

# Modélisation de la déshydratation de la pulpe des fruits du *Canarium schweinfurthii* Engl.

G.B. Noumi<sup>1\*</sup>, S. Laurent<sup>2</sup>, E. Ngameni<sup>3</sup>, C. Kapseu<sup>4</sup>, Y. Jannot<sup>5</sup> & M. Parmentier<sup>6</sup>

Keywords: *Canarium schweinfurthii* Engl.- Pulp- Dehydration- Modelling

## Résumé

La cinétique de séchage de la pulpe des fruits du *Canarium schweinfurthii* Engl. a été étudiée dans un séchoir à circulation d'air chaud aux propriétés fixées et contrôlées: vitesse de l'air comprise entre 1 et 3 m/s, humidité relative entre 40 et 60% et température variant de 40 à 70 °C. Les résultats obtenus montrent d'une part, qu'il n'existe pas de phase de séchage à vitesse constante, et d'autre part, que la température et la vitesse de l'air sont les paramètres qui influencent le plus la durée de séchage dans les conditions explorées. Cet ensemble de résultats expérimentaux est représenté mathématiquement par une courbe dite «caractéristique de séchage». Outre cette courbe, les isothermes de désorption de la pulpe des fruits de l'aiélé ont été déterminées à différentes températures (40, 50, 60 et 70 °C); le modèle de Guggenheim, Anderson et de Boer s'avère satisfaisant pour les décrire.

## Summary

### Modelling of the Dehydration of *Canarium schweinfurthii* Engl. Fruit Pulp

In this work, we obtained drying kinetic of *Canarium schweinfurthii* Engl. pulp fruit, under conditions of air velocity ranging between 1 and 3 m/s, relative humidity between 40 and 60%, temperature between 40 and 70 °C. The experiments were made in drying tunnel where properties of hot air flow are determined and controlled. It is observed from the drying kinetics that there is no constant rate phase. Modelling of the results was performed using the characteristic curve of drying. Furthermore, we determined aiele pulp desorption isotherms in different temperatures (40, 50, 60 and 70 °C), the Guggenheim, Anderson and de Boer model proved to be satisfactory to describe them.

## Introduction

Il est bien connu des professionnels de l'industrie agroalimentaires que le séchage est l'opération unitaire la plus délicate, puisque les conditions du procédé exercent une forte influence non seulement sur les propriétés rhéologiques (déformation, état de surface,...) mais aussi sur les propriétés nutritionnelles du produit à sécher (24).

L'aiélé (*Canarium schweinfurthii* Engl.) est l'espèce la moins répandue de la famille des burséracées bien que son aire de production soit très étendue en Afrique centrale (28). Sa limite septentrionale s'étend de la Sierra Leone au Soudan et sa limite méridionale de l'Angola au Tanganyika (1, 2, 33). C'est une espèce qui pousse en forêt équatoriale humide; elle se retrouve dans la lisière nord des forêts denses à saison sèche accentuée (30). Au Cameroun, l'aiélé se

retrouve dans toute la zone de forêt dense humide et celle de savane humide et sub-humide d'altitude (33, 40).

Cet arbre produit des fruits communément appelés «fruits noirs». Ces fruits sont des drupes ellipsoïdales violacées à maturité; leur pulpe charnue (partie comestible du fruit) recouvre un noyau trigone à trois lobes (1, 2, 19, 21, 22, 39). Les fruits de l'aiélé, généralement consommés comme fruits de bouche, sont hautement périssables; ils ne peuvent être conservés que quelques jours seulement après la récolte.

A l'instar de certains autres oléagineux tels que le safou et l'avocat (20, 26, 38), la pulpe des fruits de l'aiélé constitue une source importante d'huile végétale (1, 2, 19, 21, 34, 39), d'où l'intérêt d'étudier les caractéristiques physico-chimiques et le comporte-

<sup>1</sup> Département de Chimie, Faculté des Sciences, Université de Ngaoundéré, B.P. 454, Ngaoundéré, Cameroun.

<sup>2</sup> Laboratoire de Génie des Procédés de Pau, ENSGTI, Rue Jules Ferry, 64000 Pau, France.

<sup>3</sup> Laboratoire de Chimie Analytique, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé 1, B.P. 812, Yaoundé, Cameroun.

<sup>4</sup> Département de Génie des Procédés et d'Ingénierie, ENSAI, Université de Ngaoundéré, B.P. 455, Ngaoundéré, Cameroun.

<sup>5</sup> Laboratoire Energétique et Phénomènes de Transfert, ENSAM de Bordeaux, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence Cedex, France.

<sup>6</sup> Laboratoire de Physico-Chimie et Génie Alimentaire, ENSAIA; 2, Avenue de la Forêt de Haye, B.P. 172, F-54505, Vandoeuvre-lès-Nancy, France.

\*Correspondance (e-mail: gnoumi@yahoo.fr).

