

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
FILIERE : GENIE INDUSTRIEL
DEPARTEMENTS : GENIE MECANIQUE
ET PRODUCTIQUE
GENIE ELECTRIQUE



*Mémoire de fin d'études en vue d'obtention du diplôme
d'Ingénieur en Génie Industriel*

**ETABLISSEMENT SUR ETUVE
DES PROPRIETES PHYSIQUES NECESSAIRES
AU SECHAGE DE DIVERS FRUITS
DE MADAGASCAR EN VUE
DE LA CONSOMMATION DE FRUITS SECHES**

Présenté et soutenu par : ANDRIATSILAVO Daniel Germain

Devant le JURY :

Président : Monsieur **Honoré A. RANOARIVONY**
Rapporteur : Monsieur **Jean Désiré RANARIJAONA**
Examineurs : Messieurs **Herizo ANDRIAMANOHISOA**
Rabeatoandro JOELIHARITAHAKA
René RAKOTONIRIANA

Date de soutenance : 17 Janvier 2004

Année Universitaire : **2002-2003**



REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail, nous tenons à exprimer notre vive gratitude à l'égard de :

- *Monsieur **RANDRIANOELINA Benjamin**, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui nous a autorisé de soutenir ce mémoire.*
 - *Monsieur **JOELIHARITAHAKA Rabeatoandro**, Chef de Département Génie Mécanique et Productique qui nous a permis d'effectuer au laboratoire thermique du Génie Industriel sis au Bloc Technique Vontovorona, les différentes expériences afférentes au sujet ; et d'autre part de présenter notre ouvrage comme aboutissement de notre fin d'étude.*
 - *Monsieur **RANOARIVONY Andrianjohelimahefa Honoré**, Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui a bien voulu présider le jury de cette séance.*
 - *Monsieur **RANARIJAONA Jean Désiré**, Enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui, malgré toutes ces occupations, a bien voulu m'encadrer et me prodiguer des conseils pertinents et encouragements.*
 - *Messieurs **ANDRIAMANOHSOA Herizo** et **RAKOTONIRIANA René**, Enseignants à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo d'avoir accepté de siéger parmi les membres de jury.*
 - *Tous les Enseignants dans la filière Génie Industriel de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo pour toutes les connaissances qu'ils nous ont fournies durant ces cinq années d'études.*
 - *Tous les personnels de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.*
-



- *Toute ma famille pour leurs soutiens moraux et financiers.*

- *Tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.*

Merci !

Résumé :

L'objet de ce travail est d'étudier le séchage de fruit en utilisant un séchoir électrique par chauffage et ventilation.

D'abord nous avons pris comme fruits étudiés, la mangue, la banane et l'ananas. Les relevés des différents paramètres au cours de l'expérimentation ont permis de déterminer la vitesse de séchage pour chaque cas.

Ensuite, nous avons établi un programme informatique, utilisant le langage MATLAB 5.3, qui permet de simuler le lissage de courbe obtenue expérimentalement et théoriquement en utilisant le modèle d'HENDERSON pour les calculs de constantes dépendant du produit n et k .

Connaissant ces deux constantes, on peut déterminer facilement les expressions des isothermes de désorption.

En fin, nous avons terminé l'étude par un calcul économique pour mettre en évidence la rentabilité du projet.

Summary :

The object of this work is to study the drying of fruit while using an electric drier by heating and ventilation.

First we took like fruits study, the mango, the banana and the pineapple. The summaries of the different parameters during the experimentation permitted to determine the speed of drying for every case.

Then, we established a computer program, using the language MATLAB 5.3, that permits to simulate the smoothing of curve gotten experimentally and theoretically while using the model of HENDERSON for the calculations of constants depending on the product (n and k).

Knowing these two constants, one can determine the expressions of the isotherms of desorption easily.

In end, we finished the survey by an economic calculation to put in evidence the profitability of the project.



NOMENCLATURE

- a_e : activité de l'eau
- A_p : Amortissement annuel
- a, b : paramètres caractéristiques du produit
- B : bénéfice annuel
- $(CF)_n$: cash-flow à l'année n
- CF : capital fixe
- C_g : fraction massique de vapeur d'eau
- C_{p_a} : capacité calorifique à pression constante
- C_s : coût de séchage
- C_v : fraction massique de vapeur d'eau d'un air humide
- CV : charges variables
- C_w : coût du kWh de la JI.RA.MA (Jiro sy RAno MAlagasy)
- f : fonds de roulement
- FM : frais de maintenance
- FO : frais opératoire
- F_p : intérêt en cas emprunt
- h : enthalpie de l'unité de masse humide
- h_a : enthalpie massique de l'air sec
- h_v : enthalpie massique de vapeur d'eau
- H_a : humidité absolue de l'air humide
- H_{as} : humidité absolue de l'air humide à l'état de saturation
- H_r : humidité relative de l'air asséchant
- i : taux d'imposition sur les bénéfices
- I : capital amortissable ou investissement
- I_0 : investissement initial à l'année 0
- I_1 : investissements en limites des unités de fabrication
- I_2 : services généraux et stockage
- I_3 : frais d'étude
- I_4 : stock de pièces de rechange
- I_5 : frais de démarrage



