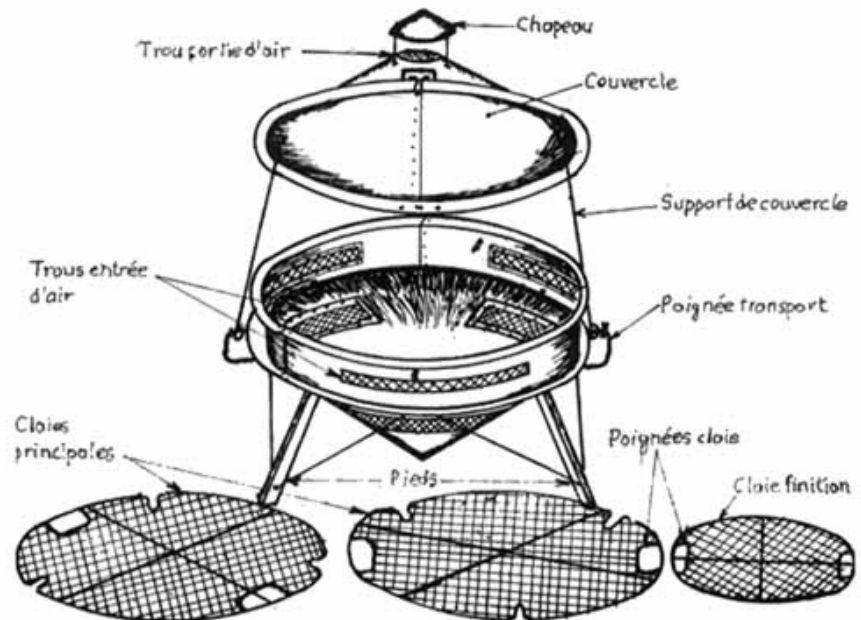
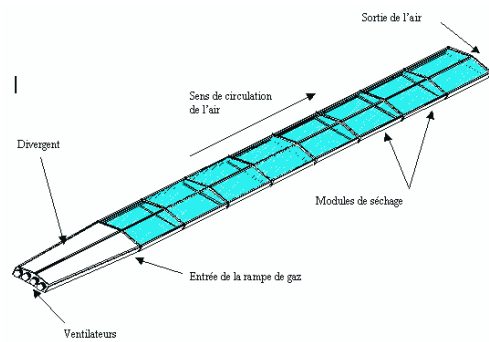




Promotion de l'Électrification Rurale et de l'Approvisionnement Durable en Combustibles Domestiques **PERACOD**



FICHE SUR LES SECHOIRS COQUILLAGE ET GEHO *Destinés au séchage des fruits*



LE SECHOIR COQUILLAGE A TROIS CLAIES

Nadine Berthomieu
Avril 2004

I. Données Générales

I.1. La cinétique de séchage

Il est reconnu que pour le séchage de fruits et légumes, l'hygrométrie finale du fruit doit être de 5%. Nous allons étudier ici l'exemple du séchage des mangues dans un séchoir de type coquillage amélioré (voir fiche sur les différents types de séchoir), où la convection forcée de l'air se fait par l'intermédiaire d'un ventilateur de $800\text{m}^3/\text{h}$, alimenté par des panneaux solaires de 120 Wc. Ce séchoir fut élaboré par l'EIER de Ouagadougou au Burkina Faso.

Ce séchoir n'ayant pas encore été utilisé pour le séchage de mangues, il nous a paru intéressant de simuler ce séchage et de le comparer au séchage avec un séchoir de type Gého.

Les caractéristiques de séchage de la mangue furent retenues d'après les simulations des cinétiques de séchage de la banane et de la mangue par le modèle de courbe caractéristique de séchage de Henderson du Laboratoire d'Énergétique, École Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP), B.P. 8390 Yaoundé. Cameroun.

Dans un solide alimentaire, l'eau peut se retrouver sous trois formes : libre, adsorbée ou liée.