Reçu le 25.03.03. et accepté pour publication le 23.01.04.

ment au cours du séchage de la pulpe de ces fruits. La connaissance de ces caractéristiques permettrait un dimensionnement optimal du séchoir afin de rentabiliser techniquement et économiquement le procédé d'extraction d'huile. En effet, la connaissance du comportement au séchage des produits solides est un élément essentiel pour calculer la taille d'un séchoir industriel et /ou pour définir ses conditions d'utilisation (12).

L'activité de l'eau influence notamment le développement des microorganismes, la vitesse des réactions enzymatiques et d'oxydation des lipides dans les produits d'origine biologique. Pour contrôler la qualité du produit séché durant le stockage, il est donc nécessaire de connaître les propriétés physiques du produit, en particulier la relation entre sa teneur en eau à l'équilibre et l'humidité relative de l'air qui l'entoure (29). Etablie à température constante, cette relation est représentée par les isothermes de sorption du produit. Les isothermes de désorption sont en particulier utiles pour:

- prévoir la teneur en eau minimale qui pourrait être celle du produit en fin de séchage dans un milieu ambiant donné: la température du produit serait égale à celle de l'air et l'activité de l'eau serait égale au degré hygrométrique de l'air;
- relier les caractéristiques de l'air de séchage à la teneur en eau de la surface du produit;
- calculer la chaleur de désorption et préciser la quantité d'énergie nécessaire à l'élimination de l'eau la plus liée.

Dans le cas des fruits et légumes, il est nécessaire de connaître l'allure des isothermes de désorption dans la plage de température de 40 à 70 °C atteintes par ces produits au cours du séchage (14).

Le premier objectif visé par cette étude est la détermination expérimentale des isothermes de désorption de la pulpe des fruits de l'aïélé par la méthode gravimétrique statique.

Le deuxième objectif vise à caractériser la cinétique de séchage de la pulpe des fruits de l'aïélé à l'aide d'un tunnel de séchage convectif et ensuite d'établir un modèle permettant la reproduction de l'ensemble des courbes de séchage obtenues expérimentalement.

## Matériel et méthodes

### Matériel végétal

La pulpe des fruits de l'aïélé utilisée dans ce travail a été récoltée dans la région de l'ouest Cameroun. Les fruits ont été coupés en quatre suivant la section longitudinale à l'aide d'un couteau, ce qui conduit à la séparation de la pulpe du noyau; seule la pulpe a été séchée. Les essais ont été effectués sur des échantillons quasiment de même formes et dimensions

(masse du fruit: 11,7 g; masse du noyau: 4,9 g; masse de la pulpe: 6,8 g; pourcentage en pulpe: 58,1%; longueur du fruit: 3,9 cm; longueur du noyau: 3,6 cm; épaisseur de la pulpe: 4,1 mm). Pour chaque essai de séchage, la clayette grillagée était chargée d'environ dix morceaux de pulpe fraîche de masse  $1,70 \pm 0,01$  g chacun; soit une masse fraîche totale de départ de l'ordre de  $17,00 \pm 0,10$  g.

### Dispositif expérimental et méthodologie

#### 1. Détermination des isothermes de désorption

La méthode utilisée dans ce travail pour établir les isothermes de désorption est la méthode gravimétrique statique, mettant en oeuvre des solutions diluées d'acide sulfurique (10).

Les échantillons à étudier sont placés dans dix coupelles en plastique préalablement tarées et suspendues dans dix bocaux en verre contenant différentes solutions diluées d'acide sulfurique (Figure 1).

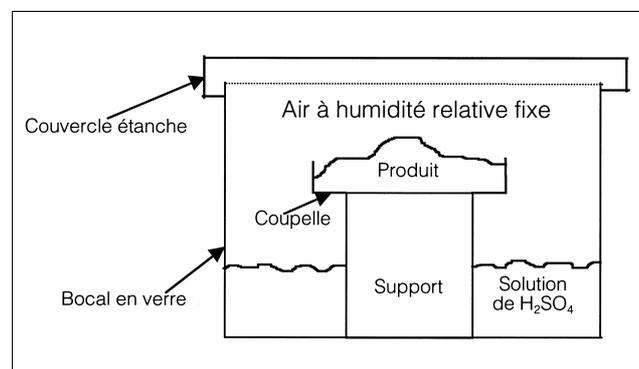


Figure 1: Schéma du dispositif expérimental de détermination des isothermes de désorption.

Chaque solution confère une humidité relative particulière à l'air. Les humidités relatives ainsi obtenues sont: 6, 11, 24, 31, 42, 53, 63, 75, 84 et 95% (10). Les dix bocaux contenant les coupelles sont placés dans une étuve ventilée réglée à la température désirée. L'ensemble capsule et échantillon de produit est pesé toutes les 24 heures jusqu'à l'obtention d'une masse constante. L'équilibre entre la teneur en eau de l'échantillon et l'ambiance de l'enceinte est établi après quelques jours; la masse de l'échantillon ne variant plus. Pour éviter de perturber le phénomène de mise à l'équilibre, l'échantillon n'est sorti qu'une fois par 24 heures pour l'opération de pesée qui ne dure pas plus de 4 secondes. La masse sèche de chaque échantillon est obtenue après étuvage à  $103 \pm 2$  °C pendant 24 heures. Chacun des dix bocaux permet ainsi d'obtenir l'humidité relative et la teneur en matière sèche à l'équilibre d'un échantillon.

