

## Aptitude à la re-hydratation des lamelles séchées de mangue

Anselme KAMENI<sup>1</sup>, Carl Moses MBOFUNG<sup>2</sup>, Elie Baudelaire DJANTOU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) BP 2067 Yaounde

<sup>2</sup>Ecole Nationale Supérieure d'Agro Industrie (ENSAI) BP 455 Ngaoundéré

### RESUME

Une étude de la réhydratation des lamelles de mangue obtenues par séchage solaire et électrique a été faite. Des morceaux de lamelles calibrées ( $P=0,70$  g,  $E=7$  à  $12$  mm,  $L=4$  cm) étaient introduits dans des tubes à essai contenant  $10$  ml d'eau à différentes températures ( $30$ ,  $40$ ,  $60$ , et  $80$  °C). Elles étaient prélevées à intervalles de  $5$  minutes pour évaluer les quantités d'eau absorbées et l'analyse des solutions de trempage était faite. Une équation théorique proposée à partir du modèle empirique de Peleg a été utilisée pour interpréter les courbes de réhydratation. Le mode de séchage n'affecte pas le comportement des lamelles suite à la réhydratation. Par contre, la température de trempage affecte significativement ( $P<0.05$ ) les quantités d'eau absorbée et le temps de saturation. Les cinétiques de réhydratation présentent une phase initiale de diffusion linéaire qui atteint la saturation après  $40$ ,  $35$  et  $25$  minutes respectivement à  $30$ ,  $40-60$  et  $80$ °C. Des phases de désorption et d'absorption d'eau précèdent l'équilibre osmotique. La quantité maximale d'eau absorbée ou la constante (a) de l'équation est intrinsèque à la mangue alors que la constante (b) qui représente le temps de demi saturation décroît avec la hausse de températures. L'intégration des quantités de substances dissoutes pendant le trempage au modèle améliore la qualité des courbes de cinétique.

**Mots clés :** mangue, séchée, réhydratation, temps, température, saturation.

### ABSTRACT

A study of the hydration of dry mango slices from electric and solar drying was done. Cuts of dry mango slices ( $W=0,70$  g,  $T=7$  to  $12$  mm,  $L=4$  cm) were introduced in test tubes containing water at  $30$ ,  $40$ ,  $60$  and  $80$  °C. Water absorbed was estimated by weighing samples every  $5$  minutes for  $70$  minutes and soluble substances were evaluated. The empirical model of Peleg was used for the interpretation of hydration curves obtained. The methods used for drying had little effects on the hydration properties of dry mango slices. However, hydration temperatures affected significantly ( $P<0.05$ ) the quantities of water absorbed and saturation time. Moisture sorption curves showed an initial linear phase with saturation reached after  $40$ ,  $35$  and  $25$  minutes respectively at  $30$ ,  $40-60$  and  $80$ °C. Then followed very short phases of desorption and absorption before osmotic equilibrium was reached. The maximum quantity of water absorbed or kinetic constant (a) of the hydration equation was specific to dry mango while constant (b) the time of half saturation increased with increases in hydration temperatures. The integration of soluble substances in the model improved the quality of hydration curves.

**Key words :** dry, mango, re-hydration, temperature, time, saturation .

## INTRODUCTION

La large gamme des produits séchés sur les marchés africains (légumes feuilles, fruits séchés, graines et condiments divers, pré-mixtes pour soupes ...) et le besoin de respect de qualité renforcent le désir de bien appréhender les opérations et problèmes liés à l'utilisation des produits déshydratés. L'intérêt du séchage comme méthode de conservation des aliments réside dans la diminution de l'eau disponible qui limite l'action des microorganismes responsables de la dégradation des produits fraîchement récoltés. Le séchage de la pulpe de mangue, fruit du manguier (*mangifera indica*) donne des lamelles séchées de longue conservation (Sargar et Khurdiya, 1999) qui sont consommées en snack ou dessert. La pulpe de mangue molle et malléable devient par séchage, un solide flexible qui ne peut plus être traité comme la mangue fraîche. Le séchage induit une modification des caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques de la mangue (Lewicki, 1998) ce qui lui confère d'autres propriétés et aptitudes qui ne sont pas toujours bien définies.