1. L'eau libre est facilement retirée du solide.
2. L'eau absorbée s'enlève avec un certain effort énergétique
3. Tenter de soutirer de l'eau chimiquement liée est impossible sans modifier la structure intrinsèque du solide. Dans cette seconde phase, la nature de l'aliment, sa structure, son contenu en eau et sa température vont influencer grandement le procédé de séchage.

Pour le séchage de fruit, les valeurs reconnues sont :

- une teneur en eau initiale de 80-90% et une teneur en eau finale de 5%.
- une température du fluide de séchage qui varie de 50 à 100°C.

Les essais de Maurissen- (rapport Geres- en 1993 mesure CS = 0.0886 kg gaz /kg d'eau évaporée), permettent d'estimer que pour la Mangue :

- la chaleur de vaporisation de l'eau libre est $L = 2440 \text{ kJ/kg}$ d'eau évaporée
- la chaleur de vaporisation pour de l'eau liée à un peu moins du double soit $L = 4032 \text{ kJ/kg}$ d'eau

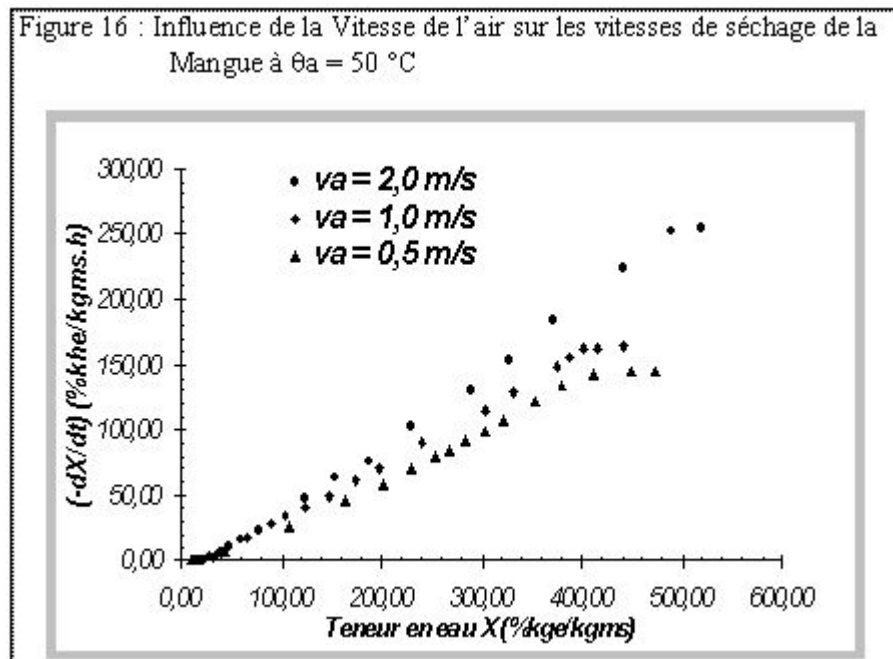
Il faut utiliser ces valeurs lorsqu'on fait du séchage au gaz.

I.2. La circulation de l'air

La vitesse de circulation de l'air est normalement élevée et on l'estime de 4 à 5 m/s pour satisfaire des conditions de séchage optimales. La vitesse minimum suggérée est de 2.5 m/s. (Thompson, 1992).

Or, pour avoir une telle vitesse minimum dans le séchoir coquillage, il faudrait une section de 5.33 m^2 . Or le séchoir a une section de 1.8 m^2 . La vitesse, avec $800 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ est donc de $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dans le séchoir de type Geho (section 1.3×0.3), cette vitesse atteint 0.56 m.s^{-1} (section de 0.4 m^2 et $1120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Bien que ces vitesses restent faibles, elles rendent le séchage plus performant, tel en témoigne le graphe suivant :