n, k	: constantes dépendant du produit
m	: masse d'air humide
m_a	: masse d'air sec
m_v	: masse de vapeur d'eau
m_{vs}	: masse de vapeur d'eau à l'état de saturation
•	
\dot{m}	: masse d'eau évaporée par unité de temps
M	: masse du produit
M_a	: teneur en eau absolue ou teneur en eau base sèche
M_{a1}	: teneur en eau libre
M_{eau}	: masse d'eau contenue dans le produit
M_{ext}	: masse d'eau extraite
M_g	: masse de gaz
M_r	: teneur en eau relative ou teneur en eau base humide
M_s	: masse de matière sèche
M_v	: masse molaire de la vapeur d'eau
P_v	: pression de vapeur
P_s	: pression de vapeur à la surface du corps humide
P_{vs}	: pression de vapeur saturante
Q_f	: puissance évaporatoire au niveau du produit
S_c	: siccité
T	: température de l'air asséchant
TS	: taux de matière sèche
V	: vitesse de l'air asséchant
V_{app}	: volume apparent du produit
V_{ps}	: volume de pores
λ	: conductivité thermique de l'air humide
ε	: porosité volumique
μ	: viscosité dynamique de l'air
μ_a	: viscosité dynamique de l'air sec
μ_v	: viscosité dynamique de la vapeur d'eau
ρ	: masse volumique de l'air humide
$\rho_{s.app}$: masse volumique apparente de la matière sèche



- ρ_1 : masse volumique de l'eau
 - Ψ : taux de saturation
 - ΔM : difference de masse
 - Δt : difference de temps
 - ΔT : difference de temperature
-



INTRODUCTION

Madagascar est une île connue par la diversité de ses fruits. Certains d'entre eux peuvent être trouvés en quantité abondante toute l'année alors que d'autres ne sont que saisonniers. Sans vouloir mentionner la place qu'elles tiennent dans le domaine de l'exportation, le choix porté sur l'étude tend vers la recherche d'une meilleure conservation et consommation de ce produit en tenant compte du prix et de la rentabilité du système utilisé.

Parmi les méthodes de conservation du fruit, le séchage à l'air libre est la plus employée, la technologie énergétique apporte ultérieurement de nouveaux procédés de séchage par l'introduction du capteur solaire et de l'électricité dans le système. De toute façon, ces différents systèmes reposent sur la connaissance des processus et des phénomènes qu'il convient d'élucider.

Pour l'étude des comportements du produit au cours de séchage une étuve à dispositif électrique serait plus fiable.

D'où l'importance de ce mémoire de fin d'études intitulant **" ETABLISSEMENT SUR ETUVE DES PROPRIETES PHYSIQUES NECESSAIRES AU SECHAGE DE DIVERS FRUITS DE MADAGASCAR EN VUE DE LA CONSOMMATION DE FRUITS SECHES "**.

Pour ce faire, il est important de rappeler les caractéristiques physiques des produits fruitiers. Ce rappel, sera alors traité d'une manière succincte dans le premier chapitre.

Ceci étant, on se proposera dans la deuxième chapitre de mettre en exergue la description et le fonctionnement du séchoir.

Il est aussi nécessaire de définir les différentes expressions se rapportant aux expérimentations.

Ayant défini ces paramètres, il est plus aisé de passer à l'étape expérimentale sur laquelle se fonde toute approche scientifique. Le quatrième chapitre stipulera de ce fait les procédures expérimentales et expérimentation à propos du séchage des fruits.

Le propre de l'ingénieur est de concevoir un projet qui s'accommode aux exposants techniques, économiques et environnementaux. Ce qui fera l'objet de ce cinquième chapitre.



Chapitre I : RAPPEL SUR LE SECHAGE

I.1- GENERALITES SUR LE SECHAGE [5]

La qualité conditionne la survie des produits de séchage s'ils font l'objet d'une transformation et d'une mise en oeuvre adaptée au caractère originel.

Le séchage, étant une étape de la transformation des produits et plantes, est donc un maillon à maîtriser parfaitement.

Quoique plusieurs procédés puissent y être déployés, la finalité serait d'atteindre un taux d'humidité bas de façon relativement rapide. En d'autre terme, sécher un produit revient à le ramener, dans une condition de température convenable, à un stade où la teneur en eau est suffisamment petite.

Cet état de produit à basse humidité doit être respecté pour éviter toute détérioration, pour conserver les éléments nutritifs et finalement pour consommer à bon goût.

Le but est de ramener, le produit initialement à l'état humide à un état final "sèche" devant correspondre à la qualité requise pour sa consommation.

Cette qualité de séchage fixe le taux de l'activité de l'eau dans le produit séché, donc le risque de dégradation.

L'activité de l'eau est :

- Très élevée pour les produits présentant une humidité plus de 0,90
- Forte de 0,75 à 0,90
- Limitée entre 0,60 et 0,75
- Pratiquement inexistante en dessous de 0,60

Et il est défini par le rapport entre la pression de vapeur à la surface du corps humide et la pression de vapeur saturante au dessus de l'eau liquide à la température du système, donc :

$$a_e = \frac{P_s}{P_{vs}} \quad (1.1)$$

avec P_s : pression de vapeur à la surface du corps humide

P_{vs} : pression de vapeur saturante.

La figure suivante montre l'activité de l'eau.

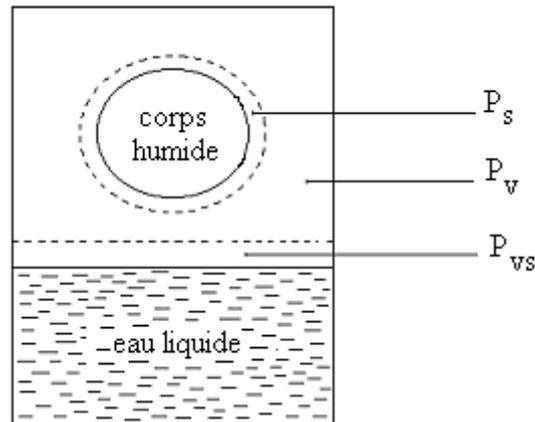


Figure I.1 : Représentation de l'activité de l'eau

Pour de bon nombre d'entreprise, afin de veiller sur la qualité de séchage, l'utilisation du système artificiel est la plus adoptée.