La production des nectars à partir de la mangue séchée passe soit par l'obtention d'une poudre pour une utilisation instantanée soit par la réhydratation des lamelles suivie du broyage. Des modèles empiriques de réhydratation ont été proposés (Pleg, 1988 ; Saguy et al. 2005) et leur application sur plusieurs types de fruits et légumes séchés (Krokida et Marinos-Kouris, 2003) a été étudiée. Ces modèles mathématiques permettent de définir les paramètres de réhydratation (constante d'Arrhenius, énergie d'activation, seuil d'absorption) spécifiques à chaque type de produit séché. Sur certains légumes séchés, des facteurs tels que le type de séchage, le milieu de réhydratation, le temps, la température et la porosité du substrat affectent la cinétique de réhydratation (Marabi et al. 2003 ; Marabi et al. 2004 ; Marabi, et Saguy 2004). Les divergences de comportement suite à l'immersion de certains produits végétaux séchés sont liées aux différences de propriétés tissulaires telles que la compacité des tissus (Gianguacono et al. 1987),

l'importance relative des espaces cellulaires, la présence des gaz occlus (Lozano et Rotstein, 1983), la teneur initiale en matière insoluble (Lenart et Flink. 198).

La bonne connaissance des paramètres de réhydratation permet de définir les opérations de seconde transformation des produits séchés (Vagenas et Marinos-Kouris, 1991). Dans le cas précis des lamelles séchées de mangue, la maîtrise de ses aptitudes à la réhydratation permettra de définir les conditions optimales de son utilisation pour l'obtention d'un pré-mixte pour nectar. Ce travail porte sur l'étude de la cinétique de réhydratation des lamelles séchées de mangue.

## MATERIELS ET METHODE

Les lamelles séchées de mangue utilisées provenaient des fruits de la variété *Julie Cassava*, sélectionnés à maturité commerciale et séchés par lots au séchoir électrique à 55 °C et au soleil à 30-40°C (Kameni et al. 2003). Le dispositif expérimental pour l'évaluation des paramètres de réhydratation est un schéma factoriel comprenant un facteur type de séchage avec 2 modalités (solaire et électrique), un facteur température d'hydratation avec 4 modalités (30, 40, 60 et 80 °C) et 4 répétitions.

### La réhydratation des lamelles séchées

Pour mesurer la diffusion de l'eau, les lamelles séchées de mangue calibrées en fragment de poids, longueur, et épaisseur identiques ( $P= 0,70$  g,  $E=0,7$  à 12 mm,  $L=4$  cm ), sont introduites chacune dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau à 30, 40, 60 et 80 °C. Ces lamelles ont été successivement prélevées des tubes et pesées à des intervalles de temps réguliers de 5 minutes pendant 70 minutes et l'expérience a été répétée 4 fois. Les quantités d'eau absorbée ont été calculées par différence avec le poids initial. La vitesse de diffusion de l'eau dans les lamelles a été obtenue par le rapport quantité d'eau absorbée sur le temps. Les autres paramètres mesurés sont les constituants chimiques dissouts dans la solution de trempage.

**Tableau 1 :** Composition chimique des lamelles séchées de mangue de la variété *Julie Cassava*

Paramètres chimiques	Séchage électrique	Séchage solaire	Mangue fraîche
Teneur en eau	9,44±0,21	15,27±0,30	80±02.0
Vit.C (mg/100g)	43,87±0,0	32,49±1,54	48,25±1,46
Sucres réducteurs (g/100g)	4,82±0,0	4,45±0,09	7,53±0,42

**Analyses**

La teneur en eau des lamelles a été déterminée par étuvage à 105°C pendant 24 heures et les extraits secs solubles des échantillons avec un réfractomètre (AFNOR, 1982). La teneur en Vitamine C a été obtenue par la méthode au 2-6 dichlorophénil indophénol (Tomohiro, 1990) et les teneurs en sucres réducteurs des solutions d'hydratation ont été évaluées par la méthode colorimétrique (Summer, 1924 ) au DNS (Acide 3,5 dinitro salicylique).

