



Journal Homepage: -www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/18224
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/18224>



RESEARCH ARTICLE

ETUDE DES PERFORMANCES THERMIQUES D'UN SECHOIR SOLAIRE

Moctar Ousmane^{1,3}, Dianda Boureima^{3,6}, Thierry Sikoudouin Maurice K.Y³, Boureima Kaboré^{2,3}, B. Magloire Pakouzou^{3,5}, Salifou Ouédraogo³, Amadou Konfé³, Germain Wende Pouiré Ouedraogo^{3,4}, Kam Sié³, Dissa A.O⁷ and Dieudonné Joseph Bathiébo³

1. University of Agadez, PO BOX 199, Niger.
2. Département de Physique, UFR-ST, Université Norbert ZONGO, Burkina Faso.
3. Laboratory L.E.T.R.E, Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso.
4. ESI, Université de Fada N'Gourma, Burkina Faso.
5. Université de Bangui, R.C.A.
6. Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies, Burkina Faso.
7. Laboratory L.P.C.E, Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 19 November 2023
Final Accepted: 29 December 2023
Published: January 2024

Key words:-

Sechoir Solaire, Performances Thermiques, Teneur En Eau, Courbes Simulees

Abstract

Les populations ouest africaines produisent de grandes quantités de récoltes. Malheureusement faute de moyens de conservation, ces produits pourrissent. C'est pour cette raison que nous nous sommes intéressés au séchage solaire des produits agro-alimentaires avec comme produit la banane douce. L'objectif de cette publication est l'étude des performances thermiques d'un séchoir solaire à absorbeur à ailettes. Les matériels utilisés sont : un séchoir complet constitué de cinq claies, des tranches de banane douce, d'une balance de précision et d'un enregistreur automatique de températures. L'évolution de la teneur en eau nous a montré que 65% de l'eau des rondelles est éliminée le 1^{er} jour et 20% le 2^{ème} jour. Les courbes simulées de séchage traduisent que la fraction massique de la vapeur d'eau dans l'air augmente et celle du fruit diminue car l'air s'humidifie par absorption d'eau du produit. Enfin les performances thermiques du séchoir solaire sont estimées par la masse de banane séchée et l'introduction des ailettes a développé un écoulement turbulent.

Copy Right, IJAR, 2024.. All rights reserved.

Introduction:-

D'après Amer et al.[1], le séchage est un procédé de réduction de la teneur en eau d'un produit jusqu'à des valeurs pouvant lui permettre de se conserver dans des conditions ambiantes. Liyanage et al. [2] montrèrent que la banane est un produit précieux présentant des vertus médicinales pouvant réduire le taux de sucre dans le sang et le cholestérol. Musembi et al.[3] avaient conçu un séchoir solaire et analysèrent ses performances thermiques en fonction des conditions météorologiques. Ils conclurent que le séchage solaire par convection naturelle indirecte s'est révélé être une méthode appropriée pour sécher les pommes puisque les résultats donnent une bonne couleur, une bonne texture et un bon goût. Lingyat et al.[4] expérimentèrent le séchage de la banane dans une cheminée de tour solaire utilisée comme cage de séchage. Ils montrèrent que le séchage solaire indirect est plus efficace que le séchage traditionnel où les produits sont exposés directement au soleil. Ferreira et al. [5] évaluèrent la faisabilité technique d'une cheminée solaire pour sécher des produits agricoles. Ils prouvèrent que le séchage de la banane sur des claies métalliques est

Corresponding Author:- Moctar Ousmane

Address:- University of Agadez, PO BOX 199, Niger.

plus avantageux que le séchage sur des claies en plastique. Afriyie et al. [6] expérimentèrent dans une première étude une cheminée solaire pour le séchage solaire. Ils montrèrent qu'un angle approprié pourrait améliorer la ventilation de la chambre de séchage. Ensuite dans une seconde étude, Afriyie et al [7] procédèrent à une simulation et montrèrent que des configurations affinées de cheminée séchoirs sont capables d'atteindre des performances de séchage optimales. Maia et al. [8] expérimentèrent une cheminée solaire destinée au séchage des produits agricoles. Ils montrèrent que les vitesses et températures élevées correspondent aux valeurs du rayonnement solaire importants. Midilli et al. [9] étudièrent le séchage solaire des champignons, des pistaches, du pollen et développèrent un nouveau modèle empirique pour le processus de séchage monocouche.

Matériels et Méthode:-

Modélisation Du Sechoir

Le but du modèle est de déterminer l'évolution de la teneur en eau du produit à sécher en fonction du temps en tenant compte des principaux paramètres aérothermiques (température, hygrométrie et débit massique de l'air asséchant). Il s'agit de modéliser le séchage de morceaux de bananes espacés régulièrement en une seule couche sur des claies. Celles-ci étant traversées perpendiculairement par l'air chauffé par un capteur plan et soufflé dans la case de séchage grâce à un extracteur de débit. Dans un premier temps nous donnons une description du dispositif expérimental et son fonctionnement, ensuite les hypothèses simplificatrices ainsi que les équations de transferts thermiques et massiques et enfin un programme de simulation.

Description

D'après Dissa et al. [10], l'unité de séchage est une boîte en bois de forme parallélépipédique dont la partie supérieure est surmontée d'une toiture en forme de 'V' où est placé un extracteur d'air. Elle est isolée thermiquement. En outre elle est munie d'une cheminée sur le toit ainsi que d'une ouverture sur sa base pour l'admission de l'air chaud provenant du capteur. L'une des faces latérales est munie d'une porte battante pour disposer et retirer les produits. La chambre de séchage est posée sur un support métallique à une hauteur de 2,20m du sol. Les produits sont disposés à l'intérieur de la boîte sur cinq 5 claies dont 4 seulement chargées, de forme carrée composées chacune d'un cadre métallique sur lequel est fixé un grillage en nylon, pour permettre le passage de l'air. Les claies sont distantes, les unes des autres, de 20 cm. Les mesures de température sont communiquées par un enregistreur automatique de données. Nous utilisons, en outre, une balance de précision pour la pesée systématique des produits séchés.