Mais réaliser un séchage de bonne qualité requiert quelques conditions qui sont essentiellement interdépendantes et qui peuvent être généralisées par :

- La maîtrise de processus de séchage.
- Par le choix de matériels appropriés.
- Par la performance et par le coût des installations.

I.2- CARACTERISATION D'UN PRODUIT DE SECHAGE [6]

Lors d'une opération de séchage, les modifications dimensionnelles des pores occasionnent un ralentissement voire blocage des transferts de masse par phénomène de croûtage ou par blocage d'entraînement des solutés. Pour permettre au produit d'arriver sans encombre au terme du séchage, et pour pouvoir se passer de ces contraintes, il est alors important de bien connaître l'état du produit avant et au cours de l'opération.

Pour cela, la notion de porosité mérite d'être considérée.



La "porosité" volumique ε est le rapport entre le volume des pores et le volume du produit.

Elle s'exprime par :

$$\varepsilon = \frac{V_{ps}}{V_{app}} \quad (1.2)$$

I.3- L'HUMIDITE DES SOLIDES

I.3.1- Définitions

a) L'humidité contenue dans le corps solide ou liquide se présente soit sous forme de liquide pur (de l'eau dans la plupart des cas), soit sous forme d'une solution colloïdale.

b) Les corps humides sont généralement des corps capilloporeux, et leurs propriétés sont principalement fonction de la nature des liaisons avec l'eau qu'ils contiennent.

c) Un corps hydraté est formé de la combinaison d'un corps avec l'eau par association moléculaire ou insertion dans le réseau cristallin.

I.3.2- Types de liaison de l'eau

L'eau se présente sous trois formes dans un produit de séchage :

- ❖ L'eau liée est l'eau qui imprègne les parois.
- ❖ L'eau libre remplit la majeure partie des vides cellulaires. Elle y est piégée à l'état de liquide. Sa quantité est directement liée à la porosité.
- ❖ La vapeur d'eau occupe les parties vides des pores non saturées d'eau liquide. Elle est mélangée avec l'air sec pour former un mélange parfait.

I.4- QUANTIFICATION DE L'EAU [1] - [6]

I.4.1- La quantité d'eau dans un matériau de séchage :

La saturation « s » est liée à la présence de trois types d'eau dans le produit.

- Fraction massique de vapeur d'eau

$$C_g = \frac{M_{eau}}{M_g} \quad (1.3)$$

M_{eau} : masse d'eau en Kg

M_g : masse de gaz en Kg



La quantification de vapeur d'eau, la phase gazeuse de l'air humide, est importante pour le calcul des transferts de masse.

□ L'état d'hydratation d'un matériau

A l'échelle de description, l'eau titrable est formée d'eau libre, d'eau liée et de vapeur d'eau, alors on peut écrire :

$$\text{Eau titrable [Kg/m}^3\text{]} = (\text{eau libre} + \text{eau liée} + \text{vapeur d'eau}) \quad [\text{Kg/m}^3]$$

A l'échelle de processus, on aura l'expression :

$$M_a \cdot \rho_{s.app} = \varepsilon \cdot S \rho_1 + M_{a1} \cdot \rho_{s.app} + \varepsilon \cdot (1-S) C_g \cdot \rho \quad (1.4)$$

Où ρ_1 : la masse volumique de l'eau [Kg/m³]

ρ_2 : la masse volumique de l'air humide [Kg/m³]

$\rho_{s.app}$: la masse volumique apparente de la matière sèche [Kg/m³]

M_{a1} : la teneur en eau libre.

ε : la porosité

S : la saturation

□ La siccité

La siccité est le rapport entre la masse du produit à l'état sec et celle du produit à l'état humide.

$$S_c = \frac{M_s}{M} \quad (1.5)$$

où M_s : masse du produit à l'état sec

M : masse du produit

1.4.2- L'hygroscopicité :

C'est la propriété d'un produit à pouvoir diminuer ou augmenter sa teneur en humidité selon les variations des caractéristiques de l'air ambiant (température, humidité).

Donc au sein du produit, c'est l'hygroscopicité qui définit s'il y a processus de séchage ou humidification. Physiquement, pour le phénomène de séchage, l'hygroscopicité se traduit par une différence entre la pression de vapeur d'eau au sein du produit et la pression de vapeur saturante de l'air asséchant à une certaine température.



Ainsi si la teneur en humidité d'un produit exposé dans un air à une température et humidité relative déterminées, ne varie plus, on dit qu'il est en équilibre hygroscopique avec cet air.

I.4.3- Vitesse de séchage :

Corrélée avec la masse d'eau extraite et la durée de séchage, la vitesse d'enlèvement d'eau ou vitesse de séchage du produit s'exprime par :

$$V = \frac{M_{ext}}{T} \quad \text{en [Kg/h]} \quad (1.6)$$

Où la masse d'eau M_{ext} à extraire correspond à ce qu'il faut retirer du produit pour le faire passer d'une teneur en eau initiale (caractéristiques du produit frais) à une teneur en finale voulue ou donnée, par unité de temps.

La relation mathématique traduisant ces termes s'écrit :

$$M_{ext} = \frac{M_{ri} - M_{rf}}{1 - M_{rf}} \cdot M_i \quad \text{en [Kg]} \quad (1.7)$$

$$\text{avec } M_r = \frac{M_{eau}}{M_s + M_{eau}} = \frac{M_a}{1 + M_a} \quad (1.8)$$

où M_i : Masse initiale du produit

M_{ri} : Teneur en eau en base humide initiale en décimal

M_{rf} : Teneur en eau en base humide finale en décimal

Dimensions intérieures : longueur de l'enceinte : $L_i = 65$ [cm]

largeur de l'intérieur : $l_i = 60$ [cm]

hauteur de l'intérieur : $h_i = 64$ [cm]

II.1.2- Les éléments de chauffage

Une résistance électrique en serpentin (C4) dont les extrémités sont intégrées au plafond et allongées au côté droit de la paroi, assure le chauffage du séchoir.

