

Experimentation with a Solar Dryer with Natural Convection. Mango Drying Case in the Town of Faranah, Guinea

Zézé Guilavogui¹, Ansoumane SAKOUVOGUI², Faya OULARE³, Belkacem ZEGHMATI⁴, Saliou kabi DIALLO⁵

¹Institut Supérieur d'Agriculture et Vétérinaire de Faranah, Guinée

²Département Energétique, Institut Supérieur et Technologie de Mamou, Guinée

³Faculté des Sciences Naturelles de l'Université Julius Nyeréré de Kankan, Guinée.

⁴Laboratoire de Mathématique et Physique des Systèmes, Université de Perpignan-France

⁵Faculté des Sciences, Université de Kindia, Guinée

Abstract : In the food industry, drying converts perishable foodstuffs into stabilized products, by lowering the water activity. The objective of this study is to experiment with a natural convection solar dryer by drying mango (20 kg) in the city of Faranah during the period of 02/29/2020, 01 and 03/02/2020. The various results obtained on: the evolution of the variation in daily temperatures in the ambient environment (T_{amb}), on the exterior face of the insulator (T_{ev}), of the absorber (T_{ab}), in the drying chamber ($T_{asséc}$), in the chimney (T_{sch}) and at its exit (T_{sch}); the evolution of the variation in average temperatures during these three days of drying and at the end, the evolution of the drying speed of the mango. During the process (the three days of drying) the temperature variation curves had the same appearance with the following average temperatures: ambient environment (28.83°C), outside of the window (38.80°C), absorber (58.97°C), drying chamber (46.72°C), chimney (34.71°C) and chimney outlet (28.91°C). The drying kinetics of the mango 2000 g to 350 g (dried product) i.e. a loss of mass of 1650 g (82.50% of the initial mass) which corresponds to an average drying speed of 22.92 g/h. On the basis of the literature, the results obtained show a good performance of the device.

Keywords – Experimentation ; solar dryer ; natural convection ; mango.

Expérimentation d'un Séchoir Solaire à Convection Naturelle. Cas de Séchage de la Mangue dans la Ville de Faranah, Guinée

Résumé : Dans le domaine agroalimentaire, le séchage permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau. L'objectif de la présente étude est de faire l'expérimentation d'un séchoir solaire à convection naturelle par séchage de la mangue (20 kg) dans la ville de Faranah pendant la période du 29/02/2020, 01 et 02/03/2020. Les différents résultats obtenus sur : l'évolution de la variation des températures journalières dans le milieu ambiant (T_{amb}), sur la face extérieure de l'insulateur (T_{ev}), de l'absorbeur (T_{ab}), dans la chambre de séchage ($T_{asséc}$), dans la cheminée (T_{sch}) et à sa sortie (T_{sch}); l'évolution de la variation des températures moyennes pendant ces trois jours de séchage et en fin, l'évolution de la vitesse de séchage de la mangue. Durant le processus (les trois jours de séchage) les courbes de variation de températures ont eu les mêmes allures avec des températures moyennes suivantes : milieu ambiant (28,83°C), extérieure de la vitre (38,80°C), absorbeur (58,97°C), chambre de séchage (46,72°C), cheminée (34,71°C) et sortie cheminée (28,91°C). La cinétique de séchage de la mangue 2000 g à 350 g (produit séché) soit une perte de masse de 1650 g (82,50% de la masse initiale) ce qui correspond à une vitesse moyenne de séchage de 22,92 g/h. Partant de la littérature, les résultats obtenus montrent une bonne performance du dispositif.

Mots clés – Expérimentation ; séchoir solaire ; convection naturelle ; mangue.

I. Introduction

L'énergie solaire est une source propre, disponible, inépuisable et c'est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables. Elle est à l'origine de presque toutes les sources d'énergie utilisées par l'homme et dont l'importance a poussé les scientifiques à mener de multiples recherches dans ce domaine [1].

En République de Guinée, l'irradiation moyenne annuelle est estimée à 4,8 kWh/m².j et la moyenne annuelle de la durée d'ensoleillement est de 2000 heures, avec un maximum en Haute Guinée (Kankan) environ 2700 heures par an. Les vitesses moyennes annuelles des vents, en Guinée, sont comprises entre 2 et 4 m/s. Ces chiffres prouvent que le potentiel solaire est assez important [2].