Fonctionnement

L'air chauffé à travers le capteur plan est soufflé dans la cage de séchage grâce à un extracteur. Un transfert de chaleur s'effectue de l'air vers le produit sous l'effet d'un gradient de température tandis qu'un transfert de matière d'eau s'effectue du produit vers l'air, sous l'effet d'une différence de concentration en eau entre le produit et l'air pour autant que la pression de vapeur d'eau dans le produit soit supérieure à la pression de vapeur d'eau de l'air le long du lit de séchage.

Hypothèses simplificatrices

- (1) Le séchoir est découpé dans le sens de l'écoulement de l'air en tranches fictives d'épaisseur Δx à l'intérieur desquelles les températures et les humidités sont constantes.
- (2) Les grandeurs physiques varient « pas par pas » d'une tranche à l'autre et les échanges dans la tranche suivante se font avec l'air pris dans les conditions de sortie de la tranche précédente.
- (3) Les transferts sont unidimensionnels.
- (4) L'air humide se comporte comme un gaz parfait.
- (5) Les pertes à l'arrière sont négligées.
- (6) Le séchage est isenthalpique et son évolution peut être décrite par le diagramme de l'air humide.
- (7) La vitesse de l'air est constante.
- (8) Les échanges thermiques entre les claies et le produit sont négligés.
- (9) L'échange par rayonnement avec les produits est négligé devant les échanges convectifs.

Bilans des transferts thermiques

Le bilan des transferts thermiques est établi à partir du schéma électrique équivalent du système, en écrivant les équations de conservation des flux massiques et thermiques aux différents nœuds du système

Schéma électrique équivalent

L'analyse des transferts thermiques au sein d'une tranche du séchoir indiquée sur la Figure 1 permet de représenter sur la figure 2 le réseau électrique équivalent en utilisant les analogies suivantes :

Densité de flux de chaleur		Intensité du courant
Température		Potentiel électrique
Coefficient de transfert thermique		Conductance
Capacité thermique		Capacité électrique

En se référant à Daguinet et al. [11] sur le réseau de la figure 2 chaque milieu est symbolisé par sa température et on représente les résistances, les capacités thermiques, le flux de chaleur dû à l'évaporation et perdu par le produit, le flux de chaleur perdu par l'air au cours de son déplacement.

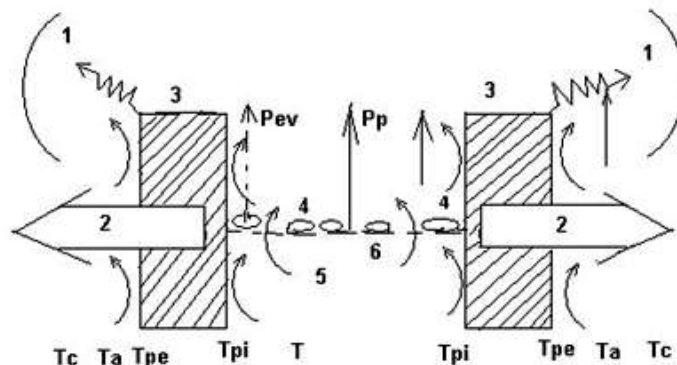


Fig.1 Echange thermique dans une tranche du séchoir

1 Voûte céleste		Puissance cédée par l'air
2 Milieu ambiant		Puissance perdue par l'air
3 Paroi		Echange par convection
4 Produit		Echange par rayonnement
5 Milieu asséchant		Echange par conduction
6 Claie		

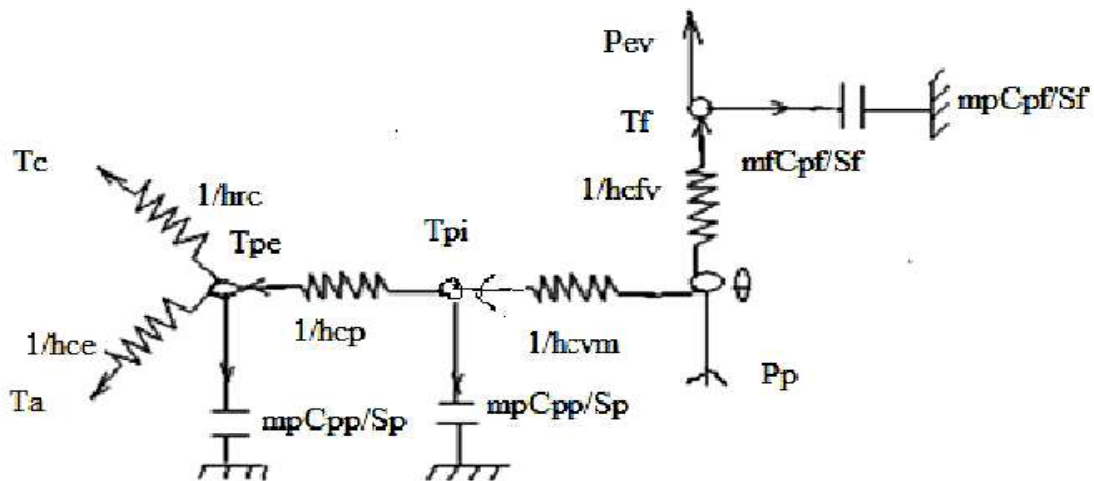


Figure 2:- Modèle électrique de l'échangeur thermique.