Des dispositifs connexes tels que rhéostat, thermostat, thermomètre, s'y ajoutent et permettent le réglage de la température de l'enceinte aux conditions voulues :

✚ le rhéostat permet de régler la température fournie par la résistance ;

✚ le thermostat permet de maintenir la température de l'enceinte aux conditions imposées;

✚ le thermomètre, dont l'indication est visible sur l'afficheur électronique (8) donne directement la température dans l'enceinte. Cette température n'étant pas uniforme, on se propose de la considérer comme une température moyenne.

N.B :

Le chauffage fonctionne en mode marche – arrêt, c'est - à - dire quand la température voulue est atteinte l'appareil s'arrête automatiquement, dans le cas où la température est inférieure, la mise en marche du séchoir est aussi automatique jusqu'à la température voulue.

II.1.3- Le ventilateur

Le ventilateur a pour rôle de brasser l'air dans l'enceinte, c'est ce dernier qui assure le séchage des produits. Suite à une expérience préliminaire, on a constaté que le sens de l'air produite par le ventilateur va de la face (A) vers la face (B) (coté de la résistance chauffante) indiqué sur la figure n°2.2 (page 15).

Quant à ses constituants le moteur (4) qui l'alimente est placé en haut du caisson tandis que l'hélice est cachée entre les deux parois de la partie supérieure.

Le moteur du ventilateur est un moteur électrique triphasé de type :

LEROY SOMER LS 71

N° 708054-1998

Le tableau suivant regroupe ses caractéristiques

U [V]	f [Hz]	V [tr / mn]	P [kW]	cos φ	I [A]
Δ 230	50	2800	0,37	0,8	1,7
Y 380-400	50	2780	0,37	0,8	0,95
Y 415	50	2820	0,37	0,8	1
Y 440-460	60	3360	0,44	0,85	0,95

Tableau n°2.1 : caractéristiques du moteur du ventilateur

II.1.4- L'armoire électrique

Elle est composée essentiellement des éléments :

✚ A l'intérieur : - contacteur ;

- temporisateur ;
 - relais thermique ;
 - sectionneur porte fusible.
- ✚ A l'extérieur :
- un voyant WH on/off (7) ;
 - deux voyants GN on/off (9) indiquant l'état (en marche ou non du chauffage et de la ventilation ;
 - deux boutons contacteurs marche - arrêt (10) (chauffage et ventilation) ;
 - un afficheur électronique permettant d'une part de lire la valeur de la température dans l'enceinte et d'autre part de régler le séchoir à la température maximale souhaitée.

II.2- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Le ventilateur, alimenté par un moteur électrique triphasé comme il est indiqué précédemment, produit l'air asséchant. Ce dernier prend la direction face A – face B en traversant les tôles perforées tout en passant sur les produits étaler sur les claies dans l'étuve pour se percuter sur la résistance chauffante. Elle reçoit en conséquence, par transfert thermique, de la chaleur et s'achemine d'une manière cyclique (cf figure n°2.2) dans la même direction face A – face B jusqu'à la fin du séchage.

Ce mode de fonctionnement offre l'avantage de :

- ✚ Assurer la circulation normale de l'air ;
 - ✚ Homogénéiser la vitesse de l'air asséchant dans l'ensemble du séchoir, et en conséquence, la température de séchage ;
 - ✚ Eviter le refroidissement de la résistance chauffante.
- La figure ci-après, illustre ce principe de fonctionnement.

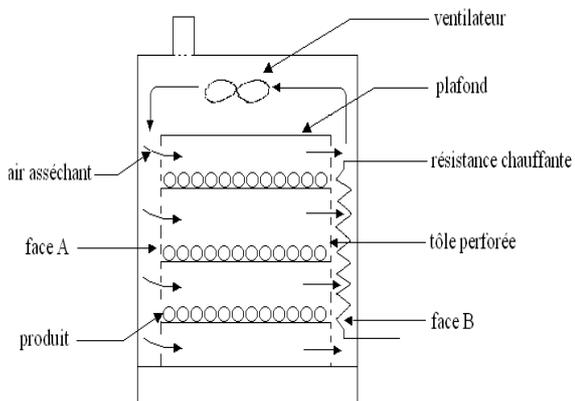


Figure n°2.2 : fonctionnement du séchoir

II.3- LES APPAREILS DE MESURES :

- ✦ Anémomètre instantané [Testo 451]
- ✦ Dynamomètre de 0 à 600 g

II.3.1- Le testo 451



Figure n°2.3 : L'appareil de mesure d'humidité et de vitesse de l'air asséchant

- 1 : prise II (sonde d'humidité)
- 2 : sélection des grandeurs (dépendant de la sonde raccordée)
- 3 : contrôle du calcul des valeurs moyennes temporelles ou ponctuelles des vitesses d'air
- 4 : touche marche / arrêt
- 5 : affichage LCD grand format (affichage simultané de 2 valeurs mesurées)
- 6 : touche de fonctions multiples, en appuyant (de façon répétée) :
 - ✓ les valeurs mesurées restent affichées
 - ✓ les valeurs mesurées les plus élevées sont indiquées
 - ✓ les valeurs mesurées les plus basses sont indiquées
 - ✓ sélection de mesure de la valeur moyenne
 - ✓ la tension de la pile est affichée
- 7 : prise I (sonde à hélice)

L'air qui circule dans le séchoir est mélangé à la vapeur d'eau. Son humidité est mesurée à l'aide d'un testo 451 (figure n°2.2).

