
Étude expérimentale de la consommation énergétique du séchage de la banane dans un séchoir électrique prototype

André Talla^{1*} et Yves Jannot²

¹Laboratoire d'Énergétique, École Nationale Supérieure Polytechnique, Département des Génies Industriel et Mécanique, Université de Yaoundé I, BP 16 034 Yaoundé, Cameroun. *Email: andre_talla@yahoo.fr; and ²LEMETA, Université de Nancy, CNRS, 2, avenue de la Forêt de Haye, P. Box 160, 54504 Vandoeuvre Cedex, France.

Talla, André et Yves Jannot. 2011. **Étude expérimentale de la consommation énergétique du séchage de la banane dans un séchoir électrique prototype**. Canadian Biosystems Engineering/La génie des biosystèmes au Canada. 53 : 3.29–3.35. Ce travail est consacré à l'étude expérimentale de la consommation énergétique du séchage de la banane. Un séchoir électrique prototype d'une capacité de 120 kg de produits frais, répondant au besoin d'un producteur, est conçu et réalisé. Ce système est ensuite utilisé pour mener une étude expérimentale de la consommation énergétique du séchage de la banane en tenant compte de l'influence des paramètres aérodynamiques dans l'enceinte de séchage. Les résultats obtenus montrent que la teneur en eau finale de conservation recherchée, de 20% environ en base sèche, est satisfaite au bout de 35 heures lorsque le séchage se fait à 60°C sans recirculation de l'air ; la consommation énergétique est alors de 83 kWh. En revanche, l'énergie consommée est relativement faible (seulement 30 kWh) lorsque le séchage, réalisé à température modérée (40°C), est combiné à un taux de recirculation de l'air dans le séchoir. La combinaison des paramètres aérodynamiques, peut donc permettre de diviser pratiquement par trois la consommation énergétique de séchage contre un temps d'opération un peu plus long (65 heures). Ce résultat apporte un indicateur intéressant sur les contraintes énergétiques liées à ce type de solution de conservation de la banane, produit fortement périssable ayant une grande importance pour l'économie des pays d'Afrique Subsaharienne en particulier. **Mots clés:** Séchage, banane, cinétique, séchoir électrique, consommation énergétique.

This work is devoted to the experimental study of banana drying energy consumption. A prototype drier with a capacity of 120 kg fresh products, meeting the needs of a producer, was designed and built. The system was then used to undertake an experimental study on energy consumption of banana drying, taking into account the influence of the aerodynamic settings within the drying enclosure. The results showed that the final sought water content, approximately 20%, dry basis, is obtained in 35 hours when drying is made at 60°C without recirculation of air; the power consumption was 83 kWh. The power consumption was lower (only 30 kWh) if drying at lower temperatures (40°C) was combined to air recirculation during the process. The combination of the aerodynamic settings would therefore make it possible to practically divide the energy drying consumption by three; this against a relatively longer operation time (65 hours). This result brings an interesting indicator on the energy constraints related to this type of processing for banana conservation, a strongly perishable product with great importance for the economy of Sub-Saharan African countries in

particular. **Keywords:** drying, banana, kinetics, electric drier, energy consumption.

INTRODUCTION

Le séchage des produits agro-alimentaires est une technique vitale pour les pays en développement dont l'autosuffisance alimentaire repose essentiellement sur l'agriculture. Il consiste à diminuer l'activité de l'eau de ces produits jusqu'à une valeur assurant leur conservation, ceci en respectant certains critères de qualité et en garantissant, pour la chaîne de production, une cadence et un coût raisonnable (Bimbenet 1978).

Les fruits tropicaux, en l'occurrence la banane, ont une importance capitale pour l'économie de plusieurs pays d'Afrique subsaharienne. Au Cameroun par exemple, la banane est produite industriellement et traditionnellement toute l'année dans la zone équatoriale ; 14% de cette production est directement destiné à l'exportation. Dans les zones rurales essentiellement agricoles, on enregistre jusqu'à 60% des pertes après récolte (Ministère de l'Agriculture 1986) du fait de l'enclavement des ces zones pour la plupart (absence des infrastructures routières) et du manque des équipements de conservation. Initialement, le principal intérêt de cette technique de conservation était de pallier le décalage saisonnier entre la plupart des produits vivriers et d'étaler leur consommation sur l'année. De plus en plus, la revalorisation de ces produits s'affirme grâce à l'ouverture vers des marchés extérieurs (européens et africains). La banane transformée par une opération de séchage aura des débouchés à l'exportation et constituerait une opportunité de revalorisation des excédents de production.