Les équations de transfert

Entre les instants n et $n+1$, les bilans dans les différents milieux de la tranche fictive j considérée s'obtiennent en écrivant la conservation du flux en chaque nœud du réseau de la figure.12. Toutes ces formules peuvent être trouvées en appliquant la loi des nœuds : $\sum I_{arrivant} = \sum I_{partant}$

- Bilan énergétique sur le produit (Nœud T_f)

Energie reçue par convection = Energie stockée + Energie de vaporisation

$$Sh_{cfv}(\theta_{j-1}^{n+1} - T_{ff}^{n+1}) = P_{ev(j)}^{n+1} + m_f C_{pf} \left(\frac{T_{ff}^{n+1} - T_{ff}^n}{\Delta t} \right) \quad (1)$$

Bilan thermique sur les parois du séchoir

Parois internes (Nœud T_{pi})

Chaleur reçue par convection = Chaleur stockée + Chaleur transmise par conduction vers la paroi externe.

$$S_{pa} h_{cvm}(\theta_{j-1}^{n+1} - T_{pi(j)}^{n+1}) = S_{pa} h_{cp}(T_{pi(j)}^{n+1} - T_{pe(j)}^{n+1}) + m_p C_{pp} \left(\frac{T_{pi(j)}^{n+1} - T_{pi(j)}^n}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

Parois externes (Nœud T_{pe})

Energie reçue par conduction = Energie perdue par rayonnement à l'air ambiant + Energie rayonnée vers le ciel + Energie stockée.

$$S_{pa} h_{cp}(T_{pi(j)}^{n+1} - T_{pe(j)}^{n+1}) = S_{pa} h_{ce}(T_{pe(j)}^{n+1} - T_a) + h_{rc}(T_{pe(j)}^{n+1} - T_c) + m_p C_{pp} \left(\frac{T_{pe(j)}^{n+1} - T_{pe(j)}^n}{\Delta t} \right) \quad (3)$$

- Bilan énergétique sur l'air (Nœud Θ)

Energie cédée par l'air = Energie cédée par convection au produit + Energie cédée par convection à la paroi interne.

$$P_{p(j)}^{n+1} = Sh_{cfv}(\theta_{j-1}^{n+1} - T_{ff}^{n+1}) + S_{pa} h_{cvm}(\theta_{j-1}^{n+1} - T_{pi(j)}^{n+1}) \quad (4)$$

- Bilan énergie masse sur l'air et le produit

$$P_{ev(j)}^{n+1} = L_v m_s (X_j^{n+1} - X_j^n) / \Delta t = L_v \cdot \rho_v S \frac{h_e h_i}{h_e + h_i} (C_{i(j)}^{n+1} - C_{v(j-1)}^{n+1}) \quad (5)$$

Simulation du séchage

Les équations ci-dessus décrivent complètement les échanges thermiques dans une tranche du séchoir traversé par le courant d'air asséchant. Les températures T_a et T_c sont fixées tandis que les températures T_j^n , $T_{pi(j)}^n$ et $T_{pe(j)}^n$ sont connues car elles ont été calculées au pas de temps n ; il en est de même pour $C_{v(j-1)}^{n+1}$ et θ_{j-1}^{n+1} qui sont calculées pour la tranche $(j-1)$.

Le système d'équations simultanées est résolu par itération en utilisant la méthode explicite pour chaque tranche j , les solutions donnent :

1. La température et la teneur en eau du produit ; cette dernière étant liée à C_i par les isothermes de désorption.
2. La vitesse de séchage $(X_j^{n+1} - X_j^n) \Delta t$.
3. La température de sortie de l'air, et son humidité.

Les valeurs de ses différents paramètres pour la tranche j servent de conditions d'entrées pour la tranche $(j+1)$.

L'initialisation du calcul nécessite donc la connaissance :

1. De la température et de la teneur en eau du produit au début du séchage.
2. Des températures T_{pe} et T_{pi} .

Remarque:

D'après Dissa et al. [10], en négligeant les pertes thermiques du séchoir le système se simplifie fortement et devient

$$Sh_{v54}(\theta_{j-1}^{n+1} - T_j^{n+1}) = P_{ev(j)}^{n+1} + m_a C_p \left[\frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{\Delta t} \right] \quad (6)$$

$$P_{p(j)}^{n+1} = Sh_{v54}(\theta_{j-1}^{n+1} - T_j^{n+1}) \quad (7)$$

$$P_{p(j)}^{n+1} = m_a C_p \left(\frac{\theta_{j-1}^{n+1} - \theta_j^{n+1}}{\Delta t} \right) \quad (8)$$

$$P_{ev(j)}^{n+1} = L_v \frac{h_e h_i}{h_e + h_i} (C_{i(j)}^{n+1} - C_{v(j-1)}^{n+1}) \quad (9)$$

En posant : $H_1 = Sh_{efv}$ (10)

$$H_2 = L_v \cdot \rho_v \cdot S_v \frac{h_e h_i}{h_e + h_i} \quad (11) \quad C_1 = \frac{m_a C_p}{\Delta t} = \dot{m}_a C_p$$

(12)

$$\text{et } C_2 = \frac{m_f C_{p_f}}{\Delta t} = \dot{m}_f C_{p_f},$$

(13)

Le système devient :

$$H_1(\theta_{j-1}^{n+1} - T_j^{n+1}) = P_{ev(j)}^{n+1} + C_2(T_j^{n+1} - T_j^n) \quad (14)$$