Ce dernier un appareil de mesure multiple permettant d'évaluer l'humidité et la vitesse de l'air asséchant.

Il est muni de deux sondes :

- Sonde d'humidité pour la mesure de l'humidité de l'air asséchant dans l'enceinte du séchoir en ouvrant la portière (1).

□ Sonde à hélice servant à mesurer la vitesse de l'air asséchant en ouvrant le volet d'air situé au dessus du séchoir (7).

Les valeurs sont affichées directement à l'écran de l'appareil (5).

Voici les caractéristiques techniques de l'appareil.

Caractéristiques techniques :

- Sonde d'humidité :
 - Etendue de mesure : 0 à 100% RH
-200,0 à +70,0°C
 - Tolérance : $\pm 2\%$ RH (2 à 98% RH)
 - Résolution : 0,1
- Sonde à hélice : element
 - De diamètre 12mm
 - Etendue de mesure : 0,2 à 60m/s
 - Tolérance maximale : $\pm 0,4$ m/s à 40m/s
 $\pm 2,5\%$ de la valeur finale (Elément de raccordement nécessaire)
- Capteurs (NiCr-NiAl) :
 - Etendue de mesure : -120.0 à 1370°C
 - Tolérance maximale : $\pm 0,3$ °C (-120 à -50°C)
 $\pm 0,2$ °C (-50 à +200°C)
 $\pm 0,1\%$ de la valeur moyenne (> +200°C)
 - Résolution : 0,1° / 1° (> 100°)
- Alimentation : Pile 9 V alcaline-manganèse 6LR61
- Affichage : LCD, 2lignes, hauteur des chiffres 9mm
- Boîtier : Plastique (ABS)

- Dimensions : 197 x 55 x 45 mm
- Poids : 250g

N.B :

Les relevés doivent être faites aussi vite que possible car le contact avec l'air ambiant changerait la valeur de l'humidité de l'air asséchant dans le séchoir.

II.3.2- Dynamomètre

Le dynamomètre est suspendu sur un dispositif fixe pour éviter l'erreur de lecture due à la vibration. Sa partie inférieure est munie d'une pince permettant d'accrocher le panier plastique contenant le produit à peser.

On lit directement sur la partie intermédiaire à graduation la valeur de la masse du produit.

Précision : tolérance maximale $\pm 0,3\%$ de la charge (position zéro bien ajustée)



✚ le thermomètre, dont l'indication est visible sur l'afficheur électronique (8) donne directement la température dans l'enceinte. Cette température n'étant pas uniforme, on se propose de la considérer comme une température moyenne.

N.B :

Le chauffage fonctionne en mode marche – arrêt, c'est - à - dire quand la température voulue est atteinte l' appareil s'arrête automatiquement, dans le cas où la température est inférieure, la mise en marche du séchoir est aussi automatique jusqu'à la température voulue.

II.1.3- Le ventilateur

Le ventilateur a pour rôle de brasser l'air dans l'enceinte, c'est ce dernier qui assure le séchage des produits. Suite à une expérience préliminaire, on a constaté que le sens de l'air produite par le ventilateur va de la face (A) vers la face (B) (coté de la résistance chauffante) indiqué sur la figure n°2.2 (page 15).

Quant à ses constituants le moteur (4) qui l'alimente est placé en haut du caisson tandis que l'hélice est cachée entre les deux parois de la partie supérieure.

Le moteur du ventilateur est un moteur électrique triphasé de type :

LEROY SOMER LS 71

N° 708054-1998

Le tableau suivant regroupe ses caractéristiques

U [V]	f [Hz]	V [tr / mn]	P [kW]	cos φ	I [A]
Δ 230	50	2800	0,37	0,8	1,7
Y 380-400	50	2780	0,37	0,8	0,95
Y 415	50	2820	0,37	0,8	1
Y 440-460	60	3360	0,44	0,85	0,95

Tableau n°2.1 : caractéristiques du moteur du ventilateur



II.1.4- L'armoire électrique

Elle est composée essentiellement des éléments :

- ✚ A l'intérieur :
 - contacteur ;
 - temporisateur ;
 - relais thermique ;
 - sectionneur porte fusible.

- ✚ A l'extérieur :
 - un voyant WH on/off (7) ;
 - deux voyants GN on/off (9) indiquant l'état (en marche ou non du chauffage et de la ventilation) ;
 - deux boutons contacteurs marche - arrêt (10) (chauffage et ventilation) ;
 - un afficheur électronique permettant d'une part de lire la valeur de la température dans l'enceinte et d'autre part de régler le séchoir à la température maximale souhaitée.

II.2- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Le ventilateur, alimenté par un moteur électrique triphasé comme il est indiqué précédemment, produit l'air asséchant. Ce dernier prend la direction face A – face B en traversant les tôles perforées tout en passant sur les produits étaler sur les claies dans l'étuve pour se percuter sur la résistance chauffante. Elle reçoit en conséquence, par transfert thermique, de la chaleur et s'achemine d'une manière cyclique (cf figure n°2.2) dans la même direction face A – face B jusqu'à la fin du séchage.

Ce mode de fonctionnement offre l'avantage de :

- ✚ Assurer la circulation normale de l'air ;
- ✚ Homogénéiser la vitesse de l'air asséchant dans l'ensemble du séchoir, et en conséquence, la température de séchage ;
- ✚ Eviter le refroidissement de la résistance chauffante.



La figure ci-après, illustre ce principe de fonctionnement.