Les produits agro-alimentaires possèdent très souvent une structure variable aussi bien dans l'espace que dans le temps. On note, au cours du séchage, la diminution de leur surface du fait de la contraction des tissus provoquée par le départ d'eau. Il en résulte que tous les paramètres qui dépendent des dimensions internes changent. C'est pour cette raison que plusieurs auteurs ont consacré leurs travaux au concept de courbe caractéristique de séchage pour décrire le comportement des cinétiques de séchage de

ces produits (Jannot et al. 2004; Talla et al. 2001; Ahouannou et al. 2000; Coutinho et al. 1997; Kiranouidis et al. 1997; Drouzas et Schubert 1996; Belahmidi et al. 1993; Desmorieux et Moyne 1992). Les isothermes de sorption, un des problèmes importants de stabilisation et de conservation de ces produits par séchage, constituent un des axes privilégiés de recherche de certains auteurs (Talla et al. 2005; Arogba 2001; Vijayanand et al. 2000; Mir et Nath 1995; Myhara et al. 1998; Tsami et al. 1999). L'attention d'autres auteurs est portée sur le phénomène de retrait et le coefficient de diffusion pendant l'opération de séchage des fruits (Talla et al. 2004; Krokida et Maroulis 1997; Mauro et Menegalli 1995).

Pour ce qui concerne la consommation énergétique de séchage des fruits, quelques auteurs se sont intéressés à la source d'énergie utilisée pour l'opération de séchage (Schirmer et al. 1996; Drouzas et Schubert 1996; Bowrey et al. 1980) mais à notre connaissance, la littérature ne fournit à ce jour aucune information concernant la consommation énergétique du séchage de la banane en particulier.

Une telle information sur les contraintes énergétiques constituerait un indicateur intéressant de décision à une telle approche de stabilisation de ce produit en vue de la conservation, compte tenu de son importance pour l'économie des pays d'Afrique Subsaharienne en particulier.

L'objectif de ce travail est de déterminer la consommation énergétique de séchage de la banane dans un séchoir électrique prototype, de capacité répondant au besoin d'un producteur, conçu et réalisé à cet effet. Cette étude prend en compte l'influence des paramètres aérodynamiques, dans l'enceinte du séchage, sur cette consommation.

MATERIEL ET METHODES

Description du séchoir

Le dispositif expérimental est une enceinte de séchage permettant de soumettre des produits agroalimentaires à des conditions de température, vitesse et humidité de l'air contrôlées par un système de régulation. Ce contrôle des paramètres permettrait de mieux maîtriser la compréhension des phénomènes physiques qui régissent l'évolution des transferts de chaleur et de masse au cours du séchage de ces produits. C'est un dispositif de type statique (supports des produits immobiles). La circulation de l'air dans le séchoir peut être ouverte ou recyclée. Ce dispositif schématisé à la Fig. 1 comprend :