**Modélisation de l'absorption d'eau**

Le modèle empirique de Peleg (1988) a servi de base à l'étude de la cinétique d'absorption d'eau des lamelles séchées de mangue. C'est un modèle linéaire, non exponentiel avec deux paramètres qui se présente comme suit

$$\frac{t}{M_t - M_0} = K_1 + K_2 t$$

Ce modèle, qui a été utilisé pour la description des constantes de cinétique d'absorption d'eau des petits poids (Turhan et al., 2002), pourrait

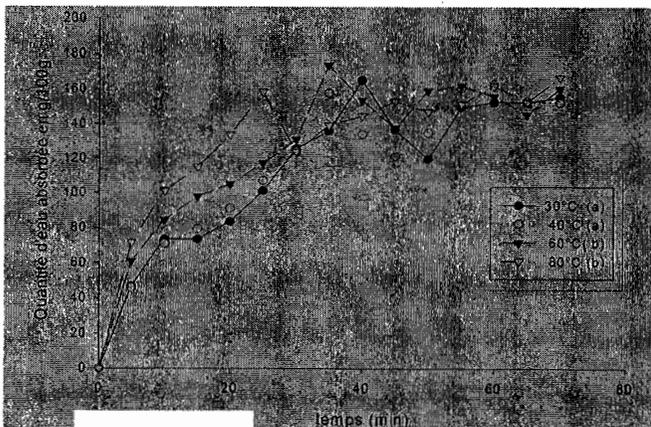
s'appliquer à d'autres produits végétaux dont la mangue séchés. A partir de la forme des courbes d'absorption d'eau qui ont l'allure d'une hyperbole présentant une asymptote horizontale, une équation qui permet de prévoir à chaque instant t la quantité d'eau Q absorbée par la lamelle séchée était définie, avec (a) la quantité maximale d'eau absorbée et (b) le temps de demi saturation.

$$Q = \frac{at}{b+t}$$

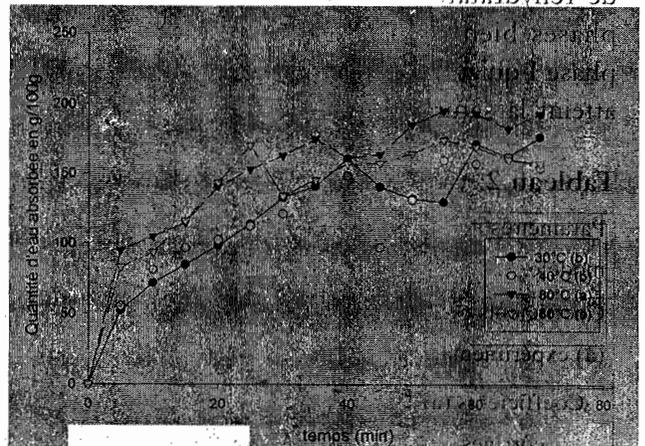
Les données collectées ont été soumises à une régression non linéaire par rapport au modèle proposé pour définir les paramètres de la cinétique d'absorption d'eau (Genstat, 1993). L'analyse de variance sur les valeurs des points critiques (a) et (b) des différentes courbes a été faite et les corrélations entre leurs valeurs théoriques et valeurs expérimentales calculées.

**RESULTATS**

Les rendements de séchage sont de 7,84 ± 0,68 et 9,38 ± 0,74 kg/100kg de mangue fraîche, respectivement pour le séchage électrique et solaire. La teneur en eau de la mangue séchée