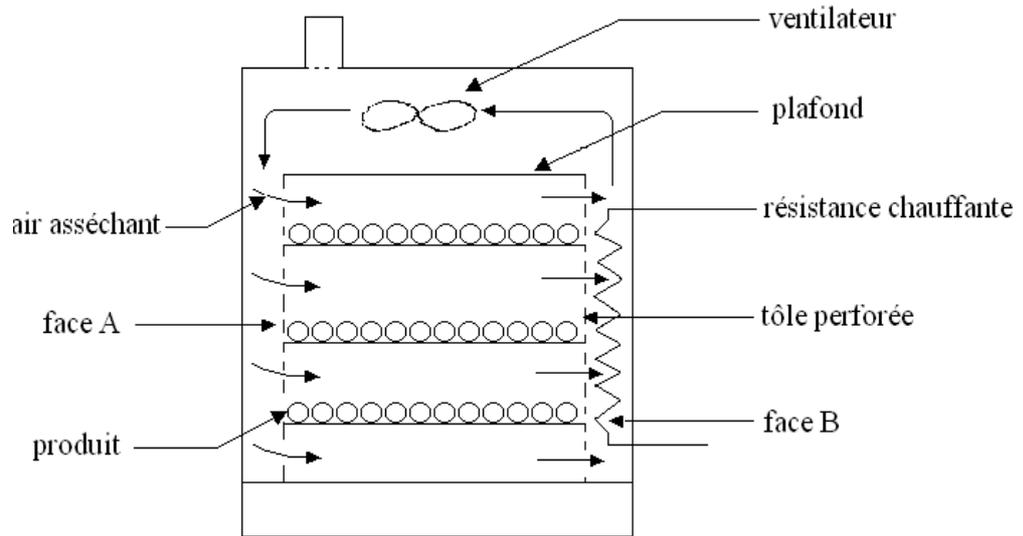
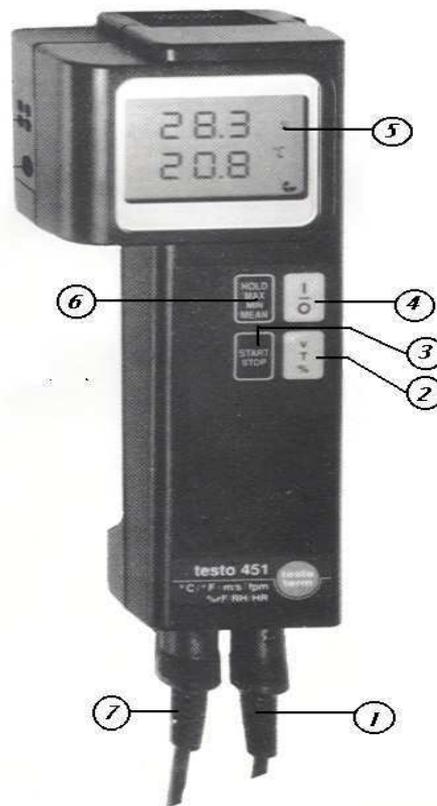


Figure n°2.2 : fonctionnement du séchoir

II.3- LES APPAREILS DE MESURES :

- ✦ Anémomètre instantané [Testo 451]
- ✦ Dynamomètre de 0 à 600 g

II.3.1- Le testo 451



- 1 : prise II (sonde d'humidité)
- 2 : sélection des grandeurs (dépendant de la sonde raccordée)
- 3 : contrôle du calcul des valeurs moyennes temporelles ou ponctuelles des vitesses d'air
- 4 : touche marche / arrêt
- 5 : affichage LCD grand format (affichage simultané de 2 valeurs mesurées)
- 6 : touche de fonctions multiples, en appuyant (de façon répétée) :
 - ✓ les valeurs mesurées restent affichées
 - ✓ les valeurs mesurées les plus élevées sont indiquées
 - ✓ les valeurs mesurées les plus basses sont indiquées
 - ✓ sélection de mesure de la valeur moyenne
 - ✓ la tension de la pile est affichée
- 7 : prise I (sonde à hélice)

Figure n°2.3 : L'appareil de mesure d'humidité et de vitesse de l'air asséchant



L'air qui circule dans le séchoir est mélangé à la vapeur d'eau. Son humidité est mesurée à l'aide d'un testo 451 (figure n°2.2).

Ce dernier un appareil de mesure multiple permettant d'évaluer l'humidité et la vitesse de l'air asséchant.

Il est muni de deux sondes :

- Sonde d'humidité pour la mesure de l'humidité de l'air asséchant dans l'enceinte du séchoir en ouvrant la portière (1).
- Sonde à hélice servant à mesurer la vitesse de l'air asséchant en ouvrant le volet d'air situé au dessus du séchoir (7).

Les valeurs sont affichées directement à l'écran de l'appareil (5).

Voici les caractéristiques techniques de l'appareil.

Caractéristiques techniques :

- Sonde d'humidité :
 - Etendue de mesure : 0 à 100% RH
-200,0 à +70,0°C
 - Tolérance : $\pm 2\%RH$ (2 à 98% RH)
 - Résolution : 0,1
- Sonde à hélice : element
 - De diamètre 12mm
 - Etendue de mesure : 0,2 à 60m/s
 - Tolérance maximale : $\pm 0,4m/s$ à 40m/s
 $\pm 2,5\%$ de la valeur finale (Elément de raccordement nécessaire)
- Capteurs (NiCr-NiAl) :
 - Etendue de mesure : -120.0 à 1370°C
 - Tolérance maximale : $\pm 0,3^{\circ}C$ (-120 à -50°C)
 $\pm 0,2^{\circ}C$ (-50 à +200°C)
 $\pm 0,1\%$ de la valeur moyenne ($> +200\%C$)
 - Résolution : $0,1^{\circ} / 1^{\circ}$ ($> 100^{\circ}$)
- Alimentation : Pile 9 V alcaline-manganèse 6LR61
- Affichage : LCD, 2lignes, hauteur des chiffres 9mm
- Boîtier : Plastique (ABS)



- Dimensions : 197 x 55 x 45 mm
- Poids : 250g

N.B :

Les relevés doivent être faites aussi vite que possible car le contact avec l'air ambiant changerait la valeur de l'humidité de l'air asséchant dans le séchoir.