- Une ossature de forme parallélépipédique (200 cm × 102 cm × 192 cm) constituée :
 - en vue en coupe, de deux compartiments : le compartiment inférieur qui sert d'enceinte de séchage et le compartiment supérieur qui sert de logement à la gaine et ses différents accessoires. On note aussi au niveau du couloir de distribution de l'air, un système de logement de vanne guillotine permettant d'exploiter seulement la moitié du séchoir. Le couloir d'évacuation d'air dispose quant à lui d'un système de guidage de vannes permettant l'ajustement du taux de renouvellement de l'air;
- en vue de l'extérieur, la face avant présente les deux battants de la porte d'accès à l'enceinte de séchage et un certain nombre d'éléments qui participent à la mise en marche et à l'exploitation du séchoir (panneau de commande, compteur électrique, variateur de vitesse). Le côté gauche comprend deux orifices de section rectangulaire, l'un permettant l'aspiration et l'autre le refoulement de l'air. La face arrière comporte douze (12) petits orifices de section circulaire par compartiment, permettant d'engager les sondes de mesure de température et de vitesse de l'air ;
- Une gaine de chauffage qui comprend :
 - deux ventilateurs centrifuges d'une puissance de 350 W, chaque ventilateur a un débit d'air nominal de $1\,500\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$;
 - une batterie de résistances chauffantes de puissance totale 16 kW ;
 - un conduit d'air composé d'un convergent qui relie les ventilateurs à la batterie de résistances et d'un divergent qui adapte la sortie de la batterie chauffante et l'entrée du couloir de distribution d'air. Pour favoriser une répartition homogène des couches d'air sur les claies, deux déflecteurs inclinés horizontalement d'un angle de 22.5° de part et d'autre de l'axe de symétrie du divergent sont fixés en amont de ce dernier.
- Un couloir de distribution d'air constitué :
 - d'un couloir parallélépipédique de section horizontale 12 cm × 86 cm et disposé sur le côté droit de l'enceinte de séchage et recevant l'air chaud en provenance du système de chauffage ;
 - des orifices d'admission d'air dans l'enceinte (section rectangulaire), de dimensions 2 cm × 86 cm exécutés tout au long de la paroi gauche du caisson de ce couloir au droit de chaque claie ;
- Une enceinte de séchage conçue pour favoriser un écoulement parallèle de l'air sur les produits ; elle comprend deux colonnes de 12 claies chacune et séparées les unes des autres par des tôles pleines. Cette disposition vise à obtenir un séchage homogène des produits, dans l'enceinte au cours du temps, sans souci de permutation des claies généralement nécessaire dans des séchoirs à écoulement perpendiculaire de l'air par rapport aux produits ;
- Des claies conçues pour favoriser l'évaporation d'eau à travers toute la surface du produit. Les ouvertures exécutées sur chaque claie, du côté frontal par rapport à l'écoulement de l'air, permettent que toute la surface d'échange soit en contact avec le fluide d'entraînement ;
- Un couloir de refoulement et de recirculation de l'air, de même dimension que le couloir de distribution, qui collecte l'air provenant de l'enceinte de séchage. Cet air est rejeté entièrement ou partiellement dans l'ambiance par l'intermédiaire de l'orifice de refoulement situé plus bas. Le réglage du débit d'air recirculé se fait par obturation partielle (ou totale pour un taux de recirculation nul) du couloir de refoulement par un système de vannes ;
- Une aspiration de l'air neuf, par convection forcée, assurée par l'ouverture supérieure exécutée à la face gauche du séchoir.

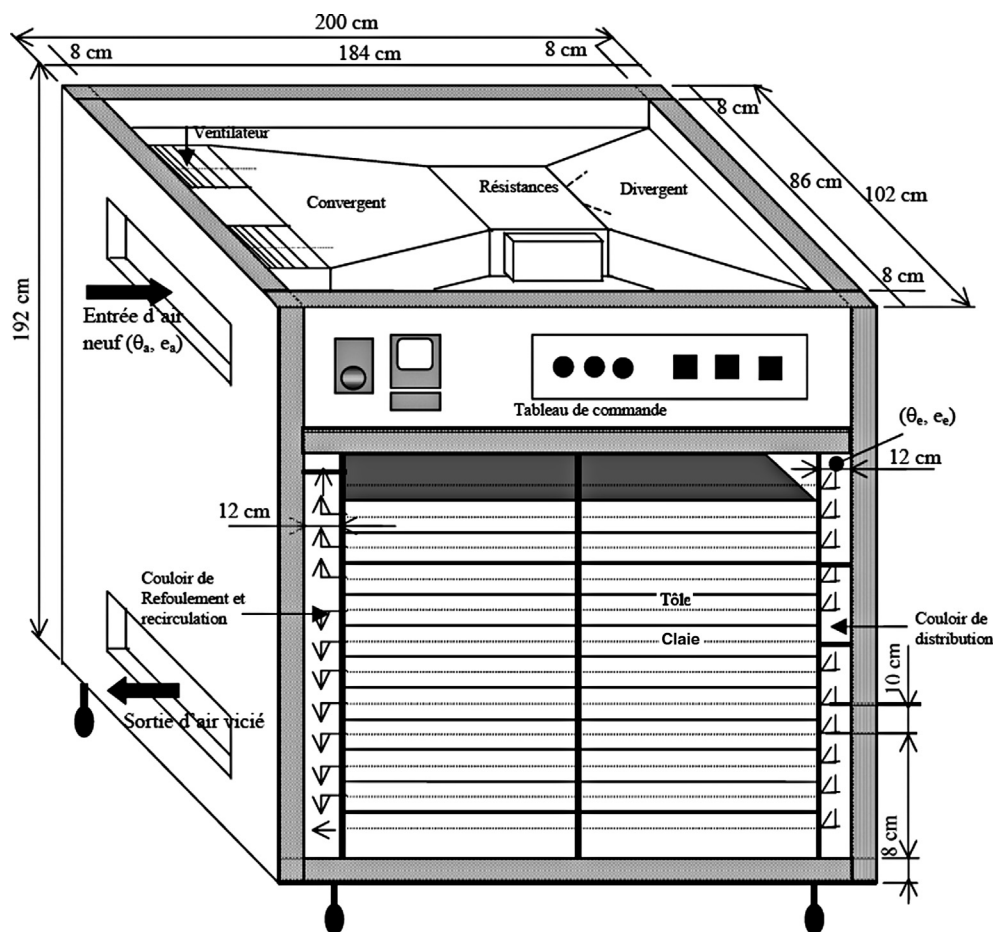


Fig. 1. Dispositif expérimental

Description du protocole expérimental

Instrumentation et contrôle Pour permettre la mesure de la consommation énergétique et le contrôle des paramètres aérodynamiques, le séchoir est équipé des instruments qui suivent :