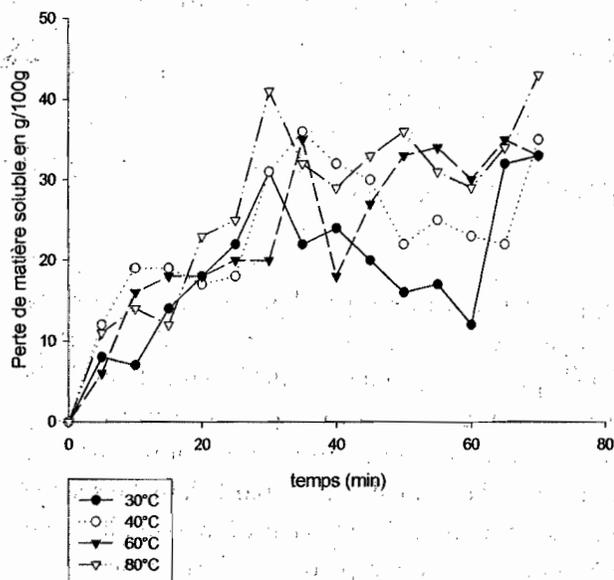


**Fig.1 :** Courbes de réhydratation des lamelles de mangue par séchage solaire



**Fig.2 :** Courbe de réhydratation des lamelles de mangue par séchage électrique.

Pour les Figures 1 et 2, les courbes indexées par des lettres différentes diffèrent significativement (P<0,05)

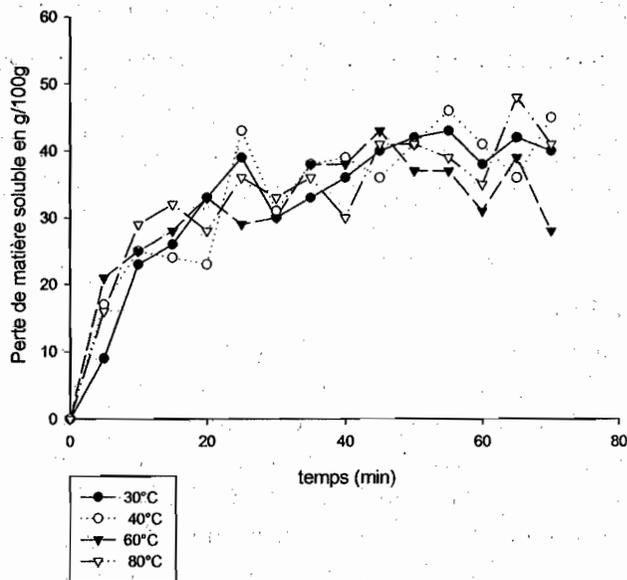


**Fig. 3 :** Diffusion des substances solubles pendant le trempage des lamelles de mangue de séchage solaire

(Tableau 1), est de 9,44 % et 15,27 % respectivement pour les lamelles issues du séchage électrique et solaire. Ces lamelles séchées de mangue sont semblables de par leurs constituants à celles déjà obtenues sur les mêmes variétés (Sargar et Khurdiya, 1996).

**Réhydratation des lamelles séchées de mangue**

La température de trempage affecte significativement ( $P < 0.05$ ) les quantités d'eau absorbées et le temps de saturation. Les courbes de réhydratation (Figures 1 et 2) présentent 4 phases bien distinctes d'absorption d'eau. La phase I qui a l'allure d'un isotherme d'absorption atteint la saturation après 40, 35 et 25 minutes



**Fig. 4 :** Diffusion des substances solubles pendant le trempage des lamelles de mangue de séchage électrique

respectivement à 30, 40-60 et 80°C. Les vitesses de diffusion d'eau correspondantes sont de  $4,75 \pm 0,3$  ;  $5,55 \pm 0,5$  ;  $5,8 \pm 0,3$  et  $7,7 \pm 0,5$  g d'eau/100g de MS/minute. La durée de la seconde phase de la courbe ne change pas beaucoup avec la hausse de température qui se traduit par un accroissement de la vitesse d'absorption d'eau. Le seuil d'absorption d'eau maximale moyen est de 166,32g / 100g de pulpe séchée, soit une teneur en eau de 62,5 % contre 80 % pour les lamelles fraîches. Toutefois, les seuils d'absorption d'eau présentés sont supérieurs à ceux obtenus par Khedkar et Susantha Roy (1980) avec les mangues à maturité physiologique (dure au toucher). La similarité entre les quantités d'eau absorbées par les différentes lamelles montre que le mode de

