ADJOVI, A. HOUNYEVOU-KLOTOE, V. DANSOU, D. OLOU, H. DJIVOH, K. J. EKPO, Guide pratique pour la production de *gambari-lifin* au Bénin. Dépôt légal N° 8306 du 08/12/2015, 4^{ème} trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin– ISBN : 978-99919-0-833-5, (2015) 9 p.
- [4] - A. P. F. HOUSSOU, N. R. AHOYO ADJOVI, R. AHOANSOU, V. DANSOU, H. DJIVOH, A. ADJANOHOUN, G. A. MENSAH, Fiche Technique : Production de *yêkè-yêkè* (couscous de maïs) enrichi au niébé. Dépôt légal N° 7651 du 16/12/2014, 4^{ème} trimestre, Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin – ISBN : 978 – 99919 – 0 – 261 – 6, (2014) 13 p.
- [5] - A. N. ADJILE, A. P. F. HOUSSOU, N. MONTEIRO, M. C. FAINOU, N. H. AKISSOE and F. TOUKOUROU, Caractérisation du procédé de *gambari-lifin* (farine de maïs décortiqué-dégermé) et influence de la variété de maïs sur la qualité physico-chimique et rhéologique. Nature & Technologie - Sciences Agronomiques et Biologiques, 12 (2014) 141 - 149.
- [6] - P. A. F. HOUSSOU, R. METOHOUE, N. AKISSOE, M. VODOUHE, N. A. ADJILE, N. M. F. MONTEIRO, H. DJIVOH, Projet 4 : Développement de technologies appropriées de transformation et de conditionnement pour l'amélioration de la qualité de *gambari lifin*, *ablo* et *yêkè-yêkè*. Centre National de Spécialisation sur Maïs du Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest, Rapport d'étape du projet 4, (2014) 47 p.
- [7] - AACC, Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th edition St Paul, AACC, (1984).
- [8] - A. S. NIANG, Utilisation d'énergies renouvelables et amélioration de la qualité des produits agroalimentaires séchés au Burkina-Faso. Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'équipement rural, (2006) 65 p.