(15)

$$P_{p(j)}^{n+1} = H_1(\theta_{j-1}^{n+1} - T_j^{n+1}) \quad (16)$$

(17)

$$P_{p(j)}^{n+1} = C_1(\theta_{j-1}^{n+1} - \theta_j^{n+1})$$

En substituant l'équation (14) dans l'équation (15) on a.

$$T_j^{n+1} = \frac{1}{(C_2 - H_1)} (H_1 \theta_{j-1}^{n+1} - H_2 (C_{i(j)}^{n+1} - C_{v(j-1)}^{n+1}) + C_2 T_j^n) \quad (18)$$

$$P_{ev(j)}^{n+1} = H_2 (C_{i(j)}^{n+1} - C_{v(j-1)}^{n+1})$$

$$\theta_j^{n+1} = \frac{1}{C_1} ((C_1 - H_1) \theta_{j-1}^{n+1} + H_1 T_j^{n+1}) \quad (19)$$

La teneur en eau équivalente du produit est

donnée par :

$$X_{eq} = \frac{CKX_M A_w}{(1 - KA_w)(1 - KA_w + CK A_w)} \quad (20)$$

La vitesse de séchage déduite du modèle de Page s'écrit :

$$\Delta X_j^{n+1} = -X_0 \Delta t \left[anK \Delta t^{n-1} \exp(-k \Delta t^n) + b \right] \quad (21)$$

$$C_{i(j)}^{n+1} = C_{io} + \frac{\Delta X_j^{n+1}}{1 + \Delta X_j^{n+1}} \quad (22)$$

Ce sont les équations (18), (19), (20), (21), (22) et (23) qui sont utilisées pour la simulation

Resultats Et Discussions:-

Evolution des courbes de séchage

Cinétique de séchage

Les courbes représentatives de la teneur en eau (bs) des trois claies de séchage pour deux jours de séchage sont représentées sur la figure 13. Ces courbes décroissent de 4,5 à 1,5 au premier jour. Au 2^e jour, les teneurs en eau décroissent jusqu'aux alentours de 1 avant de se stabiliser.

Ces résultats traduisent une chute de la teneur en eau durant le premier jour qui est ralenti la nuit et à nouveau commence à baisser au second jour avant de se stabiliser aux alentours de 10h.

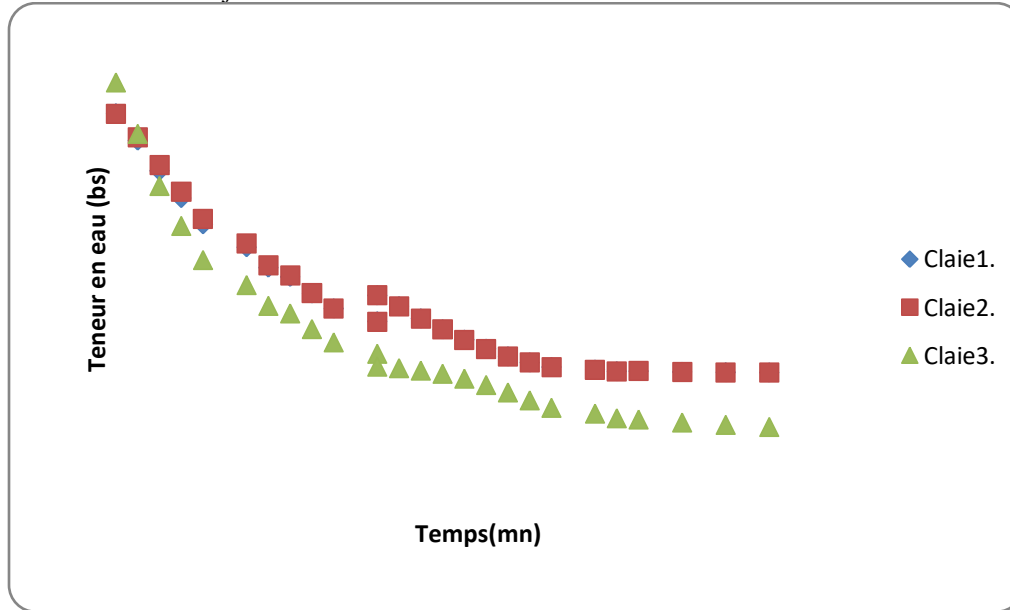


Figure 3:- Evolution de la teneur en eau (bs) des trois claies en fonction de la durée de séchage.

Les courbes de la figure4 illustrent les variations de la teneur en eau réduite en fonction du temps et montrent une variation identique comme dans le cas de la figure3. Ces résultats traduisent le pourcentage d'eau évacuée durant la période de séchage. Les courbes montrent ainsi qu'environ 65% de l'eau des rondelles est évacuée au 1^{er} jour de séchage et 20% au 2^e jour.