#### Modélisation des isothermes

Plusieurs modèles existent dans la littérature pour décrire les isothermes (9, 11, 18, 25, 32, 37). Le modèle retenu, celui de Guggenheim, Anderson et de Boer

(G.A.B.) (9) présente l'avantage de décrire correctement les isothermes de désorption des produits agroalimentaires jusqu'à des valeurs de l'activité de l'eau atteignant 5%. Il nécessite le calcul de trois paramètres pour chaque température. L'équation de G.A.B. a la forme suivante:

$$X = a b c A_w / [(1 - c A_w) (1 - c A_w + b c A_w)]$$
 avec:

a, b, c: paramètres du modèle;  $A_w$ : activité de l'eau; X: teneur en eau

**Détermination de la chaleur de désorption**

La méthode la plus courante pour la détermination de la chaleur de désorption (Q) résulte de l'application de l'équation de Clausius-Clapeyron qui n'est valable que pour des teneurs en eau constantes (14, 23):  $Q = -R (\partial \ln A_w / \partial (1/T))$ ; où  $A_w$  est l'activité de l'eau, Q la chaleur de désorption (kJ/mol), R la constante des gaz parfaits (kJ/mol K), T la température absolue (K).

La chaleur de désorption peut également être calculée à partir de l'équation ci-dessus en traçant, à des teneurs en eau constantes, les isothermes de désorption dans le plan  $\ln A_w$  en fonction de  $1/T$  et en déterminant la pente qui est égal à  $(-Q/R)$ . La chaleur de désorption étant invariable avec la température, l'application de cette méthode exige la détermination des isothermes à plus de deux températures.

**2. Etude des cinétiques de séchage**

*Séchoir expérimental*

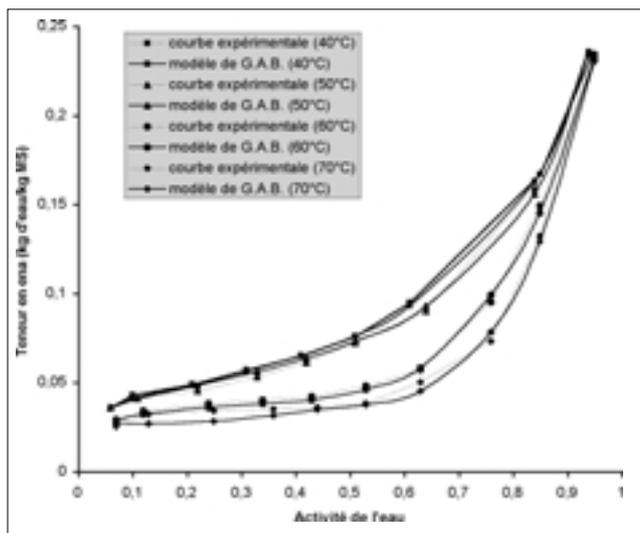


Figure 2: Isothermes de désorption de la pulpe des fruits de l'aiélé à différentes températures: comparaison des données expérimentales et calculées avec le modèle de G.A.B.

La forme sigmoïdale de ces isothermes est typique de la plupart des produits d'origine biologique (16, 24, 32, 35). Les courbes de la figure 2 montrent l'influence non négligeable de la température sur le processus. A une même activité de l'eau, la teneur en eau d'équilibre du produit diminue lorsque la température aug-

mente. Ces observations sont en accord avec les travaux antérieurs (3, 4, 6, 14, 25) sur l'étude des isothermes des produits d'origine biologique.

Le modèle de G.A.B. facilite l'exploitation des données expérimentales et indique la teneur en eau associée à la mono-couche (représentée par le paramètre «a» dans l'équation de G.A.B.).

Le tableau 1 présente les valeurs des constante a, b et c obtenues à différentes températures.

**Tableau 1**  
Valeurs des paramètres a, b et c du modèle de G.A.B. observées lors de la désorption de la pulpe des fruits de l'aiélé à différentes températures

Températures (°C) Paramètres	40	50	60	70
a	0,073	0,052	0,043	0,036
b	46,534	85,211	224,540	3,206
c	0,881	0,879	0,807	0,769

La teneur en eau de la mono-couche (a), qui représente la teneur pour la couche d'eau la plus liée au produit, diminue quand la température augmente. Pour la pulpe des fruits de l'aiélé, la moyenne de cette teneur en eau est de l'ordre de 0,051 entre 40 et 70 °C (Tableau 1). Cette valeur est grande comparée à celles trouvées pour le manioc (0,044) et pour le piment vert (0,048); en revanche, elle est faible comparée aux teneurs en eau obtenues pour les pommes de terre (0,059), les dattes (0,087) ainsi que pour l'igname et le piment rouge (0,086) (14, 23, 32, 36).