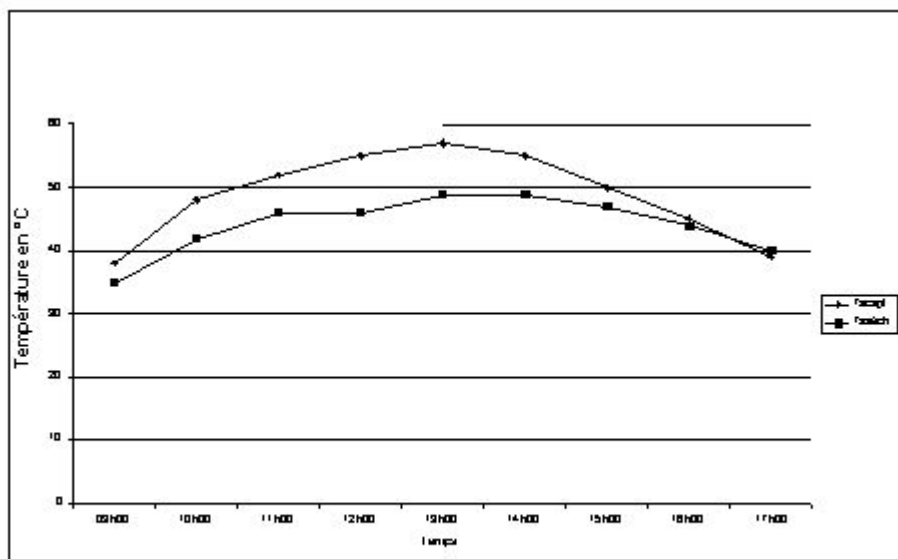


Graph 1 : cinétique de séchage des mangues en fonction des vitesses de l'air

II. Le dimensionnement du séchoir

II.1 Données préalables :

1. l'humidité relative au Sénégal peut varier de 20 à 60 %. Nous étudierons le séchage de la mangue pour une humidité variant de 20 à 50%, pour les mois de juin à septembre considérés comme les mois de récolte de la Mangue.
2. d'après nos données sur les séchoirs solaires, la température dans le séchoir atteint souvent 25°C de plus que la température extérieure. Ainsi, puisque nous avons **l'isotherme de désorption de la mangue à 50°C** , nous conserverons cette température comme température de séchage. Ce qui signifie que la température extérieure est supposée de 25°C . Comme cette courbe n'est pas très sensible à des écarts de température inférieurs à 10°C , il sera juste de travailler avec des températures de séchoir oscillants entre 40 et 60°C , ce qui est le cas dans le séchoir coquillage amélioré d'après le graphe suivant :



Graph 2 : températures de l'air à l'entrée et à la sortie du séchoir coquillage amélioré

Ainsi on peut remarquer que les courbes de température du séchoir coquillage amélioré par convection forcée oscillent entre 38 et 57 °C et la différence de température entre l'entrée et la sortie du séchoir est inférieure à 5 degrés.

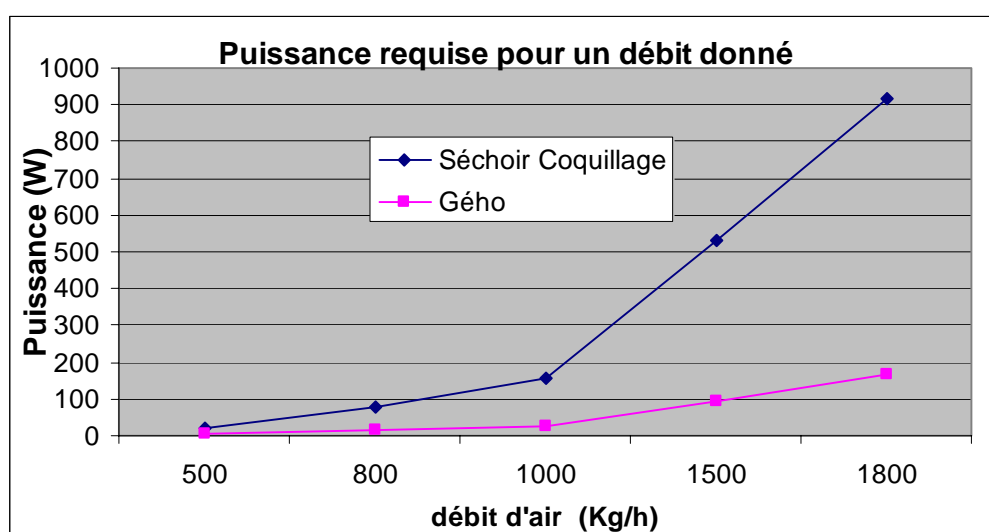
En ce qui concerne le séchoir Gého, ces températures sont de l'ordre de 45 degrés en moyenne, car la ventilation y est plus importante.