**Tableau 2:** Coefficients a et b des cinétiques d'absorption d'eau des lamelles séchées de mangue

Paramètres du modèle	Type de séchage	Température (°C)			
		30	40	60	80
Coefficients (a) expérimentaux	électrique	160,84±10,90	177,92±9,05	175,05±3,43	170,44±6,62
	solaire	165,04±12,58	157,57±10,36	173,48±7,83	158,24±8,40
Coefficients (a) corrigés	électrique	197,30±13,19	199,67±19,6	198,84± 2,03	193,79± 8,25
	solaire	208,04±15,67	204,90±12,95	191,35± 8,53	193,50± 8,34
Coefficients (b)	électrique	17,31±3,6	10,07± 2,2	8,94± 3,85	6,17± 1,42
	solaire	22,58*± 4,63	20,70*± 3,72	12,74*± 2,07	6,16± 1,43

\*Différence significative à 0.05 pour les valeurs dans la même colonne

**Tableau 3:** Coefficients de corrélation entre les valeurs théoriques et les valeurs expérimentales des différentes courbes

Type séchage	RT (coefficient de corrélation à la température T)			
	R30	R40	R60	R80
Electrique	0,89	0,87	0,84	0,87
Solaire	0,90	0,92	0,92	0,87

séchage de la mangue n'affecte pas l'absorption d'eau.

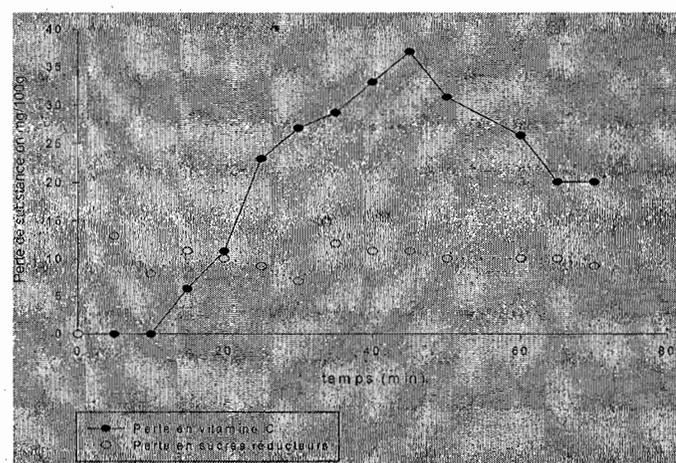
**Perte de substances solubles lors de la réhydratation**

Les figures 3 et 4 représentent les courbes de perte en matière sèche pendant le trempage des lamelles. La diffusion des substances solubles pendant le trempage augmente avec la température et conduit à de pertes de matières différentes ( $P < 0,05$ ) à 30 et 80°C. La diffusion des substances des lamelles vers l'eau est rapide les premières minutes, puis baisse considérablement pour se stabiliser autour d'une valeur constante. Ce temps de stabilisation est plus long pour les lamelles de mangue de séchage électrique alors que les quantités de matières dissoutes sont plus importantes pour celles de séchage solaire pour les mêmes températures de trempage. A température élevée, les solutés ont suffisamment d'énergie, ce qui facilite leur diffusion dans l'eau conformément au modèle d'Arrhenius. Ces pertes de substances lors de

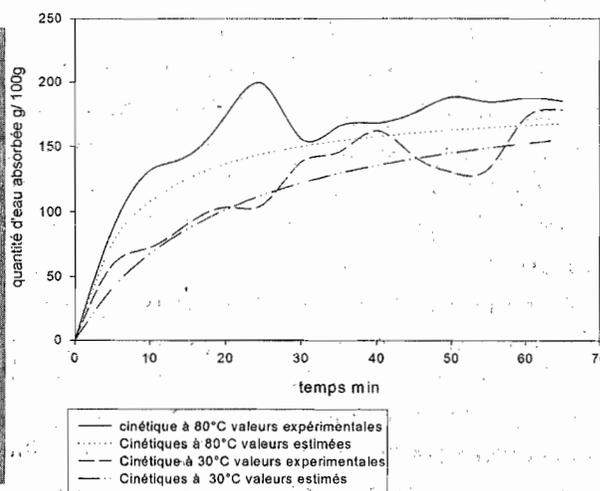
l'immersion des aliments ont déjà été signalées (Cheftel et Cheftel, 1980). Les variations des taux de vitamine C et des sucres réducteurs en dents de scie (Figure 5) laissent entrevoir l'existence d'un échange dynamique de substances dissoutes entre les lamelles de mangue et l'eau de trempage qui se traduit par une réabsorption de certaines substances dissoutes et un phénomène d'osmose important (Saurel et al. 1994). Ces différents échanges qui se produiraient jusqu'à l'équilibre osmotique vont certainement affecter les coefficients (a) et (b) de la cinétique de réhydratation.