Parmi les secteurs qui utilisent l'énergie solaire : le secteur agroalimentaire dans la production de fruits et légumes séchés. En effet, le séchage des produits agroalimentaires est un procédé pratique depuis longtemps dans le but de réduire leur teneur en eau ce qui permettra de les stocker dans des meilleures conditions. En outre, les récoltes se font généralement saisonnièrement donc il

est nécessaire de conserver les produits pour leur utilisation tout au long de l'année en permettant de convertir des denrées périssables en produits stabilisés sur de longues périodes. C'est dans un souci d'économie d'énergie que l'utilisation des séchoirs solaires tend à se répandre principalement dans les pays en voie de développement. En effet ceux-ci offrent plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer leur simplicité et leur bas prix de revient.

Le séchage est une opération importante dans le domaine agro-alimentaire et industriel qui consiste à éliminer totalement ou partiellement l'eau d'un produit humide. Il prolonge la durée de conservation du produit et réduit le risque de contamination par moisissure toxique. Le séchage de produits agro-alimentaire doit répondre à deux impératifs qui sont la quantité minimale d'énergie nécessaire au séchage et la conservation de la qualité gustative du produit séché.

Le séchoir n'intègre aucun appoint énergétique et fonctionne de façon autonome. Il comprend une unité de génération d'air chaud et une enceinte de séchage. Il est peu coûteux, simple à réaliser à partir de matériaux locaux, et adapté au séchage de produits agro-alimentaires. Comme produit, notre choix s'est porté sur la mangue en raison de son abondance et de sa très grande consommation en Guinée. La période de production se concentre sur environ trois mois au cours de laquelle la production est extrêmement abondante, et dépasse largement les capacités d'absorption (exportation et consommation) du pays [3].

Les fruits pourrissent sous les arbres, dans les plantations ou chez les grossistes ou demi-grossistes, dans les marchés, engendrant une pollution de l'environnement par l'apparition des mouches et moustiques. En Guinée la mangue est consommée comme fruits frais, cuite à l'eau et en purée assaisonnée. Le manguier est originaire de l'Inde, son fruit (la mangue) est actuellement le 5^{ème} fruit le plus produit et le plus commercialisé à travers le monde après les bananes, le raisin, l'orange et la pomme. Avec une production mondiale qui approche les 34 millions de tonnes selon la FAO (2010), la mangue est une source de devises importante pour les pays tropicaux [4]. De par le monde, on dénombre plus de 100 pays producteurs de mangues dont 88 sont exportateurs. Le nombre de variétés que l'on peut recenser est très élevé [5].

Malgré la diversité des conditions naturelles guinéennes, l'agriculture, longtemps négligée par les politiques économiques successives, est sous-productive. Or le secteur rural (agriculture, élevage et pêche) est la première source de croissance économique du pays et le principal pourvoyeur de revenus et d'emplois pour la population. La quasi-totalité de la population active (88%) ressort de ce secteur [6].

En Guinée, il existe deux grandes régions de production. La Guinée-Maritime est la zone exportatrice de mangue d'Afrique de l'Ouest la plus humide. Elle est plantée essentiellement avec des variétés qui furent introduites à la station de Foulaya (Kindia) [7].

La mangue est produite en abondance en Guinée, avec une période de récolte relativement courte environ 3 mois par an. Pendant cette période de récolte, des quantités importantes de mangues sont disponibles sur les marchés ce qui entraîne des méventes et des pertes considérables. Par contre pendant les périodes post récolte sa disponibilité se pose avec acuité. C'est ainsi, pour apporter notre contribution à la disponibilité de bonne qualité en toutes saisons dans tout le pays nous avons proposé l'expérimentation d'un séchoir solaire à convection naturelle dans la ville de Faranah.

2. MATERIELS ET METHODES

II.1 MATERIELS

2.1.1 Présentation de la zone d'étude

La région de Faranah est située à 8°50 et 12°0 de latitude nord et 9°15 et 11°29 de longitude ouest. Elle couvre une superficie de 40122 km² pour une population totale de 942733 habitants en 2014, en majorité rurale (80 %). Le climat est du type soudano-guinéen avec l'alternance de deux saisons (pluvieuse et sèche). La pluviométrie annuelle moyenne varie entre 1200 mm et 1700 mm. Les températures sont généralement élevées, elles oscillent entre 27°C et 30°C en moyenne. L'humidité atmosphérique relative varie entre 69 et 85% en moyenne. La région est à vocation essentiellement agro-pastorale avec d'importantes potentialités agricoles dont la conservation des récoltes pose encore d'énormes problèmes [8].

II.1.2 Matériels de conception du séchoir

Les matériaux utilisés pour la conception du séchoir sont : contreplaqué, planches de bois, tôle, baguettes de bois, vitre, joint d'isolation, plaque en verre et en plastique, peinture (Spray paint), vis, pointes,...

II.1.3 Description du dispositif

Le dispositif comprend un insolateur, une armoire de séchage surmontée d'une cheminée solaire dont la face orientée vers le sud est constituée d'une vitre.