- Un compteur électrique pour l'enregistrement de la consommation d'énergie ;
- Un variateur de vitesse permettant de réajuster le débit d'air à la valeur désirée ;
- Un coffret de régulation intégrée associé à la batterie de chauffages pour le contrôle de température dans l'enceinte de séchage, pouvant supporter une puissance maximale de 22.8 kW ; le coffret est équipé d'un régulateur de type PID, d'un contacteur comme organe de puissance et d'une sonde platine de type « Pt100 ohms/0°C » avec une plage de température de 0 à 300°C ;
- Une balance électronique "Mettler" de précision ± 0.001 g pour l'acquisition des informations relatives à la masse des produits ;
- De sondes de mesure de température et d'hygrométrie de l'air permettant la transmission des informations au système d'acquisition ;
- Un anémomètre à fil chaud pour le contrôle de la vitesse d'écoulement d'air dans la l'enceinte de séchage ;

- Une centrale d'acquisition de données connectée à un micro-ordinateur doté du logiciel approprié qui permet l'acquisition visuelle dans le temps, le stockage et le traitement des données.

Préparation des échantillons Les produits subissent un traitement par lavage à l'eau, avant d'être épluchés et découpés selon la taille et la forme souhaitées. Les bananes utilisées dans tous les essais ont un diamètre moyen à 30 mm. Elles sont découpées transversalement en morceaux de 50 mm puis chaque morceau est fendu longitudinalement en quatre secteurs cylindriques égaux.

Description et mesures des paramètres aérodynamiques Dans le dispositif expérimental présenté plus haut, l'air est aspiré par les deux ventilateurs centrifuges orientés vers la batterie de chauffage par le biais d'un élément convergent. Il est ensuite chauffé jusqu'à la température de consigne et dirigé vers le couloir de répartition par un diffuseur où il est distribué dans l'enceinte de séchage comprenant 12 claies par compartiment, soit 24 claies au total. Ces claies de 0.645 m² chacune sont en fil « Nylon » tissé, sur lequel repose une grille de type « moustiquaire » constituée d'une matière avec fibre de verre pour mieux résister aux températures élevées. D'un niveau à l'autre les claies sont séparées par de la tôle pleine galvanisée. Cette disposition favorise d'une part un écoulement parallèle de

l'air par rapport au produit et d'autre part un séchage presque uniforme des denrées au cours du procédé. La vitesse moyenne de l'air mesurée pendant les essais à l'aide d'un anémomètre à fil chaud est de $2.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pour des densités de chargement de 4.13 à $5.24 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ de produits. La température à l'entrée de l'enceinte de séchage est maintenue à la valeur de consigne grâce au système de régulation PID. Toutes les mesures prises sont enregistrées à toutes les heures pendant les 5 premières heures, puis toutes les 2 h pendant 10 h et enfin toutes les 5 h pour le reste de la durée du séchage estimée au maximum à 72 h pour la banane (Talla et al. 2001). L'acquisition en continu de la température sèche et humide à l'aspiration de l'ensemble et le long des claies situées au même niveau ou non dans l'enceinte de séchage, est assurée par des couples thermoélectriques du type K avec une précision de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ reliés à la centrale d'acquisition des données. Les mesures de la masse sont effectuées de façon discontinue par des pesées faites au moyen d'une balance électronique de précision $\pm 0.001 \text{ g}$. L'humidité relative de l'air ambiant est mesurée directement au moyen d'un thermo-hygromètre. La vitesse d'écoulement de l'air dans l'enceinte de séchage, quant à elle, est mesurée en plaçant la sonde de l'anémomètre à fil chaud à chacune des 12 sections d'écoulement de l'air au sein de la veine d'essai. Cette vitesse est variée en diminuant le débit d'air pulsé dans l'enceinte de séchage au moyen du variateur de vitesses agissant sur le ventilateur et monté sur le panneau de commande à la face frontale du séchoir.