*La chaleur de désorption*

La chaleur de désorption quantifie le processus énergétique de désorption de l'eau dans un produit (36). Cette grandeur a été déterminée graphiquement en calculant les pentes des droites obtenues à partir de l'équation de Clausius-Clapeyron. Les valeurs de la chaleur de désorption déterminées dans le domaine de température 40–70 °C en fonction de la teneur en eau du produit sont présentées sur la figure 3.

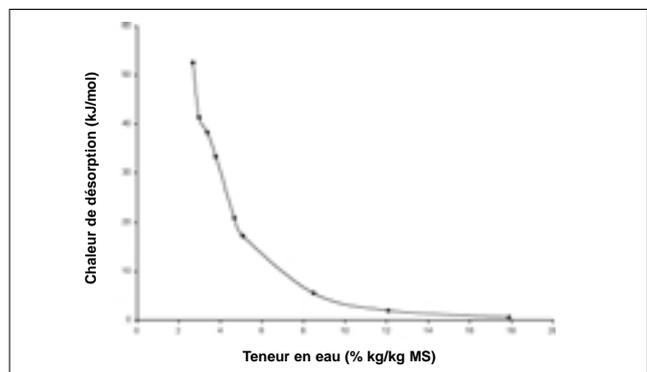


Figure 3: Chaleur de désorption d'eau de la pulpe des fruits de l'aiélé entre 40 et 70 °C.

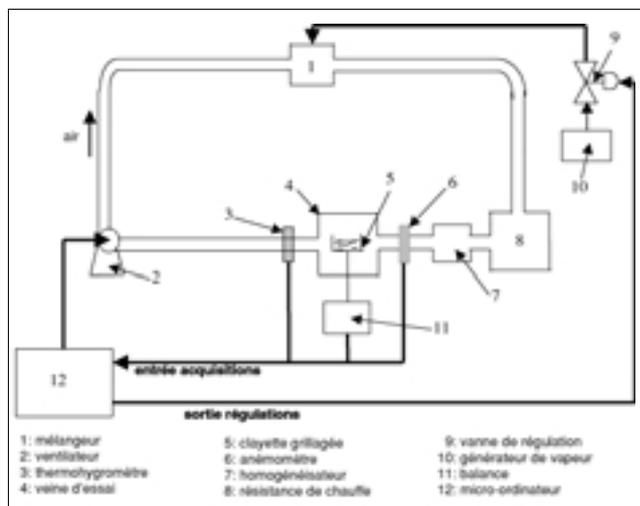


Figure 4: Schéma du dispositif expérimental pour la caractérisation des cinétiques de séchage.

Comme l'ont remarqué d'autres auteurs (17, 23, 25, 32), la chaleur de désorption augmente quand la teneur en eau diminue. En effet, aux basses teneurs en eau correspondent de plus fortes interactions de l'eau avec le matériau. Pour les études menées sur la pulpe des fruits de l'aiélé, le maximum de la chaleur de désorption calculée est de l'ordre de 52,5 kJ/mol, valeur qui correspond à une teneur en eau de 2,5 kg<sub>eau</sub> / kg<sub>MS</sub>. Cette valeur est comparable à celle obtenue pour le manioc (52 kJ/mol) (36). Par contre, elle est plus grande que les valeurs obtenues pour la banane (48 kJ/mol), l'ananas (30 kJ/mol), les dattes (7 kJ/mol) et le piment (38 kJ/mol) (17, 23, 25, 32, 36). Entre 40 et 70 °C, les valeurs de la chaleur de désorption (Q) de la pulpe des fruits de l'aiélé sont corrélées de façon satisfaisante (coefficient de corrélation R<sup>2</sup>= 0,993) à la teneur en eau X par la relation:  $Q = 0,983 + 166,674 \exp(-X/2,235)$ .

### 3. Cinétique de séchage

Les figures 5 à 7 indiquent respectivement l'influence de la température, de la vitesse et de l'humidité relative de l'air sur le séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé.

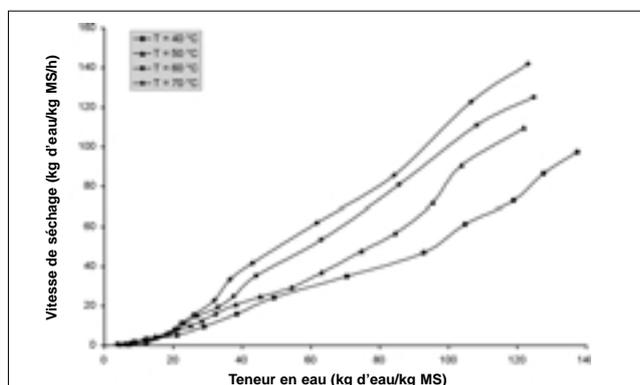


Figure 5: Influence de la température sur l'évolution de la vitesse de séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé (Hr= 40%; V= 1 m/s).