L'insolateur a une longueur de 2 m et de largeur 1m, incliné d'un angle 15° par rapport à l'horizontale. Il comprend une couverture constituée d'une plaque de verre (3 mm d'épaisseur) transparente au rayonnement solaire, un absorbeur en tôle d'aluminium (épaisseur 2 mm), ondulé et peint en noir. La distance entre la couverture et l'absorbeur est de 2,5 cm. Les faces latérales et arrière de l'insolateur sont isolées par une plaque de bois, d'épaisseur 3cm.

L'armoire de séchage de forme parallélépipédique a pour dimensions 0,75 m x 1,50 m x 0,56 m soit 0,63 m³. Elle comprend : une porte, placée sur la face orientée vers le nord, destinée à l'introduction des branches de mangues, quatre (4) plateaux composés d'une grille couvrant une aire de séchage totale de (0.75x0.56)x4 = 1.68 m², placés sur des claies. Les claies sont constituées d'un

cadre en bois dont le bas est recouvert d'une toile type moustiquaire en matière synthétique. Ces claies sont équidistantes et coulissantes dans l'armoire de séchage. Les tranches de mangue sont disposées sur les claies. La cheminée de dimensions (0,15x0,15x1,5m) est en bois. Le dispositif expérimental est montré sur la figure 2.1.a.b.

II.1.4 Matériel végétal

La mangue est un fruit à mésocarpe charnu, contenant un seul noyau. La taille des mangues varie selon les variétés de 2,5 à 30 cm, la masse varie de 300 g à 2 kg et la forme peut être ronde à oblongue. De même la coloration de la peau varie entre le jaune, le rouge et le vert, la pulpe est jaune plus ou moins orangée et peut être variablement fibreuse. La forme caractéristique de la mangue est due à la formation d'une pointe à l'extrémité inférieure du fruit appelé bec (figure 2.1.c) [9]. Ce fruit est une source majeure de certains nutriments comme la provitamine A (3mg/100g de produit frais), la vitamine C (44mg/100g), une source de minéraux, essentiellement du potassium (150mg/100g de produit frais) [10].

Elle contient 82 à 83,5 % d'eau, de protéines (0,5 à 0,6 g/100g), de lipides (0,1 à 0,3 g/100g), de glucides (0,1 à 0,3 g/100g). Le taux élevé de sucres dans la mangue, composants majoritaires et sources d'énergie rapide, lui confère une assez bonne valeur énergétique, de l'ordre de 56 à 65 kCal/100g [11].