Les essais à vide, avec pour but essentiel de mesurer la répartition de la vitesse de l'air dans l'enceinte de séchage et de procéder aux réajustements nécessaires pour obtenir une distribution aussi homogène que possible, ont précédés les essais en charge. Les mesures de vitesses sont prises en trois points à mi-parcours de chaque claie: aux deux extrémités et au milieu. En réajustant le variateur de vitesse pour une vitesse d'écoulement de l'air d'environ $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans l'enceinte, nous avons mesuré à vide, sur les douze claies, de vitesses moyennes de 2.08 , 2.04 et $2.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ respectivement à la première extrémité, au milieu et à la deuxième extrémité de ces claies. On relève également des écarts moyens de $0.07 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ aux extrémités et $0.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ au milieu des claies. La Fig. 2 donne les profils de vitesses obtenus au cours des essais à vide.

Protocole d'essais Nous rappelons dans un premier temps les conditions expérimentales. Les différents paramètres de consigne (température, humidité relative et vitesse de l'air) sont affichés sur les pupitres de contrôle du système de régulation. Les produits à sécher sont disposés sur les différentes claies en une couche mince puis placés dans l'enceinte de séchage, parallèlement à l'écoulement de l'air chaud. La circulation de l'air, le chauffage et l'humidification sont ensuite démarrés. Au bout d'une dizaine de minutes, le régime permanent s'établit. La troisième claie et la neuvième de chaque compartiment, représentatives du comportement d'ensemble de la cinétique de séchage dans le séchoir de part leur position géométrique, sont les claies témoins. On obtient, à partir de la mesure, la variation de masse des échantillons de ces claies témoins au cours du temps. Le séchage est

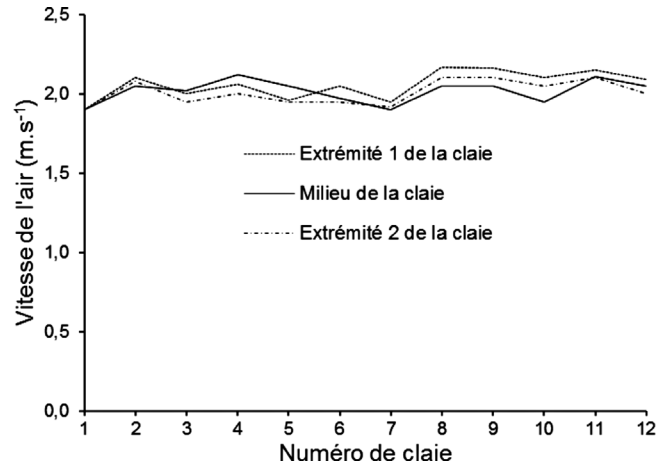


Fig. 2. Profils de vitesses lors des essais à vide dans le séchoir électrique prototype

interrompu au bout de 72 heures maximum, lorsque la teneur en eau finale en base sèche du produit est comprise entre 10 et 20 % $\text{kg eau}\cdot(\text{kg ms})^{-1}$ comme préconisé dans la littérature (GRET-GERES 1986).

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats expérimentaux

Un ensemble d'essais en charge, menés en fixant tour à tour quatre couples de paramètres température/taux de recirculation, ont été réalisés sur la banane à une humidité absolue de l'air pratiquement constante et égale à $0.02 \text{ kg eau}\cdot(\text{kg as})^{-1}$ et une vitesse moyenne de circulation de l'air de $2.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dans un premier temps, des essais ont été menés respectivement à des températures fixes de 50 et 60°C sans recirculation de l'air. Par la suite, d'autres essais à 50°C avec 50% d'ouverture de la vanne de recirculation d'air d'une part et d'autre part avec saut de température de 40 à 50°C au bout de 21 h environ (presque plus d'eau libre dans le produit) doublé de 50% d'ouverture de la vanne de recirculation de l'air ont complété la série. Le tableau 1 fournit les paramètres essentiels des résultats obtenus. La Fig. 3 a) montre les allures des cinétiques de séchage pour ces différents essais, obtenues en mesurant la masse au cours du temps et en calculant la teneur en eau moyenne en base sèche par application de l'équation (1) :

$$X_m = \frac{m_t}{m_f} (X_f + 100) - 100 \quad (1)$$

où X_m : teneur en eau moyenne en base sèche des produits à l'instant t (en% $\text{kg eau}\cdot(\text{kg ms})^{-1}$),

m_t : masse des produits à l'instant t (en kg),

m_f : masse des produits à la fin de séchage (en kg),

X_f : teneur en eau moyenne en base sèche des produits sur les claies témoin à la fin de séchage (en% $\text{kg eau}\cdot(\text{kg ms})^{-1}$).