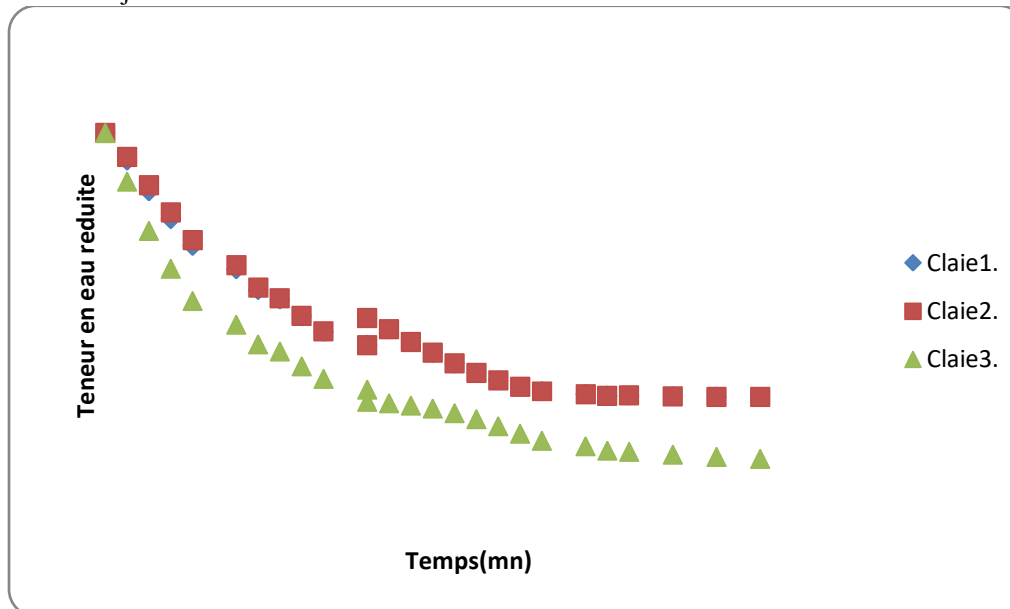


Figure 4:- Evolution de la teneur en eau réduite par claie de séchage en fonction de la durée de séchage.

Vitesse de séchage

Les courbes d'évolution du flux de matière en fonction du temps sont présentées sur la figure 5. On remarque la vitesse de la claie 1 est sensiblement le double de celle de la claie 3 avant que leurs courbes représentatives ne se confondent dans l'intervalle de temps [180-240]. Après quoi les deux courbes décroissent de [510-600], elles restent confondues et enfin les trois courbes s'annulent. De même ces résultats montrent que la phase 0 n'existe pas et la décroissance de la vitesse s'explique par la diminution des forces capillaires faisant en sorte que le flux massique d'eau transféré en surface devient inférieure celui d'eau évaporée.

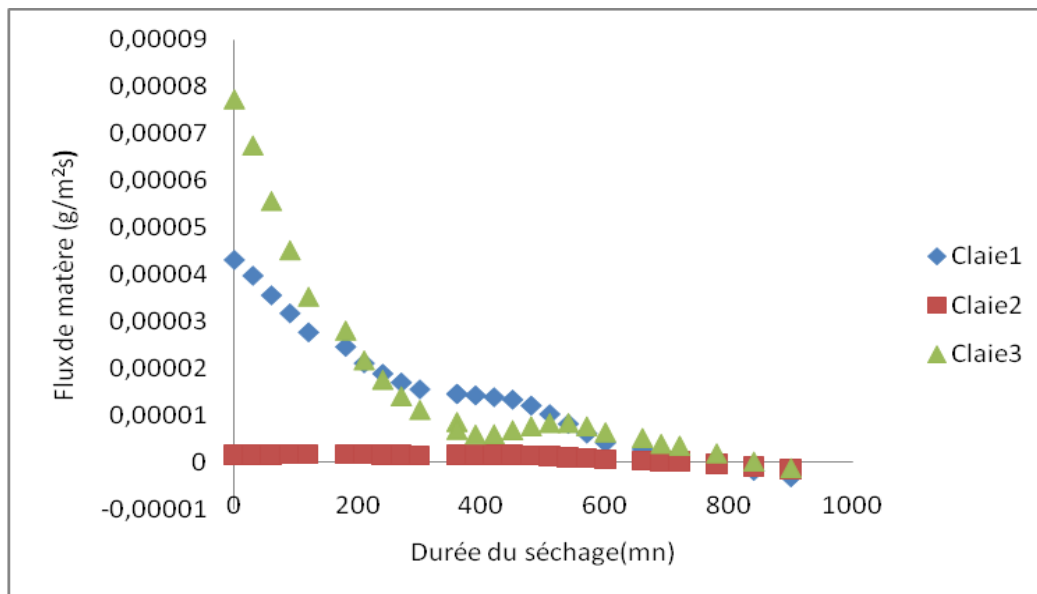


Figure 5:- Vitesse de séchage par claie des rondelles de banane donnée par le flux de matière.

Modèle de cinétiques et de vitesses de séchage

Ajustement des courbes de séchage

Après analyse des statistiques d'ajustement de plusieurs modèles de la littérature, les deux modèles simples à deux termes qui semblent les plus convenables pour les cinétiques de séchage solaires des rondelles de banane sont le modèle Logarithmique et le modèle de Midilli et al.[12] présentés sur le tableau 1. Les statistiques d'ajustement à l'aide de ces deux modèles sont présentées sur le même tableau.

Tableau 1:- Evaluation des constantes des modèles Logarithmique et de Midilli et al.[12] pour les rondelles de bananes.

Modèle	Expresión	Valeurs des paramètres	R ²	RMSE
Logaritmique	$\frac{X}{X_0} = a \exp(-bt) + c$	a=0.7102; b=0.2411 c=0.2732	0.9938	0.01654
Midilli et kucuk.	$\frac{X}{X_0} = a \exp(-k(t^n)) + bt$	a=1.009; b=0.01055 k=0.2231; n=0.82	0.9953	0.01463

De ces modèles, on en déduit les vitesses de séchages approchées associées à ces modèles sous la forme :

- Modèle logarithmique :

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = m_s \frac{dX}{dt} = -m_s X_0 a b \exp(-bt) = -ab m_0 \exp(-bt) \quad (23)$$

avec m_0 la masse initiale de

banane et a et b les constantes données dans le tableau 1.