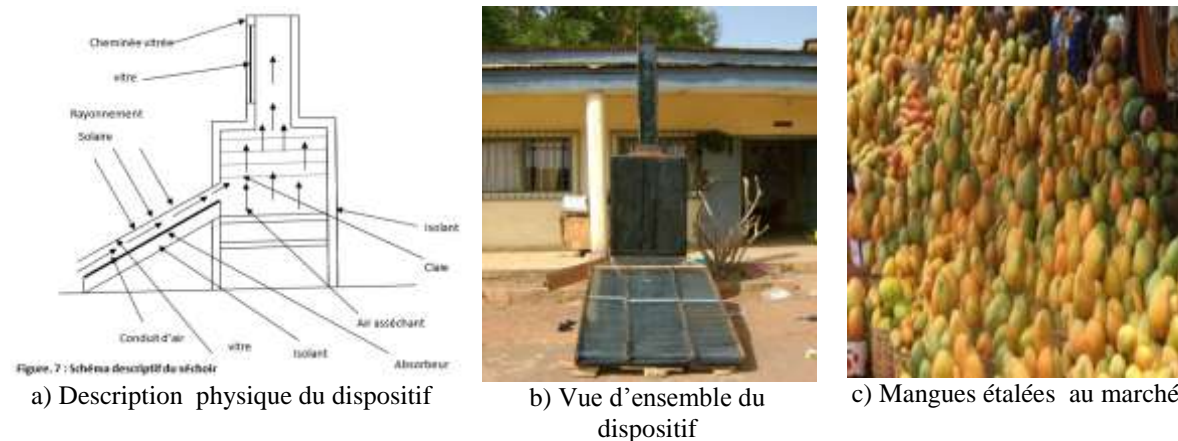


Fig. 2.1 Dispositif expérimental et produit à sécher

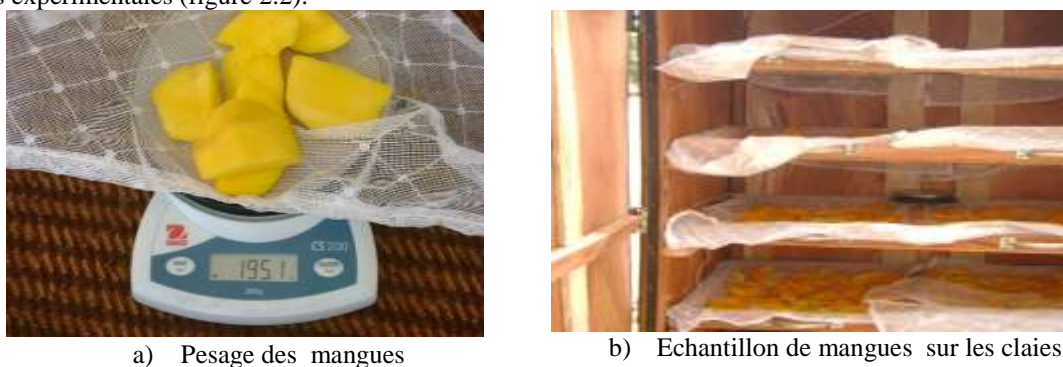
2.2 METHODES

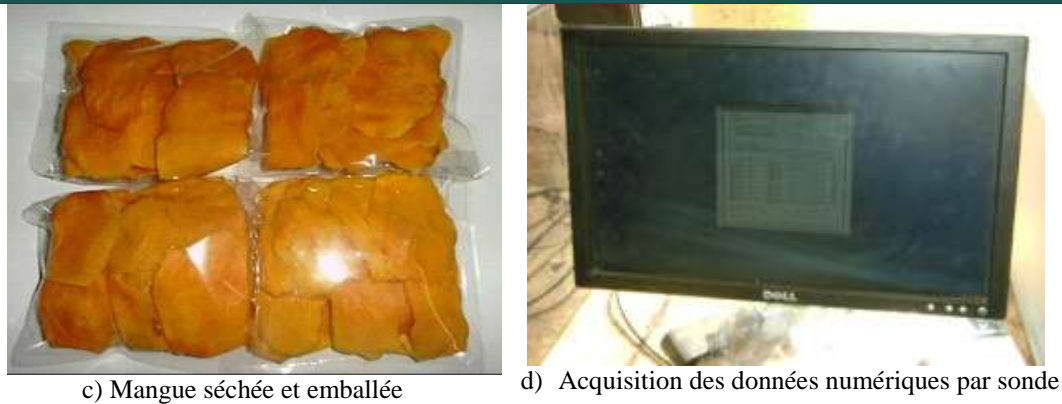
Les mangues utilisées pour le séchage ont été achetées au marché de la commune urbaine de Faranah. Les mangues sélectionnées sont lavées abondamment, égouttées et pesées. Elles sont pelées, dénoyautées puis découpées en lamelles de 2 cm d'épaisseur.

Les échantillons de tranches de mangue avant et après séchage ont été pesés à l'aide d'une balance (O.H.A.U.S) à affichage numérique de précision 0,1g. La masse initiale des tranches de mangue étalées sur les claies de la chambre de séchage est de 2000 g soit 2 kg.

Un retournement des tranches de mangues est effectué 3 à 4 fois chaque deux heures pendant le séchage. Cette opération vise à éviter que les lamelles de mangue ne se collent à la toile.

Les températures de séchage à chaque une heure, ont été obtenues à l'aide des thermocouples de type T disposés en plusieurs endroits de l'insolateur, de l'armoire de séchage et de la cheminée solaire, plus précisément à : l'entrée et sortie de l'insolateur et de la chambre de séchage et au niveau des différentes claies portant le produit à sécher. L'ensemble des thermocouples est relié à une interface Keitele à 16 voies qui est connecté à un ordinateur pour l'affichage des données. Les photos ci-dessous montrent certaines étapes expérimentales (figure 2.2).





c) Mangue séchée et emballée

d) Acquisition des données numériques par sonde

Fig. 2.2 Etapes expérimentales

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 RESULTATS

Les différents résultats obtenus durant les trois jours d'expérimentations du séchoir sur :) l'évolution de la variation des températures journalières dans le milieu ambiant (T_{amb}), sur la face extérieure de l'insolateur ou accumulateur de chaleur (T_{ev}), de l'absorbeur (T_{ab}), dans la chambre de séchage ($T_{asséc}$), dans la cheminée (T_{sch}) et à sa sortie (T_{sch}) ; l'évolution de la variation des températures moyennes pendant ces trois jours de séchage ; l'évolution de la vitesse de séchage de la mangue. Ces différents résultats sont illustrés par des figures 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 et 3.5.

3.1.1 Evolution de la variation des températures journalières

L'évolution de la variation des températures journalières du processus de séchage pour la journée du 29/02/2020 est illustrée par la figure 3.1.