Quant à la Figure 3 b) elle montre l'évolution des consommations énergétiques correspondantes, enregistrées au niveau compteur électrique, en fonction de la teneur en eau.

Tableau 1. Durée de séchage et énergie consommée en fonction de température et du taux d'ouverture de la vanne de recirculation

Série d'essais	$\theta(^{\circ}\text{C})$	Taux d'ouverture de la vanne de recirculation (%)	X_f (% kg eau. (kg ms) ⁻¹)	Durée séchage (h)	E (kWh)	Observations
1	50	0	19.87	60	106	
2	50	50	19.68	60	64	Recirculation après 10h30
3	60	0	18.99	35	83	
4	40/50	50	19.59	65	30	Recirculation après 21h25

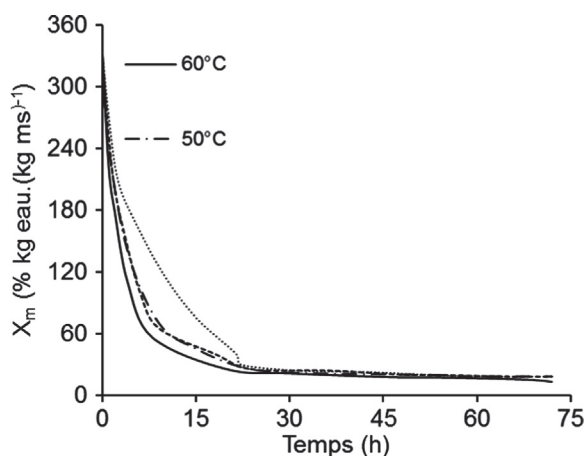
Interprétations

Le tableau 1 montre que la teneur en eau finale moyenne X_f de conservation recherchée, de 20% environ en base sèche, est satisfaite au bout de 35 heures lorsque le séchage se fait à 60°C sans recirculation de l'air. La consommation énergétique est alors de 83 kWh. L'énergie consommée

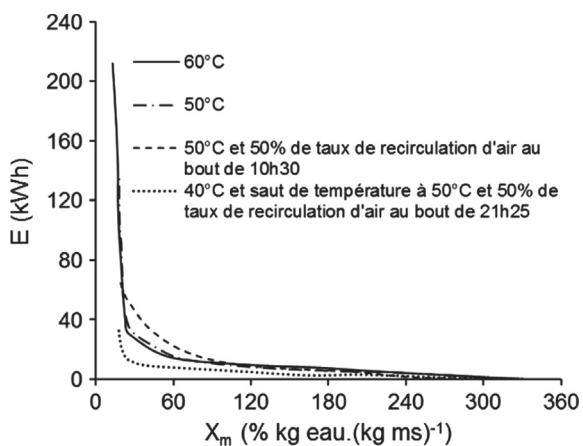
n'est, cependant, que de 30 kWh pour 65 heures de séchage à 40°C pendant environ 21 heures avant le passage à 50°C suivi de 50% de taux d'ouverture de la vanne de recirculation de l'air. Il ressort aussi que pour une durée de séchage identique (60 heures), le séchage à 50°C avec recirculation de l'air au bout de 10 heures 30 minutes conduit à une économie énergétique de l'ordre de 40%; la comparaison se référant au séchage à la même température sans recirculation de l'air.

La Fig. 3 a) montre l'influence des différentes conditions de séchage sur la cinétique de séchage. On peut relever sur cette figure que la vitesse de séchage évolue dans le même sens que la température. Les courbes obtenues à 50°C avec et sans recirculation de l'air se confondent pratiquement. On note également sur la même figure que le saut de température a pour effet de faire converger la courbe à 40°C vers la courbe à 50°C.