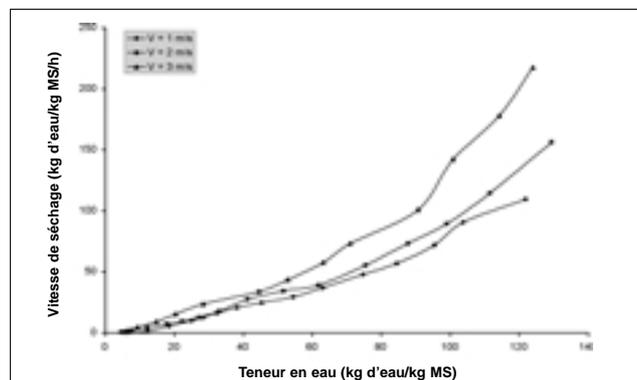


Figure 6: Influence de la vitesse de l'air sur l'évolution de la vitesse de séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé (T= 50 °C; Hr= 40%).

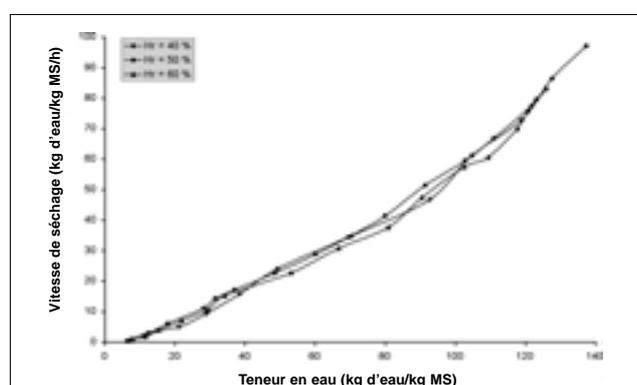


Figure 7: Influence de l'humidité relative de l'air sur l'évolution de la vitesse de séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé (T= 40 °C; V= 1 m/s).

L'analyse des courbes des figures 5 et 6 montre que la température et la vitesse de l'air sont les principaux facteurs influençant le processus de séchage. En effet, à une même teneur en eau, la vitesse de séchage augmente quand la température et/ou la vitesse de l'air augmente. Ces courbes confirment l'idée largement répandue selon laquelle plus la température et/ou la vitesse de séchage est élevée, plus court est le temps de séchage. Ces mêmes constats ont été faits antérieurement lors du séchage des prunes (5), de la pulpe de safou (38) et des pamplemousses (41). Contrairement aux observations faites par Kechaou *et al.* (24) lors du séchage des dattes, la superposition des courbes de la figure 7 montre que le séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé n'est pas influencé par l'humidité relative de l'air entre 40 et 60%.

Les courbes des figures 5 à 7, mettent en évidence que la phase de séchage à vitesse constante n'existe pas ici. Comme l'ont remarqué d'autres auteurs (7, 24, 31, 38), les produits biologiques sèchent généralement à allure décroissante. Ainsi, après naturellement une phase de mise en température (habituellement appelée période zéro), le séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé présente directement une période de

séchage à vitesse décroissante généralement appelée période deux. Durant cette période, l'activité de l'eau en surface est inférieure à un et les transferts internes de matière deviennent limitants. La teneur en eau du produit diminue jusqu'à atteindre une teneur en eau d'équilibre pour laquelle l'activité de l'eau est égale à l'humidité relative de l'air (8).

Par ailleurs, il a été vérifié à l'entrée, au sein et à la sortie de la veine d'essai que les caractéristiques de l'air (température, vitesse) sont très peu modifiées lors de sa traversée du produit. Ce critère permet de vérifier qu'il s'agit d'une couche «élémentaire» de produit.

**Modélisation du séchage**

La modélisation de la cinétique de séchage, selon l'approche de la courbe caractéristique de séchage (C.C.S.), permet de simplifier la représentation des résultats expérimentaux en dépit de la complexité des phénomènes impliqués à l'échelle microscopique (c'est-à-dire dans les pores du produit) (15).

La vitesse de séchage et la teneur en eau sont normées de façon à obtenir une courbe unique caractéristique du produit étudié. Le tableau 2 donne les valeurs du paramètre n identifiés dans différentes conditions de séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé.

**Tableau 2**

**Valeurs du paramètre n observées lors du séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé dans différentes conditions de température, vitesse et humidité de l'air**

Conditions de séchage			Valeurs du paramètre n
Température (°C)	Humidité relative de l'air (%)	Vitesse de l'air (m/s)	
40	40	1	1,60
40	50	1	1,43
40	60	1	1,60
50	40	1	1,73
50	40	2	1,54
50	40	3	1,60
60	40	1	1,52
70	40	1	1,45
Moyenne			1,56

Une moyenne  $n = 1,56 \pm 0,10$  peut être associée à l'ensemble des courbes. La connaissance de ce paramètre n permet de prévoir l'évolution de la teneur en eau du produit au cours du temps par la relation:  $X = X_{eq} + [(X_0 - X_{eq})^{(1-n)} - V_0(1-n)t / (X_0 - X_{eq})^n]^{(1/1-n)}$  (3).