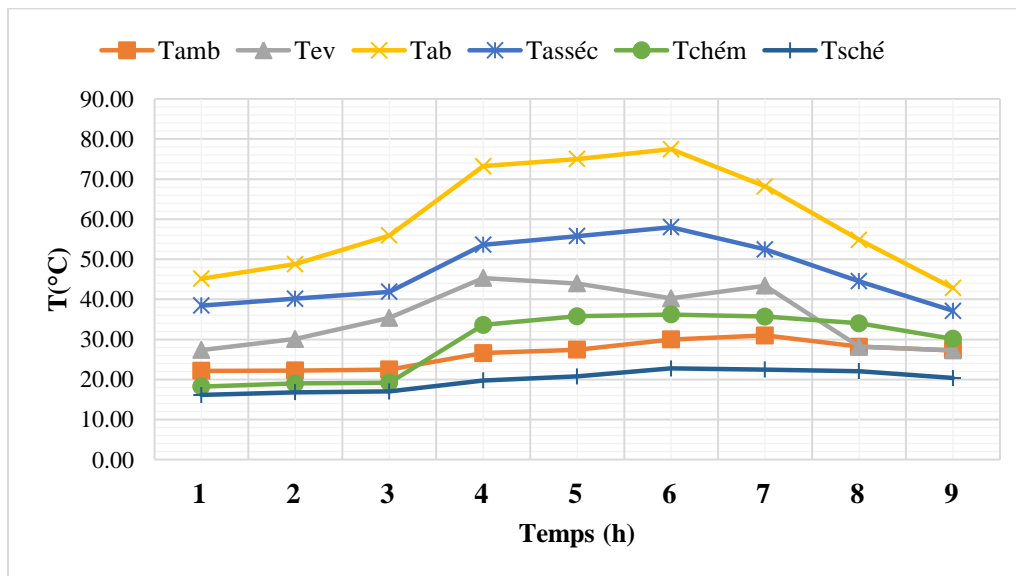


Fig. 3.1 Evolution des températures de la journée du 29/02/2020

L'évolution de la variation des températures journalières du processus de séchage pour la journée du 01/03/2020 est illustrée par la figure 3.2.

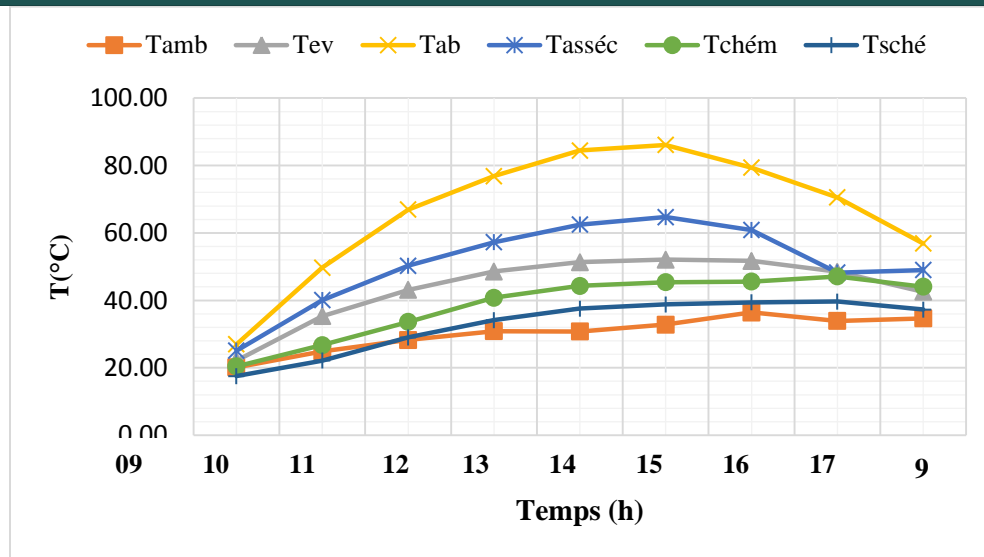


Fig. 3.2 Evolution de la variation des températures de la journée du 01/03/2020

L'évolution de la variation des températures journalières du processus de séchage pour la journée du 02/03/2020 est illustrée par la figure 3.3.