II.1 Pertes de charges

Les deux séchoirs étudiés diffèrent par une données essentielles : les types de perte de charge

- Séchoir Coquillage : pertes de charges singulières importantes car les claies sont superposées. Pas de pertes de charges laminaires.
- Séchoir Gého : pertes de charges laminaires essentiellement

En traçant les courbes de puissance à installer en fonction du débit désiré, on traduit cette tendance :



Graph 3 : comparaison des puissances nécessaires entre le séchoir Gého et le séchoir coquillage

III. Calculs des temps de séchage

Exemple de calcul :

L'air pris à l'extérieur dans les conditions A : 30°C, 20% d'humidité

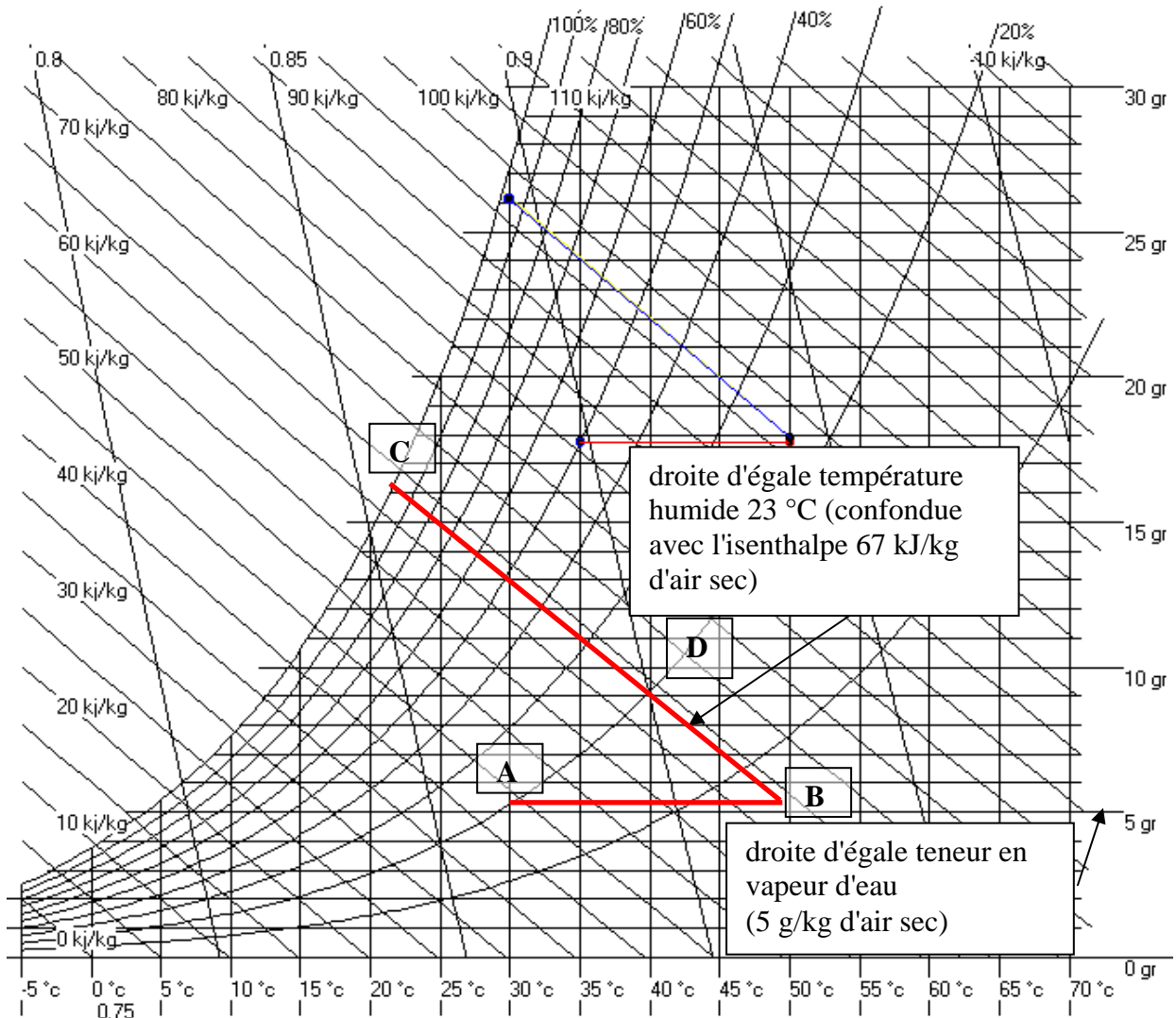
Température : $\theta_A = 30^\circ\text{C}$