**Modélisation de la cinétique d'absorption d'eau**

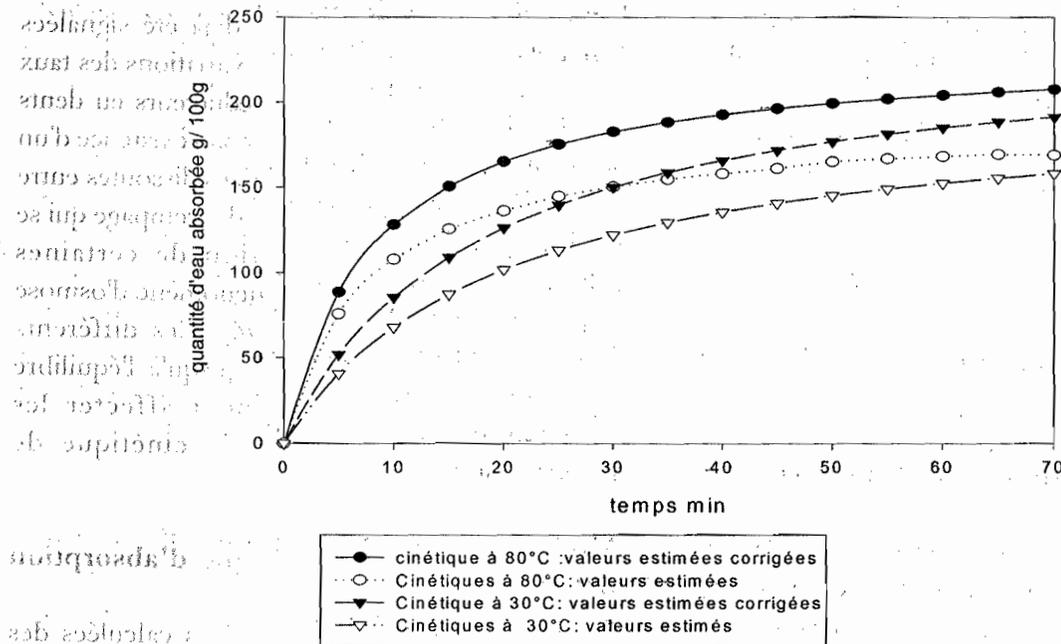
Le tableau 2 présente les valeurs calculées des constantes (a) et (b) correspondant respectivement aux quantités d'eau maximale absorbée à la saturation et au temps de demie saturation pour chaque type de séchage et température. L'augmentation de la température de trempage provoque une baisse significative du temps de demi-saturation (b), ( $P < 0,05$ ), tandis que le type de séchage ne l'affecte pas ( $P > 0,05$ ). Il existe une corrélation positive (Tableau 3) entre les valeurs théoriques et les valeurs calculées obtenues à partir des différentes cinétiques d'absorption d'eau. Ceci permet d'affirmer que le modèle proposé décrit effectivement la cinétique de réhydratation de la mangue séchée. Les cinétiques à 30 et 40 °C, 40 et 60°C, 60 et 80 °C sont semblables



**Fig. 5 :** Diffusion de la Vitamine C et des sucres réducteurs lors du trempage à 40°C des lamelles de mangue de séchage électrique.



**Fig. 6 :** Cinétique de réhydratation de la mangue séchée à partir des valeurs expérimentales



**Fig. 7 :** Cinétique corrigée d'absorption d'eau des lamelles de mangue séchée trempées à 30 et 80°C.

respectivement. Des courbes l'absorption d'eau similaires ont été obtenues (Krokida et Marinos-Kouris, 2003) avec plusieurs autres légumes et végétaux séchés. Les ondulations visibles sur les courbes d'absorption expérimentales sont liées au phénomène d'osmose et aux échanges entre substrat et soluté.