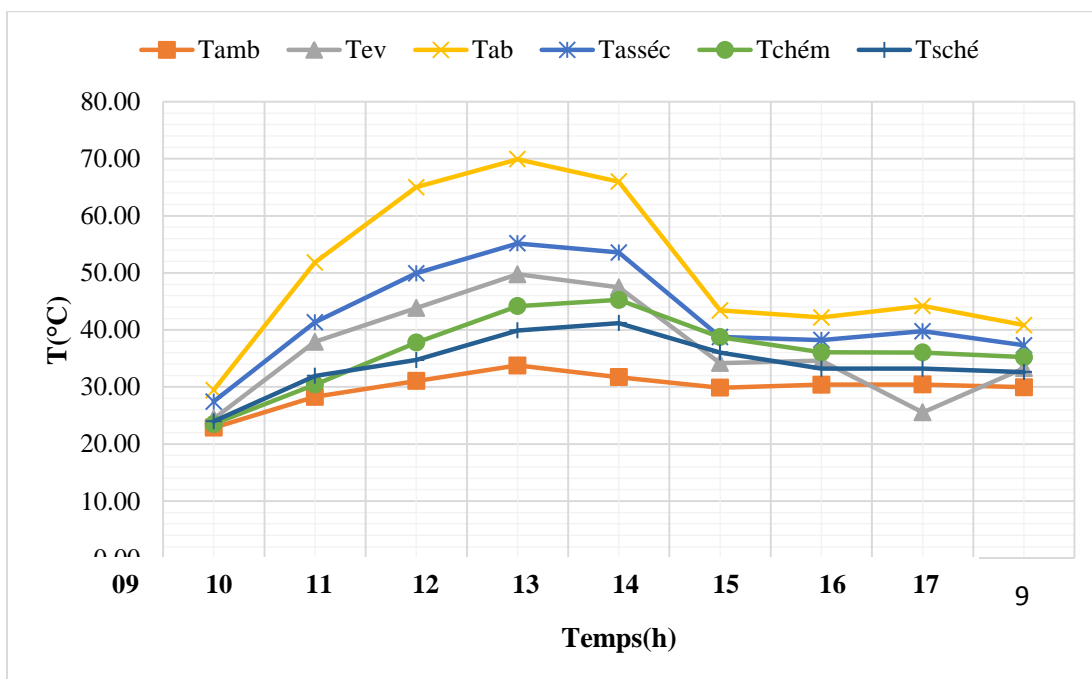


Fig. 3.3 : Evolution de la variation des températures de la journée du 02/03/2020

3.1.2 Evolution de la variation des températures moyennes

L'évolution de la variation des températures moyennes durant les trois jours de séchage est illustrée par la figure 3.4.

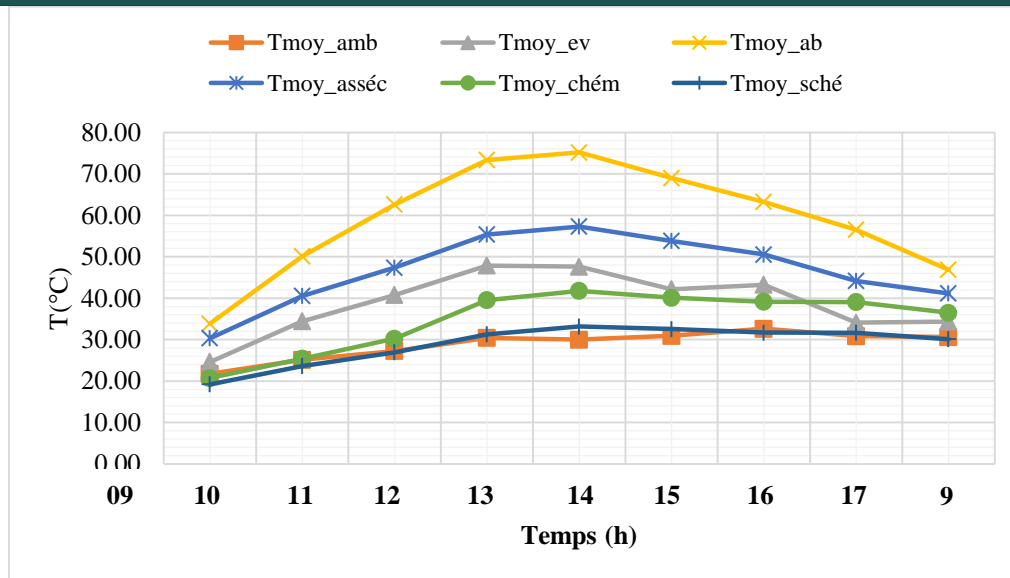


Figure 3.4 Evolution de la variation des températures moyennes pendant les trois jours de séchage

3.1.2 Evolution vitesse de séchage de la mangue

L'évolution de la vitesse séchage (perte en eau par jour) de la mangue pendant la période e séchage est illustrée par la figure 3.5.