Cette relation vient de l'intégration de l'expression de la courbe caractéristique de séchage exprimée sous la forme d'une fonction puissance à savoir:

$$\frac{(dX/dt)}{V_0} = \left( \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \right)^n \text{ avec } V_0 = \left( \frac{dX}{dt} \right)_0$$

Cette équation est d'une grande importance pratique puisqu'elle donne accès à la vitesse ou au temps de séchage à partir de la teneur en eau initiale du produit. Aussi, elle contribuera à l'élaboration de méthodes rationnelles et efficaces de calcul de séchoirs.

La figure 8 présente la courbe caractéristique de séchage des pulpes des fruits de l'aiélé.

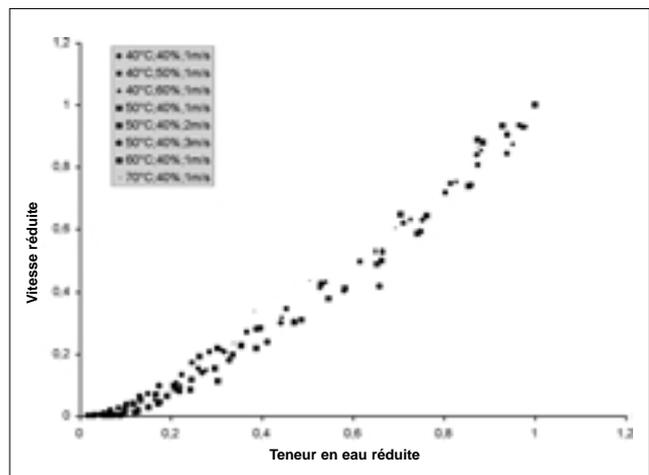


Figure 8: Courbe caractéristique de séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé.

Elle représente la vitesse réduite ( $V_r$ ) en fonction de la teneur en eau réduite ( $\phi$ ). Il s'agit d'une courbe unique qui ne tient pratiquement pas compte des conditions aérothermiques.  $V_r$  et  $\phi$  sont deux grandeurs adimensionnelles.

Le critère utilisé pour évaluer la fiabilité de la simulation est l'erreur relative moyenne de déviation enregistrée sur l'évolution de la teneur en eau entre les résultats expérimentaux et les résultats théoriques, cette erreur est calculée à partir de la relation (3, 23)

$$E(\%) = \frac{100}{p} \sum_{i=1}^p \frac{|X_m - X_c|}{X_m}$$

où:

$X_m$  est la teneur en eau mesurée expérimentalement,  $X_c$  est la teneur en eau calculée,

p est le nombre de points ou d'observations au cours de l'essai de séchage.

Pour le séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé et pour différentes conditions d'étude, huit essais représentant les différentes conditions d'étude ont été réalisés; la valeur moyenne de E obtenue est de 10,029% ± 1,014. Kouhila *et al.* (27) considère qu'une valeur voisine de 10% est le reflet d'une bonne simulation des résultats obtenus expérimentalement.

## Conclusion

Les isothermes de désorption des pulpes des fruits de l'aiélé ont été obtenues à l'aide de la méthode gravimétrique statique en utilisant des solutions diluées d'acide sulfurique. Ces isothermes sont des courbes d'allure semblable à celles de la plupart des produits agricoles. La teneur en eau d'équilibre décroît lorsqu'on augmente la température. Le modèle de Guggenheim, Anderson et de Boer permet de représenter de façon satisfaisante la relation entre l'activité de l'eau et la teneur en eau du produit. La teneur en eau de la mono-couche est de 5,1%. Entre 40 et 70 °C, le maximum de chaleur de désorption de la pulpe des fruits de l'aiélé calculé est de 52,5 kJ/mol, valeur correspondant à 2,5 kg d'eau par kg de matière sèche. L'étude du séchage des pulpes des fruits de l'aiélé par entraînement à l'air chaud met en évidence l'influence des différents paramètres aérothermiques (température, vitesse et humidité relative de l'air) sur le processus de séchage, processus principalement influencé par la température et la vitesse plutôt que

par l'humidité relative de l'air de séchage. La méthode de la courbe caractéristique de séchage a été utilisée avec satisfaction pour représenter les cinétiques obtenues expérimentalement. Elle a permis de présenter une méthodologie conduisant à la prédiction de la cinétique de séchage de la pulpe des fruits de l'aiélé avec une précision satisfaisante. Les corrélations obtenues pourront être utilisées pour la simulation des opérations de séchage, dans le but de dimensionner plus facilement les séchoirs.