II.3.2- Dynamomètre

Le dynamomètre est suspendu sur un dispositif fixe pour éviter l'erreur de lecture due à la vibration. Sa partie inférieure est munie d'une pince permettant d'accrocher le panier plastique contenant le produit à peser.

On lit directement sur la partie intermédiaire à graduation la valeur de la masse du produit.

Précision : tolérance maximale $\pm 0,3\%$ de la charge (position zéro bien ajustée)



Chapitre III : EXPRESSIONS RELATIVES AUX EXPERIMENTATIONS

III.1- EXPRESSIONS DES ISOTHERMES DE DESORPTION

III.1.1-Définition

L'isotherme de désorption est un ensemble de courbes caractéristiques d'un produit donné lorsqu'il s'établit un équilibre entre l'humidité de l'air et celle du produit à une température fixée. Ce phénomène d'équilibre est appelé « Sorption-Desorption ».

La sorption a lieu lorsque le produit étant à une humidité inférieure à l'humidité d'équilibre absorbe l'eau du milieu environnant. Dans le cas où le produit céderait de l'eau à l'environnement on dit qu'on est en désorption.

III.1.2- Grandeurs physiques [4]

Tout d'abord, définissons les divers paramètres intervenant dans les courbes d'équilibres :

➤ Taux de matière sèche :

Pour un produit frais donné de masse M, on définit le taux de matière sèche par le rapport suivant :

$$TS = \frac{M - M_{eau}}{M} = \frac{M_s}{M} \quad (3.1)$$

où M_{eau} : masse d'eau contenue dans le produit

M_s : masse de matière sèche.

La figure suivante montre schématiquement la teneur en eau dans un produit.

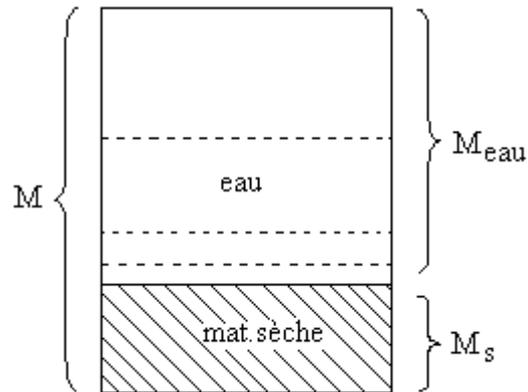


Figure n°3.1 : schéma de la teneur en eau dans un produit

➤ **Teneur en eau absolue ou teneur en eau en base sèche :**

Il est défini par le rapport :

$$M_a = \frac{M_{eau}}{M_s} = \frac{M - M_s}{M_s} \quad [Kg/KgMS] \quad (3.2)$$

➤ **Teneur en eau relative ou teneur en eau en base humide :**

C'est le rapport entre la masse d'eau contenue dans le produit sur la masse d'un produit frais.

$$M_r = \frac{M_{eau}}{M} = \frac{M_{eau}}{M_s + M_{eau}} = \frac{M_a}{1 + M_a} \quad (3.3)$$

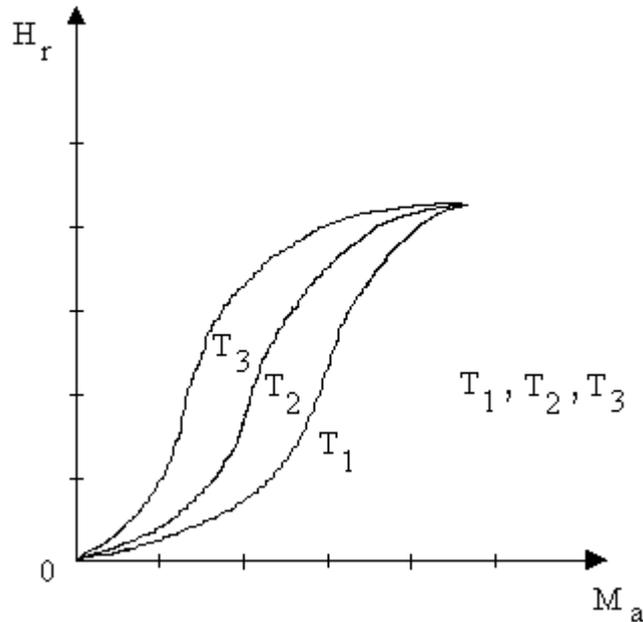
La connaissance de l'une de ces grandeurs suffit à caractériser l'état d'humidité du produit. Une fois séché, le produit va se mettre en équilibre avec l'air ambiant, il est donc nécessaire de savoir pour un produit et une ambiance donnée quelle va être la teneur en eau à l'équilibre.



Pour cela, il suffit de se reporter soit aux réseaux des courbes d'équilibres, soit à des modèles numériques de courbes d'équilibre.

III.1.3- Réseaux des courbes d'équilibre : [3]

La figure suivante montre l'allure de ces réseaux de courbes.