La Fig. 3 b), représentative des allures des courbes d'énergie consommée (pour différentes conditions de séchage de la banane) en fonction de la teneur en eau moyenne, montre que l'énergie consommée évolue lentement et reste pour l'ensemble des conditions d'essais en-dessous de 20 kWh pour une teneur en eau supérieure à 60% kg eau · (kg ms)⁻¹. Dans cette zone, l'évacuation de l'eau libre reste prédominante. Par la suite, la consommation d'énergie augmente rapidement en l'absence de recirculation de l'air et du fait que le produit n'a plus que, pour l'essentiel, l'eau liée difficile à évacuer. En revanche, on peut noter sur la même figure l'effet positif très sensible de la recirculation de l'air et du saut de température sur la consommation d'énergie: l'énergie consommée au cours du séchage de la banane à 50°C sans recirculation de l'air est environ le double de la consommation d'énergie à la même température avec recirculation de l'air et pratiquement le triple quand on y associe un saut de température de 40 à 50°C. La Fig. 4 présente les profils de consommation d'énergie au fil du temps. Ces courbes ont des allures quasiment linéaires avec des pentes qui augmentent en fonction de la température pour un séchage sans recirculation de l'air (2.83 kW à 60°C et 1.84 kW à 50°C). On note un changement de pente de la courbe de consommation dans le sens de la diminution du fait de la recirculation de l'air (cas du séchage à 50°C avec recirculation de l'air). L'association du saut de température à la recirculation de l'air contribue à accélérer le séchage en conduisant à la plus faible pente de la courbe de consommation d'énergie (pente moyenne de 0.48 kW pour le cas du séchage avec



(a) Teneur en eau moyenne en fonction du temps pour diverses conditions de séchage



(b) Consommation énergétique en fonction de la teneur en eau pour diverses conditions de séchage

Fig. 3. Évolution de la teneur en eau moyenne et de la consommation énergétique pour diverses conditions de séchage de la banane dans le séchoir électrique prototype à la vitesse de l'air de 2.06 ms⁻¹

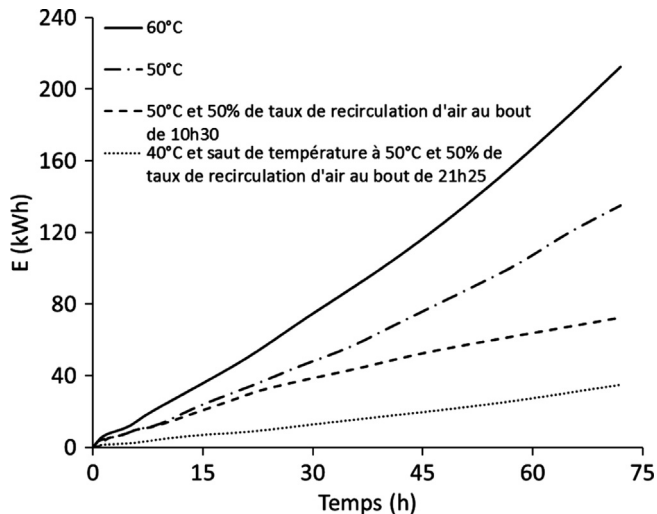


Fig. 4. Évolution de la consommation énergétique au cours du temps pour diverses conditions de séchage de la banane dans le séchoir électrique prototype à la vitesse de l'air de 2.06 ms^{-1}

saut de température et recirculation de l'air de 40 à 50°C) pour l'ensemble des essais réalisés.

CONCLUSION

Les résultats présentés ci-dessus permettent d'affirmer que la température et la recirculation de l'air ont un effet très sensible sur la consommation d'énergie au cours du séchage de la banane. La vitesse de séchage et la consommation d'énergie évoluent dans le même sens que la température. Le saut de température aura donc pour effet de diminuer la consommation d'énergie en début de séchage par une température modérée pendant la phase d'évacuation d'eau libre; en fin de séchage la dissociation d'eau liée est favorisée par l'augmentation de la température. Pour ce qui concerne la recirculation de l'air, son effet sur la diminution de la consommation d'énergie résulte de la réduction de l'écart thermique entre les températures de l'air à l'entrée et à la sortie de la batterie de chauffage. Une exploitation du séchoir étudié, avec une économie importante de consommation énergétique, consisterait à sécher le produit à 40°C au bout de 24 heures (limitation de la consommation d'énergie par séchage à température modérée) puis à passer à 60°C avec 50% de recirculation d'air pendant les 20 heures suivantes (gain de temps et d'énergie). Les travaux en cours, relatifs à la modélisation du fonctionnement de ce séchoir électrique et à l'optimisation de sa consommation énergétique pendant une opération de séchage, permettront de préciser les meilleures conditions de l'exploitation économique de cet équipement.