## Remerciements

Ce projet a été réalisé avec l'appui du Fonds International de Coopération Universitaire - FICU (Agence Universitaire de la Francophonie). Les auteurs adressent les remerciements à l'Université de Yaoundé 1 (Cameroun), pour son soutien financier dans le cadre du Fond Universitaire d'Appui à la Recherche (FUAR). Les remerciements sont également adressés à Aire-Développement (Paris, France).

## Références bibliographiques

- Agbo N'zi G. & Chatigre Kouame O., 1996, Amélioration de l'extraction de la matière grasse du fruit de *Canarium schweinfurthii* Engl. par ajout d'enzymes, *Sciences des aliments*, 16, 77-82.
- Agbo N'zi G., Chatigre Kouame O. & Ronald E.S., 1992, *Canarium schweinfurthii* Engl.: Chemical composition of the fruit pulp, *J.A.O.C.S.*, 69, 4, 317-320.
- Ahouannou C., Jannot Y., Lips B. & Lallemand A., 2000, Caractérisation et modélisation du séchage de trois produits tropicaux: manioc, gingembre et gombo, *Sciences des aliments*, 20, 413-432.
- Ajibola O.O. & Adams B.A., 1986, Desorption equilibrium moisture content of cassava at several temperatures, *Inter. Agrophysics*, 2, 3, 235-239.
- Barbanti D., Mastrocola D. & Pizzarani S., 1995, Air drying of plums-influence of some process parameters on the specific drying kinetics, *Sciences des aliments*, 15, 19-29.
- Belahimidi E., Belghit A., Mrani A., Mir A. & Kaoua M., 1993, Approche expérimentale de la cinétique de séchage des produits agroalimentaires: application aux peaux d'oranges et à la pulpe de betterave, *Rev. Gén. Therm.* 20, 1073-1089.
- Bimbenet J.J., 1978, Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires. 4<sup>ème</sup> cahier du GIA., SEPAIC, Paris, 30 p.
- Bimbenet J.J., Duquenoy A. & Trystram G., 2002, Génie des procédés alimentaires: des bases aux applications, Dunod, Paris.
- Bizot H., 1983, Using of GAB model to construct sorption isotherms, *In: Jowitt R. et al.* (Eds), *Physical properties of foods*, pp. 43-54, Applied sciences publishers, London and New York.
- Cairault A., 1988, Mécanismes et cinétiques de sorption de l'eau dans des milieux hygroscopiques gonflants, Thèse de Doctorat, Institut Nationale Polytechnique de Lorraine, Nancy, France.
- Chirife J. & Iglesias H.A., 1978, Equations for fitting water sorption isotherms of foods, *J. Food Technol.*, 13, 159-174.
- Daudin D. & Bimbenet J.J., 1982, Détermination expérimentale du comportement des produits solides lors du séchage par entraînement, *Industries alimentaires et agricoles*, 99, 112-235.
- Derdour L., 1998, Contribution à l'étude du concept de la Courbe Caractéristique de Séchage (C.C.S.): application au séchage de produits de type plâtre, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard – Lyon 1, France.
- Do Amaral Sobral J.P., Lebert A. & Bimbenet J.J., 1999, Isothermes de désorption de la pomme de terre entre 40 et 70 °C, *Sciences des aliments*, 19, 711-720.
- Fornell A., 1979, Séchage des produits biologiques par l'air chaud: calcul de séchoirs, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Industries agricoles et alimentaires, Montpellier, France.
- Gogus F. & Maskan M., 1999, Water adsorption and drying characteristics of okra (*Hibiscus Esculentus* L.), *Drying technology*, 17,4-5, 883-894.
- Hossain M.D., Bala B.K., Hossain M.A. & Mondol M.R.A., 2001, Sorption isotherms and heat of sorption of pineapple, *Journal of food engineering*, 48, 103-107.
- Iglesias H.A. & Chirife J., 1982, Water sorption parameters for food and food components, *Handbook of food isotherms*, Academic press, New York.
- Jiokap Nono Y. & Kapseu C., 1999, Problématique du traitement et de la distribution des fruits de l'aiélé (*Canarium schweinfurthii* Engl.) au Cameroun, *La rivista italiana delle sostanze grasse*, 76, 21-26.
- Kapseu C., Jiokap Nono Y., Broto F. & Roques M., 1998, Drying of pulp from African pears: avocado, safou and aiele, *Drying' 98*, pp. 2098-2104.
- Kapseu C. & Parmentier M., 1997, Composition en acides gras de quelques huiles végétales du Cameroun, *Sciences des aliments*, 17, 325-331.
- Kapseu C., Parmentier M., Kayem G.J., Schuffenecker L. & Dirand M., 1996, Fatty acid and triglycerides of *Canarium schweinfurthii* Engl. Fruit, *International tree crops journal*, 9, 77-86.
- Kaymak-Ertekin F. & Sultanoglu M., 2001, Moisture sorption isotherm characteristics of peppers, *Journal of food engineering*, 47, 225-231.
- Kechaou N., Bagane M., Maalej M. & Kapseu C., 1996, Approche empirique de la cinétique du séchage des dattes, *Sciences des aliments*, 16, 593-606.
- Kechaou N. & Maalej M., 1999, Desorption isotherms of imported banana – Application of the GAB theory, *Drying technology*, 17, 6, 1203-1213.
- Kenmegne Kamdem A.T., Ali A., Tchiégang C. & Kapseu C., 1997, Problématique de la production de l'huile de safou au Cameroun, *Fruits*, 52, 325-330.
- Kouhila M., Belghit A., Daguene M. & Boutalet B.C., 2002, Experimental determination of the sorption isotherms of mint (*Mentha viridis*), sage