Teneur en eau : $m_{vA} = 5 \text{ g}_{\text{vapeur d'eau/kg d'air sec}}$

Si on estime la température du séchoir comme étant en moyenne à 50°C ce qui sera vrai dès 11H00 du matin dans la plupart des séchoirs solaires - l'air entre dans le séchoir dans les conditions suivantes B :

Température : $\theta_B = 50^\circ\text{C}$

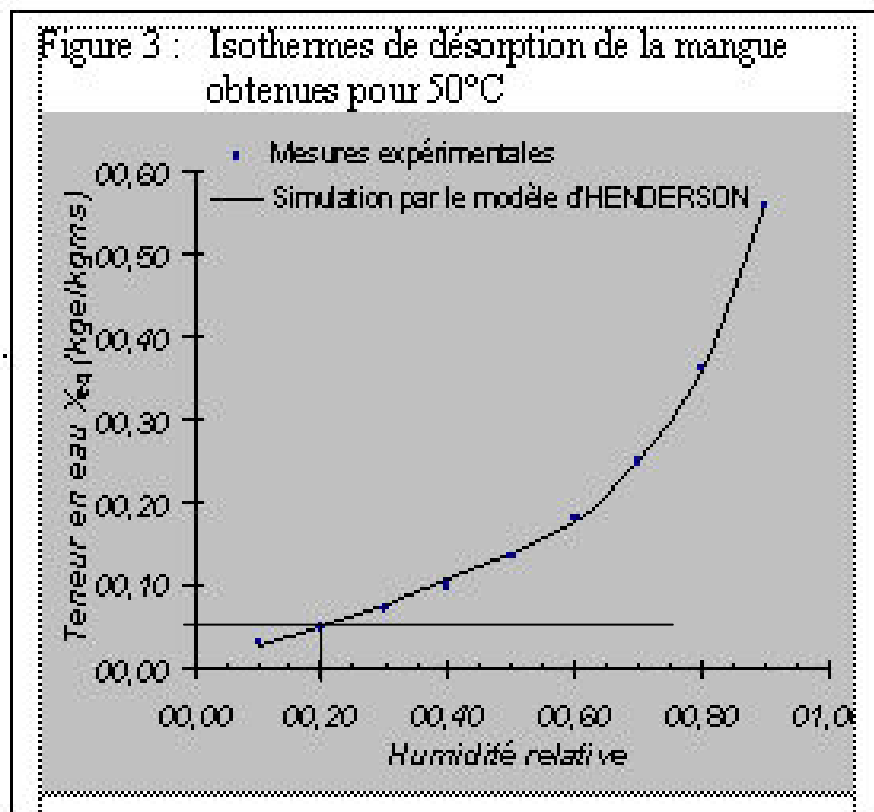
Teneur en eau : $m_{vB} = 5 \text{ g}_{\text{vapeur d'eau/kg d'air sec}}$



Graph 4 : caractérisation du séchage sur le diagramme de l'air humide

Cet air va d'abord extraire l'eau libre située à la surface du produit saturé. Cette eau libre saturée correspond à une phase éphémère du séchage tel que le montre le graphe 6 (cette phase correspond à la partie plate des courbes). La température humide de cet air est d'environ 23°C environ (point C : teneur en eau : $m_{vC} = 16 \text{ g}_{\text{vapeur d'eau/kg d'air sec}}$).