SYMBOLES

E : énergie consommée (en kWh)
 m_t : masse des produits à l'instant t (en kg)
 m_f : masse des produits à la fin de séchage (en kg)

X_m : teneur en eau moyenne en base sèche des produits à l'instant t (en % $\text{kg eau} \cdot (\text{kg ms})^{-1}$)
 X_f : teneur en eau moyenne en base sèche des produits à la fin de séchage (en % $\text{kg eau} \cdot (\text{kg ms})^{-1}$)
 θ : température (en °C)

ABREVIATIONS

kg eau : kilogramme d'eau
 kg ms : kilogramme de matière sèche
 kg as : kilogramme d'air sec

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahouannou, C., Y. Jannot, B. Lips and A. Lallemand. 2000. Caractérisation et modélisation du séchage de trois produits tropicaux : manioc, gingembre et gombo. *Science des Aliments* 20: 412–432.
- Arogba, S.S. 2001. Effect of temperature on the moisture sorption isotherm of a biscuit containing processed mango (*mangifera indica*) kernel flour. *Journal of Food Engineering* 48: 121–125.
- Belahmidi, E., A. Belghit, A. Mrani and M. Kaoua. 1993. Approche expérimentale de la cinétique des produits agro-alimentaires: Application aux peaux d'orange et à la pulpe de betterave. *Revue Générale de Thermique* 380–381: 444–453.
- Bimbenet, J.J. 1978. Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires. In *IVth International Congress on Engineering and Food*, 249–256. Paris, April 16–20.
- Bowrey, R.G., K.A. Buckle, I. Hamey and P. Pavenayotin. 1980. Use of solar energy for banana drying. *Food Technology in Australia* 32(6): 290–291.
- Coutinho, S. A., O.L.S. Alsina and O.S. Silva 1997. Efeito da espessura na secagem de banana em monocamada [Effect of the thickness in the drying of banana in monolayer]. In *2^o Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*, 195–198. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, August 12–14.
- Desmorieux, H. and C. Moyne. 1992. Analysis of dryers performance for tropical foodstuffs using characteristic drying curve concept. In *Drying 92*, ed. A.S. Mujumder, 834–843. Amsterdam: Elsevier.
- Drouzas, A.E. and H. Schubert. 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering* 28: 203–209.
- GRET-GERES. 1986. Le séchage solaire des produits alimentaires. Le Point Sur., Dossier n°8. Paris, France: GRET.
- Jannot, Y., A. Talla, J. Nganhou and J.R. Puiggali. 2004. Modeling of banana convective drying by the drying characteristic curve (DCC) method. *Drying Technology* 22(8): 1949–1968.

- Kiranouidis, C.T., E. Tsami, Z.B. Maroulis and D. Marinou-Kouris. 1997. Drying kinetics of some fruits. *Drying Technology* 15(5): 1399–1418.
- Krokida, M.K. and Z.B. Maroulis. 1997. Effect of drying method on shrinkage and porosity. *Drying Technology* 15(10): 2441–2458.
- Mauro, M.A. and F.C. Menegalli. 1995. Evaluation of diffusion coefficients in osmotic concentration of bananas (Mus Casvendish Lambert). *International Journal of Food Science and Technology* 30: 199–213.
- Ministère de l'Agriculture. 1986. L'agriculture camerounaise en chiffres. Yaoundé, Cameroun: Direction des études et projets, Division de la statistique agricole.
- Mir, M.A. and N. Nath. 1995. Sorption isotherms of fortified mango bars. *Journal of Food Engineering* 25: 141–150.
- Myhara, R.M., M.S. Taylor, B.A. Slominski and I. Al-Bulushi. 1998. Moisture sorption isotherms and chemical composition of omani dates. *Journal of Food Engineering* 37: 471–479.
- Schirmer, P., S. Janjai, A. Esper, R. Smitabhindu and W. Mühhlbauer. 1996. Experimental investigation of the performance of the solar tunnel drying of bananas. *Renewable Energy* 7(2): 119–129.
- Talla, A., Y. Jannot, C. Kapseu and J. Nganhou. 2001. Étude expérimentale et modélisation de la cinétique de séchage des fruits tropicaux: Application à la banane et à la mangue. *Science des Aliments* 21(5): 499–518.
- Talla, A., Y. Jannot, G.E. Nkeng and J.R. Puiggali. 2005. Experimental determination and modelling of sorption isotherms of tropical fruits: banana, mango and pineapple. *Drying Technology* 23: 1477–1498.
- Talla, A., J.R. Puiggali, W. Jomaa and Y. Jannot. 2004. Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: application to banana. *Journal of Food Engineering* 64: 103–109.
- Tsami, E., M.K. Krokida and A.E. Drouzas. 1999. Effect of drying on the sorption characteristics of model fruit powders. *Journal of Food Engineering* 38: 381–392.
- Vijayanand, P., A.R. Yadav, N. Balasubramanyam and P. Narasimham. 2000. Storage stability of guava fruit bar prepared using a new process. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 33: 132–137.