- Modèle de Midilli et Kucuk

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = m_s \frac{dX}{dt} = -m_s X_0 a n k t^{n-1} \exp(-k t^n) + b m_s X_0 = m_0 (b - a n k t^{n-1} \exp(-k t^n)) \quad (24) \text{ avec } n,$$

k, a et b les constantes données dans le Tableau a et m_0 la masse initiale de banane.

Modèle de diffusivité d'eau

Le modèle de diffusivité d'eau adopté dans notre étude est de type Arrhenius donné par :

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right). \quad (25)$$

Avec E_a l'énergie d'activation ; T la température absolue(K)

Les constantes D_0 et E_a de ce modèle ont été obtenues grâce au travail de ;Sankat et al. [12], Minh-Hue et al.[13], la diffusivité d'eau des rondelles de banane a alors été donnée par l'expression,

$$D = 40348 \exp\left(-\frac{34,7 * 10^3}{RT}\right). \quad (26)$$

Modèle d'isotherme de sorption

Parmi les modèles d'isothermes de sorption utilisés pour les produits alimentaires, il ressort dans la littérature que le modèle GAB est celui qui convient le mieux pour les rondelles de banane. Ce modèle est donné par :

$$X_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w) [1 + (C - 1) K a_w]}, \quad C = C_0 \exp\left(\frac{H_1 - H_m}{RT}\right) \text{ et } K = K_0 \exp\left(\frac{H_1 - H_q}{RT}\right), \quad (27) \text{ (Talla et al. [14]),}$$

Avec H_1 , H_m , H_q respectivement la chaleur de condensation de l'eau pure, la chaleur totale de sorption de la monocouche, et la chaleur totale de sorption des autres couches, $H_1 - H_q = (-97,74 \text{ KJ.mol}^{-1})$ et $K_0 = 1,359$ avec X_{eq} la teneur en eau d'équilibre, X_m la teneur en eau correspondant à la monocouche de saturation, a_w l'activité de l'eau, C et K des constantes relatives à la chaleur de sorption de la monocouche de saturation.

Les valeurs des paramètres du modèle GAB pour les rondelles de banane ont été obtenues à partir des travaux de Talla et al. [14]. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2: -Valeurs estimatives des paramètres du modèle GAB Talla et al. [14]

Produit	$\theta(^{\circ}C)$	X_m	C	K
Banane $\bar{X}_0 = 3,77$ ($kg_{eau} \cdot kg_{dm}^{-1}$)	25	0,127	9295,7	0,979
	40	0,108	6531,4	0,993
	50	0,095	3420,9	1,009
	60	0,083	1828,3	1,011

V. Calcul des coefficients de transfert de masse et de chaleur h_e , et h_i .

Pour le calcul des coefficients de transfert de masse et de chaleur au cours du séchage des rondelles de banane, on a eu recours aux expressions des nombres de Sherwood et de Nusselt pour une plaque circulaire. Ainsi pour des écoulements laminaire et turbulent on a respectivement ;

$$Sh = \frac{h_m L}{D_0} = 0,332 Re^{0,5} Sc^{0,33} \quad (\text{Karim et al. [15]}) \quad (28)$$

$$Sh = \frac{h_m L}{D_0} = 0,0296 Re^{4/5} Sc^{1/3} \quad (29)$$

Où h_m est le coefficient de transfert de masse.

De même pour des écoulements thermiques laminaire et turbulent

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0,332Re^{0,5} Pr^{0,33} \quad (\text{Karim et al.}[15]) \quad (30) \quad Nu = \frac{hL}{k} = 0,0296Re^{0,5} Pr^{0,33} \quad (31)$$

Courbes de séchages simulés

La teneur en eau du produit à la fin du premier jour de séchage correspond à la teneur en eau initiale pour le deuxième jour et celle du deuxième jour est utilisée comme teneur en eau initiale du troisième jour. Les températures de l'air et du produit sont supposées constantes au début du séchage.

Les courbes d'évolution de la température de la teneur en eau (bs) du produit, de sa température, de la température de l'air de séchage et de la fraction d'eau dans l'air en fonction de la durée du séchage sont présentées sur la figure.6. A ce premier jour de séchage, la teneur en eau passe de 4.26 à 0.52. L'équilibre thermique entre le produit et l'air séchant est atteint après 4,5 h de séchage. La température et la fraction d'eau de l'air séchant se stabilisent au bout de la même durée.

Ces résultats montrent qu'environ 79% de l'eau du produit est éliminée au premier jour de séchage. Cette eau est en majorité de l'eau libre évaporée au tout début au processus de séchage. La figure 1 montre que le premier jour de séchage permet d'avoir une teneur en eau en fin de journée de 52 % (bs). Cette teneur en eau n'étant pas dans la gamme des teneurs en eau de conservation données par la littérature, les résultats théoriques exigent donc un deuxième jour de séchage.