Au fur et à mesure que le séchage s'opère, le produit s'échauffe et l'humidité relative de l'air, en équilibre avec le produit, diminue jusqu'à une valeur donnée par l'isotherme de désorption ci-après (d'après Henderson, graphe 2), et correspondant à la teneur en eau finale du produit que l'on veut atteindre. Si nous voulons obtenir 5% de teneur en eau tel qu'il l'est préconisé avec les fruits, on obtiendra 20% d'humidité relative de l'air. On retombera donc au point D, qui correspond à un air : $m_{vC} = 9 \text{ g}_{\text{vapeur d'eau/kg d'air sec}}$. Le séchage sera alors complètement terminé.



Graphe 5 : courbe de désorption de la mangue

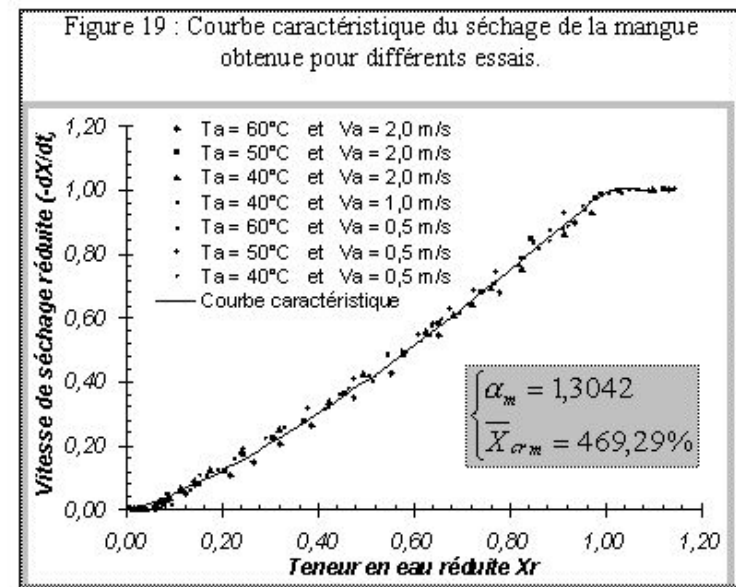
En début de séchage, 1 kg d'air sec peut extraire :

$$m_{vC} - m_{vB} = 16 - 5 = 11 \text{ g}_{\text{vapeur d'eau/kg d'air sec}}$$

En fin de séchage l'air ne peut évacuer que :

$$m_{vD} - m_{vB} = 9 - 5 = 4 \text{ g}_{\text{vapeur d'eau/kg d'air sec}}$$

En prenant la moyenne logarithmique de ces deux valeurs, on obtient la valeur moyenne de l'eau captable de cet air : $6.6g_{\text{vapeur d'eau/kg d'air sec}}$.



graphe 6 : influence des différents paramètres sur le séchage

La mangue contient environ 600Kg d'eau pour 100Kg de masse sèche.

Si on veut obtenir un produit séché à 5%, il faudra extraire 550Kg d'eau pour 100Kg de matière sèche, soit, pour des mangues à hygrométrie de 85% (matière humide), il faut extraire **800g d'eau /Kg de mangue récoltée.**

Si le séchoir coquillage amélioré peut contenir 20Kg de mangue (suggéré par Mr Coulibaly), il faut extraire 16Kg d'eau. Si on estime la moyenne captage en eau de l'air à $6.6g_{\text{vapeur d'eau/kg d'air sec}}$, alors on devra extraire:

$$\frac{16kg \text{ d'eau}}{0,0066kg_{\text{vapeur d'eau}}/kg_{\text{air sec}}} = 2667kg_{\text{air sec}} : \text{c'est la masse d'eau qu'il faut sortir de notre}$$

séchoir.