#### Influence de la diffusion des substances solubles sur le modèle

L'intégration du poids des substances dissoutes dans le calcul des quantités d'eau absorbée permet d'obtenir les valeurs estimées de ce paramètre. La figure 6 présente les cinétiques à partir des valeurs expérimentales et estimées à 30 et 80°C. L'intégration dans l'équation d'absorption d'eau de la mangue séchée des pertes de matières solubles (valeurs estimées) modifie l'allure de ces courbes (Figure 7). Il n'y a plus de variation du temps de demi saturation (b), mais plutôt augmentation de la quantité d'eau maximale absorbée (a). La correction proposée améliore la performance du modèle qui explique mieux la cinétique d'absorption d'eau de la mangue séchée. Les courbes corrigées obtenues, de par leur qualité sont semblables à celles obtenues sur d'autres produits séchés par Krokida et Marinos-Kouris (2003).

#### DISCUSSION

La réhydratation des produits séchés est une opération simple et assez pratiquée dans la confection des aliments. Dans le cas des lamelles séchées de mangue, l'équation théorique proposée à partir du modèle empirique de Peleg permet d'interpréter les données de réhydratation obtenues. La diffusion de l'eau est linéaire jusqu'à la saturation. Ensuite des échanges de nutriments avec la solution de trempage vont conduire à des interférences et rendre ce modèle imparfait. Le mécanisme d'hydratation proposé basé sur la diffusion de l'eau dans les lamelles n'explique pas toujours les phénomènes observés comme le soulignent Saguy et al. (2005). Toutefois, il a permis de mettre en évidence les constantes (a) et (b) qui peuvent servir de guide aux utilisateurs de ses produits.

La phase d'absorption d'eau a été bien caractérisée avec les constantes (a) indépendantes du mode de séchage, du temps de trempage et de la température de réhydratation. Cette phase correspond bien au modèle régi par la 2<sup>ème</sup> loi de diffusion linéaire de Weibull et Fick. Pour d'autres produits, la durée de cette phase I peut varier de 30 min à 2 heures (Lenart et Lewicki, 1987) pendant laquelle l'essentiel des transferts d'eau et

de solutés s'opèrent. Le temps de demi saturation est fonction de la température de réhydratation et diminue avec la hausse de température. Une augmentation de la température de traitement favorise plus les transferts d'eau que les transferts de solutés (Lerici et al. 1986). Une température opératoire comprise entre 20 et 40 °C a été proposée par (Lerici et al. 1977) comme étant sur le plan qualitatif la température optimale de trempage. En prenant en compte les risques de destruction de la vitamine C à 80°C, et la dépense énergétique nécessaire pour élever à 40 ou à 60°C la température de l'eau de trempage par rapport au gain de temps occasionné par cette opération, le trempage à 30 °C pendant 40 min ou 40 °C pendant 35 min semblent être les meilleurs barèmes pour la réhydratation de la mangue séchée.

## CONCLUSION

Les lamelles séchées de mangue issues aussi bien du séchage solaire qu'électrique se prêtent bien à la réhydratation et y affichent des comportements similaires. Au seuil d'absorption d'eau maximale, la teneur en eau est restée inférieure à celle de la mangue fraîche. La constante (a) quantité maximale d'eau absorbée intrinsèque à la mangue est indépendante du mode de séchage, du temps de trempage et de la température de réhydratation. La constante (b) qui représente le temps de demi saturation décroît avec des hausses de températures. Un trempage à 30 °C pendant 40 min ou 40 °C pendant 35 min semble être un barème acceptable pour la réhydratation de la mangue séchée.

## REMERCIEMENT

Les auteurs remercient la Banque Africaine de Développement (BAD) et le Projet National de Recherche et Vulgarisation Agricole (PNRVA) pour leurs appuis à la réalisation de ce travail.

## REFERENCES

**AFNOR.** (1982). Association Française de Normalisation. Recueil des Normes Françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Jus de fruits. 1<sup>è</sup> éd. AFNOR. Paris 1982; 327p.

**Cheftel, J.C. et Cheftel H.** (1980). Introduction à la

biochimie et à la technologie des aliments. Volume 1. Techniques et documentation, 3<sup>e</sup> édition. Lavoisier. Paris, 381 p.