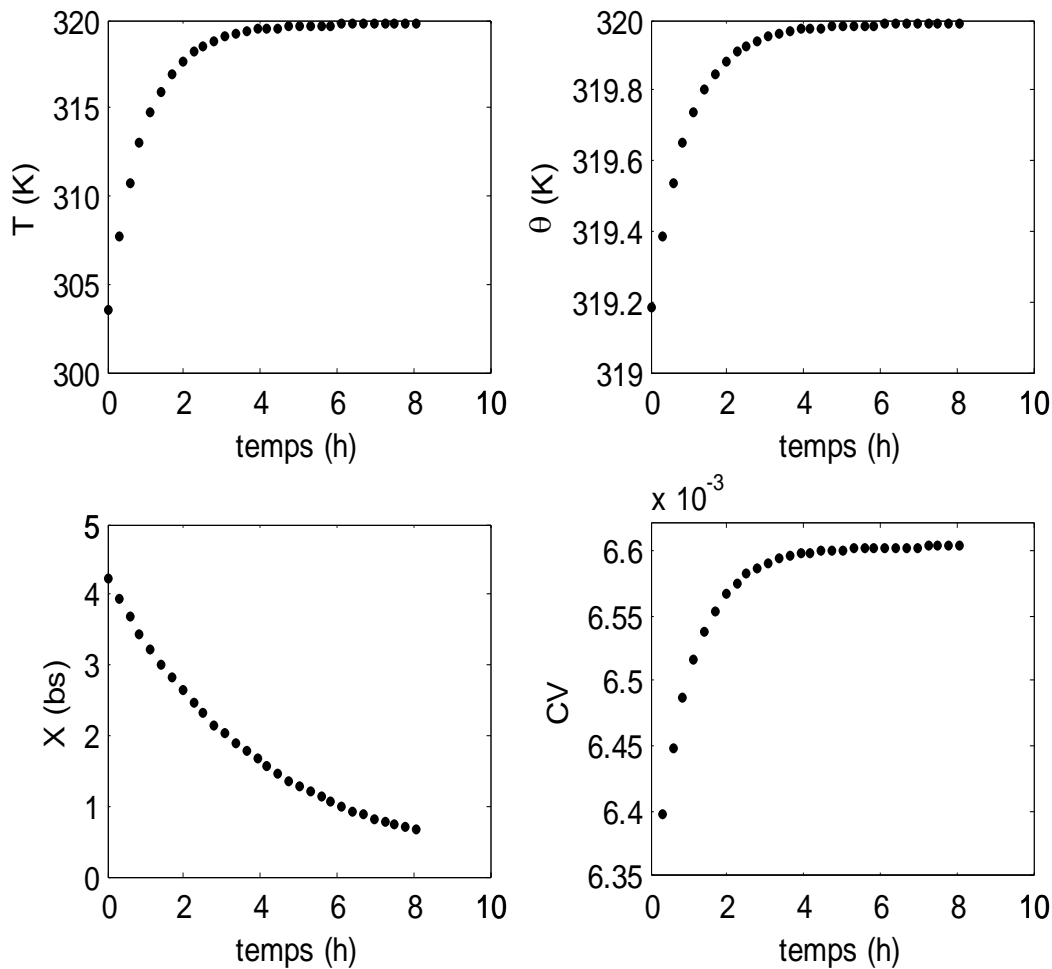


Figure 6:- Courbes Simulées de l'évolution de la température du fruit (T), de l'air(Theta), de l'humidité absolue en base sèche (X (bs) du fruit et la fraction massique de la vapeur d'eau dans l'air (CV) au premier jour de séchage.

Comme sur la figure6 les courbes d'évolution de la température de la teneur en eau (bs) du produit, de sa température, de la température de l'air de séchage et de la fraction d'eau dans l'air en fonction de la durée du séchage sont présentées sur la figure7. La température de l'air et celle du fruit évoluent parallèlement tout au long du séchage.

Ces courbes traduisent que la fraction massique de la vapeur d'eau dans l'air augmente et celle du fruit diminue car l'air s'humidifie par absorption d'eau du produit. La teneur en eau en base sèche au deuxième jour de séchage se situe en dessous de 0,2 soit 0,1742 (17,42%) cette teneur en eau finale correspond à la gamme de conservation des produits à forte teneur en eau 15% - 30% donnée par la littérature.[13]