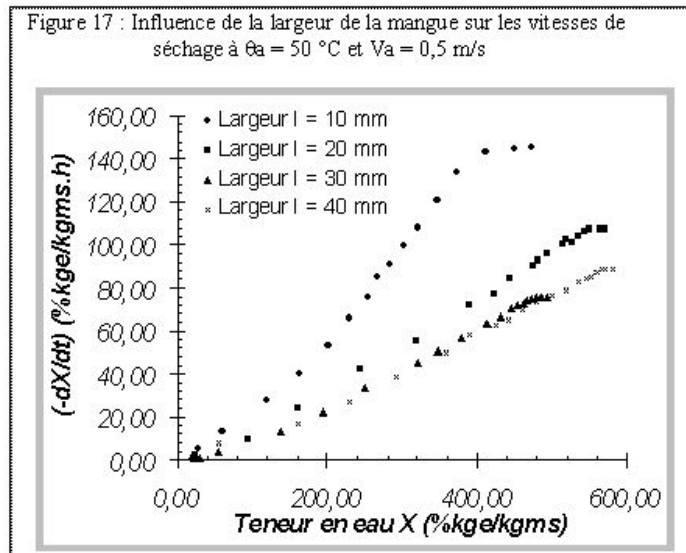
Or cet air étant à la température $T = 30^\circ\text{C}$, à la pression atmosphérique (le tunnel est ouvert) $P = 101.3\text{kPa}$. D'après l'équation des gaz parfaits ($R = 0.291\text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{Kg}\cdot\text{K}$), on obtient, avec un ventilateur de $800\text{m}^3/\text{h}$ (ventilateur pour séchoir coquillage ventilation forcée), un débit d'air sec de $919 \text{ kg}_{\text{air sec}}/\text{h}$. On dit aussi que le débit évaporatoire est de $6\text{Kg d'eau}/\text{h}$.

Si le séchage se faisait dans des conditions optimales (si le séchoir était à 50 degrés tout le temps), la totalité de l'eau (libre et liée) serait évacuée en 2.9 heures, soit environ 3 heures.

Ce calcul est répété sur les mois de séchage (juin – septembre), dont on connaît les valeurs de température et d'hygrométrie, et on extrait donc une moyenne sur ces mois du débit évaporatoire dans les conditions du séchoir indiquées.

IV. Paramètres influençant le séchage

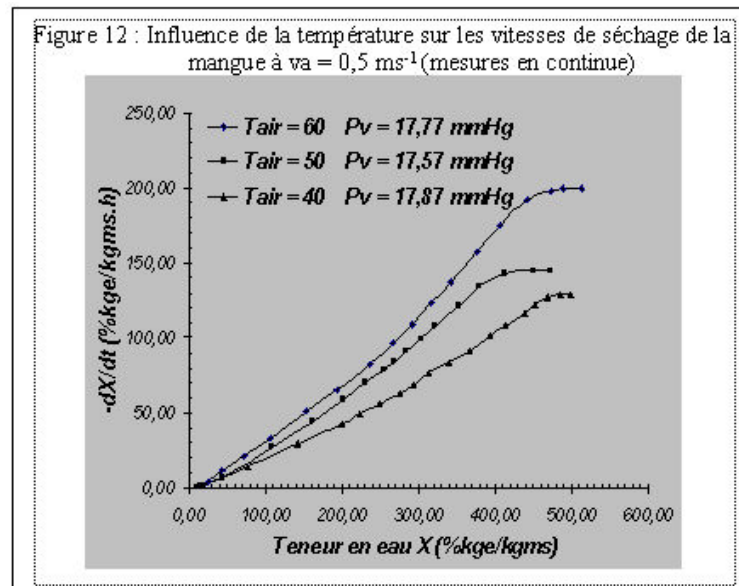
IV.1 Influence de la taille des mangues sur le séchage