**Genstat 5 Committee of the statistics Department** (1993) Genstat 5 Release 3. Reference Manual. Rothamsted Experimental Station, Oxford Science Publications.

**Gianguacono R, Tarreggiani D. et Abbo E.** (1987). Osmotic dehydration of Fruit. Part I. Sugar exchange between fruit and extracting Syrups. Food Process Preservation, 11: 183-195.

**Kameni A., Gnatam Z., Mbofung C.M., Hamadou Layla et J. Doassem.** (2003). Aptitude au séchage des fruits de quelques variétés de manguiers cultivés au Cameroun. Fruits : 58 (2) 88- 98

**Khedkar D.M. et Susantha Roy K.** (1980). Histological evidence for the reconstititional property of dried dehydrated raw mango slice. Journal of food science and technology, India. 17(6)276-277.

**Krokida M.K. et Marinos-Kouris D.** (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. J. Food Engineering. 57 (1):1-7

**Lenart. A. et Lewicki. P.P.** (1987). Kinetics of osmotic dehydration of the plant tissue. In : Mujumdar.A.S (eds), Drying, Hemisphere Publishing Cooperation, New York, 1987; 239-248.

**Lenart. A. et Flink J.M.** (1984). Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. J Food Technol. 19 : 65-89.

**Lerici. C.R., Mas Trocola. P. et Pinnavaia G.** (1986). Esperienze di osmosi diretta ad alta temperature per tempi brevi. Industria conserve. 62 : 223-225.

**Lerici. C.R., Pepe M, et Pinnavaia. G.** (1977). La desidratazione della frutta mediante osmosi. Industria Conserve 1977 ; 52 :125-129.

**Lewicki P.P.** (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties : a review. International Journal of Food properties 1 :1-22.

**Lozano J.E., Rotstein E. et Urbicam M.J.** (1983). Shrinkage, porosity and bulk density of food stuffs at changing moisture content. Journal of Food. Science. 48: 1497-1553.

**Marabi A. Livings S. Jacobson M. et Saguy S.** (2003). Normalized Weibull distribution for modeling rehydration of food particulates. European Food Research and Technology. 2003; 217:311-318.

**Marabi, A., Dilak C., Shah J. et Saguy S.** (2004). Kinetics of solids leaching during re-hydration of particulate dry vegetables. Journal of Food Science. 69: 91-96.

**Marabi, A, et Saguy S.** (2004) Effect of porosity on

re-hydration of food particulates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 84:1105-1110.

**Peleg, M.** (1988). An empirical model for the description of moisture sorption curves. *Journal of Food Science*. 53 (4) 1216-1219.

**Sargar, V.S. et Khurdiya D.S.** (1996). Effect of ripening stages on the quality of dehydrated ripe mango slices. *J. Food Sc. Technol. (India)* 33:527-529.

Sargar, V.S. et Khurdiya D.S. (1999). Study of dehydration of Dashihari mangoes slices. *Indian Food Packer* 53 (1) 5-9.

**Saguy, S., Marabi A. et Wallach R.** (2005). New approach to model re-hydration of dry food particules utilizing principles of liquid transport in porous media. *Trends in Food Science and Technology*. 16 (11) 495-506.

**Saurel, R., Wack. AL., Rios G. et Guilbert S.** (1994). Mass transfer phenomena during osmotic dehydration of apple. Part 1: Fresh plant tissue. *Inteational . Journal*

of *Food Science and Technology* 25:531-542.

**Summer, B.J.** (1924) *Journal Biol. Chemistry*. 62:287 - 290.

**Tomohiro, S.** (1990) *Laboratory Manual for Food Analysis*. The technical cooperation project of the Jomo Kenyatta University College of Agriculture and Technology, 68p.

**Turhan M., Sayar S. et Gunasekaram S.** (2002) Application of Peleg Model to study water absorption in chickpea during soaking. *Journal of Food Engineering* 53 (2) 153-159.

**Vagenas, G.K. et Marinos-Kouri D.** (1991). The design and optimisation of an industrial dryer for Sultans raisins. *Drying Technology*. 9 (2) 439-461.

Received: 06/09/07

Accepted: 04/03/08