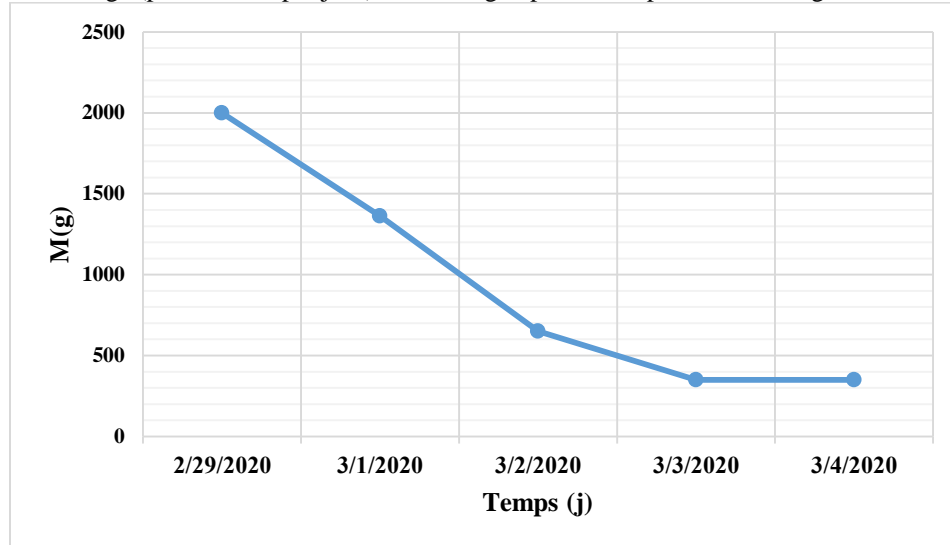


Fig. 3.5 Cinétique de séchage de la mangue

3.2 DISCUSSIONS

Les figures 3.1, 3.2 et 3.4 montrent que, pendant les trois jours de séchage (29/02/2020, 01 et 02/03/2020) de 09 à 17 h, les courbes de variation de la température de l'absorbeur (élément central du capteur solaire, qui absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur) sont toujours restées au-dessus des autres.

Pour le premier jour de séchage (29/02/2020), les températures minimale et maximale de l'absorbeur sont respectivement 42,85°C (17 h) et 77,46°C (14 h) avec une moyenne journalière de 60,16°C. Dans la chambre de séchage (où est entreposé les tranches de mangues), la température a varié de 37,13°C (17 h) à 57,99°C (14 h), avec une moyenne journalière de 46,88°C. La courbe de variation de température sur la face extérieure de la vitre (transparent au rayonnement visible mais opaque au rayonnement I.R) est directement en dessous de celle de la chambre de séchage, elle a varié de 27,26°C (17 h) à 45,31 (12 h) avec une moyenne journalière de 35,69°C (figure 3.4). Les courbes de variation de températures dans le milieu ambiant, dans la cheminée et à sa sortie sont respectivement les une en dessous des autres, avec des moyennes journalières suivantes : milieu ambiant (26,38°C), cheminée (29,11°C) et sortie cheminée (19,80°C) (figure 3.4). Cette diminution de température à la sortie de la cheminée est due à la charge en d'eau libre de l'air asséchante extraite des tranches de mangue.

La figure 3.2 montre que durant le deuxième jour de séchage, la variation des courbes des températures ont les mêmes allures que celles des premiers jours, par contre les moyennes journalières de températures sont relativement supérieures à celles du premières. Ces températures moyennes sont respectivement : milieu ambiant (30,30°C), face extérieure de la vitre (43,92°C), absorbeur (66,43), chambre de de séchage (50,89°C), cheminée (38,67°C) et sortie cheminée (32,84°C) (figure 3.4).

De la figure 3.3, nous constatons que les courbes de variation de températures ont les mêmes allures que les deux premiers jours, par contre les températures moyennes journalières dans milieu ambiant (29,82°C), sur la face extérieure de la vitre (36,78°C), de absorbeur (50,31), dans la chambre de de séchage (42,39°C), dans la cheminée (36,36°C) sont relativement inférieures par rapport celles du deuxième jour (figure 3.4).

La figure 3.5 nous montre la cinétique de séchage de la mangue. Durant ce processus nous avons observé que, le premier jour 29/02/220 la masse du produit a varié de 2000 g à 1363 g, soit une perte massique journalière de 637g soit 31,85 % de la masse initiale. Ce qui correspond à une vitesse de séchage de 26,54 g/h. Le deuxième jour (01/03/2020), la masse a diminuée de 1363g à 651g, soit une perte de 712 g ou 35,60 % de la masse initiale, ce qui correspond à une vitesse de séchage de 29,60 g/h. Le troisième jour la masse a variée de 651g à 350g soit une perte de 301g ou 15,05% de la masse initiale et est reste constante avec une valeur de 350 g (le produit est séché), ce qui correspond à une vitesse de séchage de 12,54 g/h (figure 3.5). Ainsi, la quantité d'eau libre extraite du produit est de 82,50 %, ce résultat est conforme à ceux de plusieurs autres auteurs [9, 12]. Cette cinétique de séchage a obéi au principe des trois phases de séchage (la phase de mise en température, la phase à vitesse constante et la phase à vitesse décroissante) [13].