Graph 7 : influence de la coupe sur le séchage

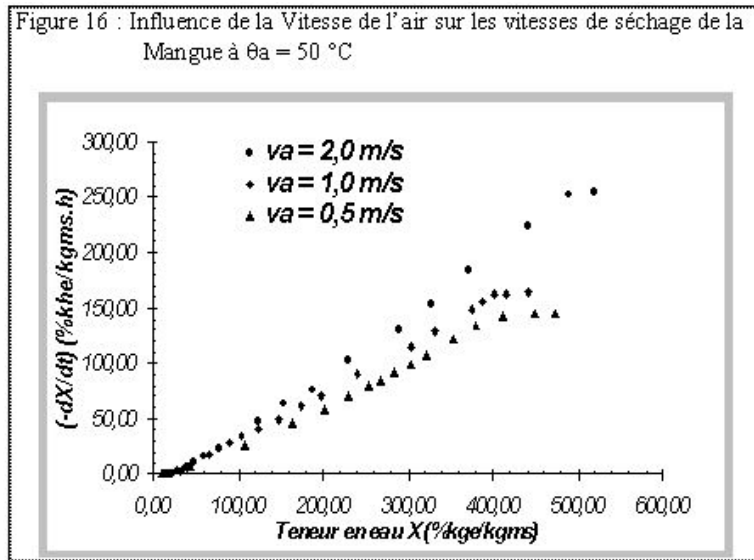
La mise en évidence de l'influence de la taille du produit est obtenue en changeant, d'un essai à l'autre, la largeur des morceaux de manguette avec les caractéristiques de l'air maintenues constantes.

IV.2. Influence de la température de l'air sur le séchage



Graph 8 : influence de la température de l'air sur le séchage

IV.3. Influence de la vitesse de l'air sur le séchage



Grphe 9 : influence de la température de l'air sur le séchage

Nous notons d'après ces cinétiques, que l'influence des caractéristiques de l'air est importante, notamment au début du séchage lorsque la surface du produit est bien mouillée. L'influence de la vitesse d'écoulement ainsi que la température de l'air, traduite par les, sont remarquables.

Conclusion : entre le séchoir coquillage et le séchoir Gého, c'est donc essentiellement entre la température et de la vitesse de séchage que les différences se feront. L'un, le séchoir Gého, a une température de séchage plus basse (45°C contre 50°C), pour une vitesse de séchage plus grande (0.8 m.s^{-1} contre 0.35 m.s^{-1}).

V. Comparaison entre les deux séchoirs :

	Séchoir GEHO	Séchoir Coquillage amélioré
Température de Séchage	45°C	50°C
Débit d'air moyen	1150	800
Puissance requise au niveau ventilateur	40 Wélec	80 Wélec
Puissance crête installée	110 Wc car fonctionnement nocturne	120 Wc sans batteries
Débit évaporatoire (Kg d'eau/h)	5.2	5.3
Capacité (en Kg de produits frais)	150	20
Possibilité de séchage de Mangue par jour ¹	25 Kg	25*
Coût (FCFA)	1400000	1200000

* : capacité maximale de 20 Kg. Changement de claies nécessaire

¹ En prenant pour la saison de ramassage des mangues Juin/Octobre

Conclusions :

On peut suggérer pour le séchoir coquillage amélioré utilisé dans le cas de séchage de mangues d'augmenter sa capacité ou sa contenance afin d'accueillir 25 Kg sur ses claies. On peut également envisager une pulsion d'air moins importante de $700\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ qui nécessiterait un ventilateur de 55 Wélec, ou encore 90Wc installés.

La nécessité de batteries pour le séchoir GEHO est indéniable car le séchage se fait sur plusieurs jours.

D'une manière générale le séchage par voie photovoltaïque est très bien adapté au séchage par convection forcée, et on gagne souvent la moitié de temps de séchage lorsqu'on fait le séchage par convection forcée. Les ventilateurs de voiture sont très bien adaptés au séchage par convection forcée alimentés par du photovoltaïque.