- (*Salvia officinalis*) and verbena (*Lippia citriodora*), Journal of food engineering, 47, 281- 287.
28. Letouzey R., 1986, Manuel of forest botany-Tropical Africa, Centre technique forestier tropical, pp. 254-257, Nogent-sur-Marne, France.
  29. Loong T.L., Juming T. & Jianshan H., 1995, Moisture sorption characteristics of freeze dried blueberries, Journal of food science, 60, 4, 810-814.
  30. Mbida Mindzie C., 2000, L'aiélé (*Canarium schweinfurthii* Engl.) en Afrique centrale: histoire de la plante et les débuts de la domestication, pp. 67-78, In: C. Kapseu & G.J. Kayem (Eds), Séminaire international sur le séchage et sur la valorisation du karité et de l'aiélé, Presses universitaires de Yaoundé, Cameroun.
  31. Moyné C., 1985, Etablissement des courbes caractéristiques et exploitation. Cahier de l'AFSIA, 1, 3-17.
  32. Myhara R., Taylor M. & Al-Bulushi I., 1996, The moisture sorption isotherms of omani dates, Drying, 96, 989-996.
  33. Njoukam R., 1998, L'arbre aux fruits noirs: l'aiélé, Le Flamboyant, 46, 1-15.
  34. Noumi G.B., Ngameni E., Kapseu C. & Parmentier M., 2002, Variation de la composition en acides gras et en triglycérides de l'huile des fruits de l'aiélé en fonction des conditions d'extraction et de la couleur du fruit. La rivista italiana delle sostanze grasse, 79, 315-318.
  35. Park K.J., Alonso L.F.T., Rodrigues R.A. & Scavroni C.M.S., 1996, Desorption isotherms of red ginger (sho-ga): experimental determination and evaluation of mathematical models, Drying, 96, 1023-1028.
  36. Sanni L.O., Kolawole A.G., Akingbala J.O. & Kuye A., 1999, Effect of drying methods moisture sorption isotherms of fufu at three temperatures, Drying Technology, 17,1-2, 285-297.
  37. Saravados G.D., Tsiourvas D.A. & Tsami E., 1986, Effect of temperature on water adsorption isotherms of sultana raisins, J. Food Sci. 51, 381-387.
  38. Silou T., Goma Maniougui J., Boungou P. & Ouamba J.M., 1991, Etude du séchage de la pulpe de safou: résultats préliminaires, Tropicultura, 9, 2, 61-68.
  39. Tchiégang C., Kamga R. & Kapseu C., 1998, African black olive (*Canarium schweinfurthii* Engl.): a novel ingredient for small scale traditional oil production, La rivista italiana delle sostanze grasse, 75, 565-567.
  40. Tchouamo I.R. & Simonet M., 2000, Impact socio-économique de l'aiélé dans les hautes terres de l'ouest du Cameroun, pp. 229-241, In: C. Kapseu & G.J. Kayem (Eds), Séminaire international sur le séchage et sur la valorisation du karité et de l'aiélé, Presses universitaires de Yaoundé, Cameroun.
  41. Tulasidas T.N., Raghavan G.S.V. & Norris E.R., 1993, Microwave and convective drying of grapes, American society of Agricultural engineers, 36, 6, 1861-1865.
  42. Van Meel D.A., 1958, Adiabatic convection batch drying with recirculation of air, Chem. Eng. Sci. 9, 36-44.

G.B. Noumi, Camerounais, Doctorat/Ph.D., Assistant, Faculté des Sciences, Université de Ngaoundéré, Cameroun.

S. Laurent, Français, Doctorat unique, Maître de conférences, ENSGTI, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France.

E. Ngameni, Camerounais, Doctorat unique, Habilitation à diriger les recherches, Maître de conférences, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé 1, Cameroun.

C. Kapseu, Camerounais, Doctorat d'Etat, Maître de conférences, ENSAI, Université de Ngaoundéré, Cameroun.

Y. Jannot, Français, Doctorat unique, Maître de conférences, ENSAM de Bordeaux, France.

M. Parmentier, Français, Doctorat d'Etat, Professeur, ENSAIA, Institut National Polytechnique de Lorraine (Nancy), France.