4. CONCLUSION

Au cours de cette nous avons fait un suivi journalier de 9h à 17 h l'évolution des courbes de variation de températures sur la face extérieur de accumulateur de chaleur, de l'absorbeur, dans la chambre de séchage, dans la cheminée et à sa sortie. La cinétique de séchage de la mangue a passée de 2000 g à 350 g soit une perte de masse de 1650 g (82,50% de la masse initiale) de séchage de 22,92 g/h. Partant de la littérature, les résultats obtenus montrent une bonne performance du dispositif. Cette cinétique est conforme au principe des trois phases de séchage (la phase de mise en température, la phase à vitesse constante et la phase à vitesse décroissante).

Ainsi, au vu des résultats obtenus, le séchage de la mangue par séchoir solaire reste une technique fiable en toutes saisons et à moindre cout. Il serait alors impérieux de vulgariser cette technique pour son application dans les quatre régions naturelles de la Guinée, car la mangue séchée présente un intérêt nutritionnel qui peut être indiquée comme un aliment nécessaire pour les consommateurs dits vulnérables tels que les enfants, femmes enceintes ou allaitantes et personnes âgées.

A température ambiante, une mangue fraîche se conserve moins de 10 jours. Elle supporte mal la congélation et subit des réactions de brunissement lorsqu'elle est réfrigérée pendant une période assez longue. Il se pose dès lors un réel souci de conservation de la mangue. Les travaux antérieurs montrent que le séchage de la mangue est une alternative intéressante et pratique en milieu rural.

REFERENCES

- [1] Labidine Amina et Gheroui Abdelkader, Contribution à l'amélioration des performances thermique et dynamique d'un capteur solaire plan à air affecté au séchage de la figue. Mémoire de Master, Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent Institut de Technologie, Algérie, 2017, 73p.
- [2] Ministère de l'Energie, Lettre de Politique de Développement du Secteur de l'Energie (LPDSE), République de Guinée, 2019, 66p.
- [3] Arbia Aissa, Chaoubi Ouafa. Thème : Contribution à la simulation des transferts thermiques dans un capteur solaire plan application de séchage. Mémoire master académique, Faculté des sciences appliquées, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2015.
- [4] Gelin DOREUS, Production et productivité du manguier en Haïti, étude de cas : Marigot, une petite région agricole du Sud-est Mémoire Master, Montpellier, 2012, 82p.
- [5] Galán Saúco V., Mango world production (outside Israel, Egypt and India). Acta Horticulturae, 1997, 455p.
- [6] Rapport, UE/CEDEAO, Etude du secteur agro-industriel en Afrique de l'Ouest, 2002, 22p.
- [7] Bruno TELEMANS, Expert arboriculture fruitière, projet FAO - TCP/RAF/4560, FAO.R Guinée. RADHORT, La culture des manguiers en Guinée, 10p.
- [8] Diallo Mamadou Aliou, Barry Mamadou Alpha, Tonguino Sâa Poindol, Diallo Diariou, Sakouvogui Ansoumane, Physicochemical characterization of sprinkling water from the fields of the sagbaya market gardening group in the faranah urban commune, 2020, Vol. 6, Issue 2, 406-417
- [9] Ahmat Tom, Contribution au séchage solaire des produits carnés : Modélisation et réalisation d'un séchoir adaptés aux pays tropicaux. Ecole doctorale des Sciences et Métiers de l'Ingénieur de Paris, 2015, 246p.
- [10] Michiel A. Floris V., Amélioration des performances de la filière des produits (transformation de la

mangue au Burkina faso et au Mali). 2009, 116p.

- [11] MILLOGO Dè Pierre Damien, caractérisation physico-chimique de la mangue séchée biologique (variété amélie), Mémoire de fin de cycle Université polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 2012, 54p.
- [12] Anselme Kamenia, Carl Moses Mbofungb, Zenabou Ngnamtamb, Jean Doassema, Layla Hamadoua Aptitude au séchage des fruits de quelques variétés de manguiers cultivées au Cameroun, Cirad/EDP Sciences, Fruits, 2003, vol. 58, p. 89-98.
- [13] ZIDANE Faouzi et HAMMI Sassi, Etude et Réalisation d'un séchoir solaire à capteur solaire plan, Mémoire de Master de l'Université Abderrahmane Mira Bejaia, 2017, 81p.