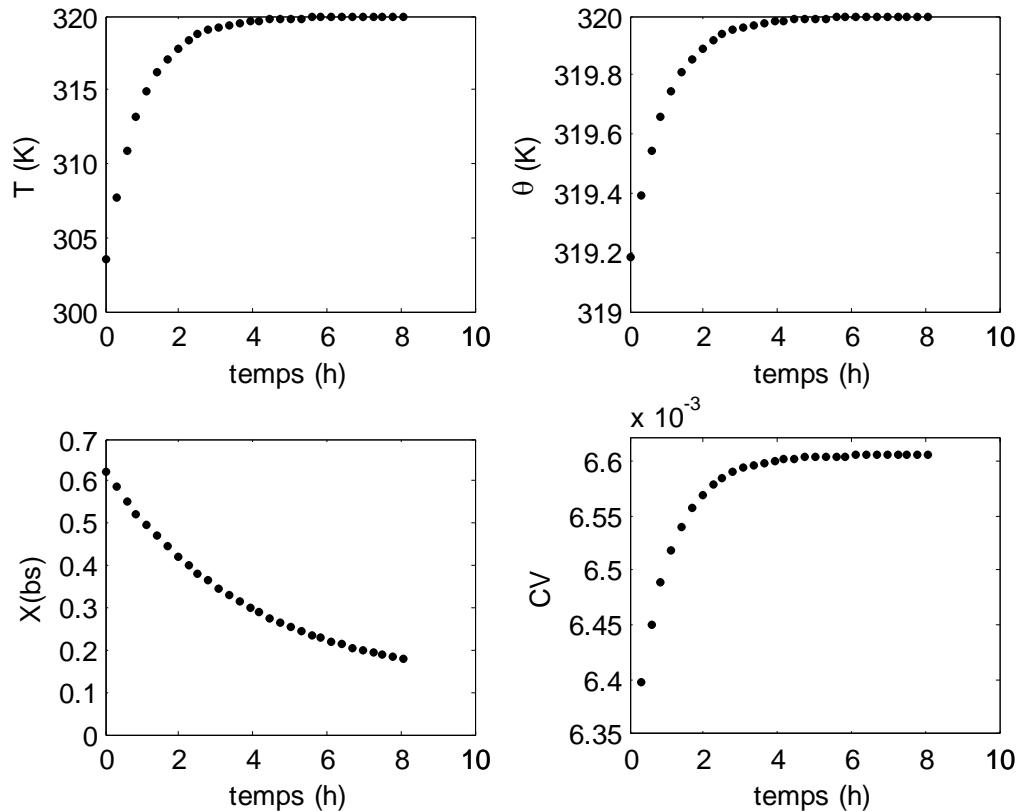


Figure7:- Courbes Simulées de l'évolution de la température du fruit (T), de l'air (Θ), de l'humidité absolue en base sèche X (bs) du fruit et la fraction massique de la vapeur d'eau dans l'air (CV) au deuxième jour de séchage.

Conclusions Et Perspectives:-

Ce travail nous a permis de comprendre les mécanismes de transfert convectif des produits agroalimentaires à haute teneur en eau en utilisant comme source d'énergie le soleil et la banane comme produit.

Expérimentalement il a été possible de sécher 5 Kg de banane en deux jours de séchage discontinu avec des températures allant jusqu'à 75°C dans la cage de séchage. L'introduction des ailettes a permis d'obtenir un écoulement turbulent qui favorise l'échange thermique convectif entre l'air et l'absorbeur.

En perspective, le séchage solaire s'effectuant à température élevée, pour palier à l'insuffisance énergétique nocturne il serait opportun de mener les études suivantes.

1. Adjoindre un système de stockage d'énergie constitué d'un lit de cailloux (granite) peints en noir
2. Utiliser une cheminée large qui permet de doubler la vitesse de l'air contrairement à la hauteur qui influe peu sur les paramètres de fonctionnement. Utiliser un ventilateur à l'entrée du capteur.

Acknowledgement:-

We are grateful to the International Science Program (ISP) for supporting BUF01.

Disclosure of conflict of interest

No conflict of interest to be disclosed.

References:-

- [1]. B.M.A. Amer, M.A. Hossain, K. Gottschalk, Design, and performance evaluation of a new hybrid solar dryer for banana, *Energy Convers. Manag.* 51 (4) (2010) 813–820, <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2009.11.016>.
- [2]. Liyanage, R., Gunasegaram, S., Visvanathan, R., Jayathilake, C., Weththasinghe, P., Jayawardana, B. C., et al. (2016). Banana blossom (*Musa acuminata* Colla) incorporated experimental diets modulate serum cholesterol and serum glucose level in Wistar Rats Fed with cholesterol. 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9747412>
- [3]. M.N. Musembi, K.S. Kiptoo, N. Yuichi, Design, and analysis of solar dryer for mid-latitude region, *Energy Procedia* (2016) 98–110, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.145>.
- [4]. A. Lingayat, V.P. Chandramohan, V.R.K. Raju, Design, development, and performance of indirect type solar dryer for banana drying, *Energy Procedia* 109 (2017) 409–416, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.041>.
- [5]. A.G. Ferreira, C.B. Maia, M.F.B. Cortez, R.M. Valle, Technical feasibility assessment of a solar chimney for food drying, *Sol. Energy* 82 (3) (2008) 198–205, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2007.08.002>.
- [6]. J.K. Afriyie, M.A.A. Nazha, H. Rajakaruna, F.K. Forson, Experimental investigations of a chimney-dependent solar crop dryer, *Renew. Energy* 34 (1) (2009) 217–222, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.010>.
- [7]. J.K. Afriyie, H. Rajakaruna, M.A.A. Nazha, F.K. Forson. Mathematical modelling and validation of the drying process in a chimney-dependent solar crop dryer. *Energy Convers. Manag.*, 67 (2013), pp. 103-116, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.007>.
- [8]. C.B. Maia, A.G. Ferreira, R.M. Valle, M.F.B. Cortez, Analysis of the airflow in a prototype of a solar chimney dryer, *Heat Tran. Eng.* 30 (5) (2009) 393–399, <https://doi.org/10.1080/01457630802414797>.
- [9]. A. Midilli, H. Kucuk, Z. Yapar, A New model for single layer drying, *Dry. Technol.* 20 (7) (2007) 1503–1513, <https://doi.org/10.1081/DRT-120005864>
- [10]. Dissa, A.O. (2007) Séchage convectif de la mangue : Etude de l'influence des paramètres aérauliques et intrinsèques, conception et modélisation du fonctionnement d'un séchoir solaire indirect. Thèse de Doctorat Unique, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- [11]. Michel Daguene. Les séchoirs solaires : théorie et pratique. UNESCO, 1985, ISBN 93-3-202375-X.
- [12]. Sankat CK, Castaigne F, Maharaj R (1996) The air-drying behavior of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *Int. J. Food Sci. Technol.* 31: 123-135.
- [13]. Minh-Hue Nguyen, William E. Price. Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of Food Engineering*, Volume 79, Issue 1, March 2007, Pages 200-207. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.063>
- [14]. A Talla, Y Jannot, GE Nkeng, JR Puiggali - *Drying Technology*, 2005 - Taylor & Francis. Experimental Determination and Modeling of Sorption Isotherms of Tropical Fruits: Banana, Mango, and Pineapple. <https://doi.org/10.1081/DRT-200063530>.
- [15]. KARIM M.A., HAWLADER M.N.A. “Drying characteristics of banana, Theoretical modelling and experimental validation”, *Journal of food engineering*, vol. 70, pp. 35-45, 2005.