H_r : humidité relative de l'air asséchant

M_a : teneur en eau d'équilibre (base sèche)

Courbe n°3.2 : Réseau de courbe d'équilibre

III.1.4- Modèles numériques de courbe d'équilibre

Plusieurs modèles peuvent exprimer l'isotherme de désorption mais on ne considère que ceux qui sont couramment utilisés pour les fruits.



a) Modèle d'HENDERSON :

Trois paramètres (H_r , M_a et T) interviennent sur cette modèle, et on a alors :

$$1 - H_r = e^{-kT (M_a)^n} \quad (3.4)$$

Mais T ici est exprimée en [°R] donc : $T = 1,8T [°C] + 492$

M_a en [%]

H_r en [%] (ou en décimal)

n et k sont des constantes dépendant du produit.

b) Modèle de LUIKOV :

LUIKOV a établi sur ce point un modèle mathématique qui ne fait intervenir que l'humidité relative et la teneur en eau :

$$M_a = \frac{a.H_r}{b - H_r} \quad (3.5)$$

a , b : paramètres caractéristiques du produit

Par exemple :

Pour le cas de la pomme : LUIKOV donne :

$$a = 12,1$$

$$b = 1,05 \quad \text{pour } T = 25^\circ\text{C}$$

A partir des valeurs numériques à 25°C pour le modèle de LUIKOV, Charles COMBES a recalé l'expression fournie par HENDERSON et il a obtenu :

$$\text{Pour } M_a < 167\% \quad \begin{aligned} n &= 0,1997 \\ k &= 13,207.10^{-4} \end{aligned}$$

$$\text{Pour } M_a < 167\% \quad \begin{aligned} n &= 0,4435 \\ k &= 4,744.10^{-4} \end{aligned}$$

Durant l'expérience, on a mesuré l'humidité relative de l'air asséchant (H_r), la vitesse de l'air asséchant et la masse du produit (M), à partir de cette expérience, on



obtient la valeur de la teneur en eau d'équilibre (base sèche) en appliquant la formule (3.2).

III.2-VITESSE DE SECHAGE [6]

Au point de vue thermique, la puissance évaporatoire au niveau du produit est :

$$Q_f = \dot{m} \cdot L_v \quad (3.6)$$

Où \dot{m} : masse d'eau évaporée par unité de temps [kg/s]

La chaleur latente de vaporisation de l'eau est exprimée en fonction de la température.

$$L_v = 4186,8 [596,44 - 0,56 (T_f)] \quad \text{en [J/kg]} \quad (3.7)$$

T_f : température de vaporisation de l'eau prise à la température du produit en [°C]

Alors $Q_f = Q_{air} = \dot{m} \cdot L_v$

d'où $Q_{air} = \dot{m}_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot \Delta T \cdot \Delta t \quad (3.8)$

et $\dot{m}_{air} = \rho_{air} \cdot V_{air} \cdot S$



Chapitre IV : PROCEDURES EXPERIMENTALES ET EXPERIMENTATION

IV.1- PROCEDURES EXPERIMENTALES

IV.1.1- Etapes à suivre :

✚ Enlever du séchoir les claies pour que leurs températures soient égales à celles des produits, avant l'opération.

✚ Chauffer préalablement le séchoir jusqu'à ce qu'on atteigne la température de séchage voulue.

La mise à la température dure environ une heure.

✚ Trier, éplucher puis découper les produits en lamelles avant de les disposer uniformément sur les claies.

D'une manière explicite, on découpe :

- banane : en deux lamelles suivant sa longueur;
- ananas : en huit lamelles suivant sa longueur et en quatre lamelles suivant sa largeur;
- mangue : après avoir été dénoyautée, on découpe en huit tranches.

Le rendement en chair est le rapport de la masse de chair avec la masse totale (la masse de chair s'obtient après épluchage et dénoyautage).

Prendre quatre échantillons, de 125g environ.

✚ On étale les produits ainsi préparés sur les claies tout en veillant à ce qu'elles ne se chevauchent pas pour obtenir un séchage homogène.

N.B

Le triage a pour but d'écartier les fruits trop murs, pourris et infectés de champignons.

On arrête le séchage une fois que sa masse se stabilise en une valeur M_s correspond à la masse anhydre puis on met le séchoir hors tension.



Avant d'extraire les produits dans l'étuve, on doit attendre une heure de temps pour éviter le changement brusque de température des produits en contact direct avec l'air ambiant.

IV.1.2- Mesure des paramètres

Mesurer l'une après l'autre :

- ✓ Vitesse de l'air asséchant
- ✓ Humidité de l'air asséchant
- ✓ Masse du produit (par pesage)

N.B

Faute de l'appareil de mesure de vitesse de l'air asséchant adéquat, et vu la disparité des résultats ainsi obtenus, on prend la vitesse de l'air asséchant moyenne.

L'utilisation d'un dynamomètre n'est pas très appropriée (balance électronique à recommander).

Pour que les résultats soient fiables, les mesures doivent se faire toutes les 25 minutes à fin que la quantité d'eau évaporée soit importante.



IV.2- EXPERIMENTATION

IV.2.1- Cas de la banane

a) Première expérience

Notons que l'expérience s'est déroulée le samedi 27 septembre 2003 et le séchage dure 08heures et 10 minutes. La mise à la température préalable n'a pas été encore faite pour cette première expérience.

Heure	Durée [h]	Température de l'air asséchant T en [°C]	Humidité de l'air asséchant H _r en [%]	Masse du produit M en [g]	Teneur en eau d'équilibre (base sèche) M _a en [%]	Vitesse de l'air asséchant V en [m/s]
10h :35	0 : 00	25	49,5	76	124	8,2
11h : 00	0 : 25	31	49	71	108	8,3
11h : 25	0 : 50	38	48	68	100	7,6
11h : 50	1 : 15	50	47	65	91	9,0
12h : 15	1 : 40	56	46	60	76	7,2
12h : 45	2 : 10	62	45	57	67	6,7
13h : 15	2 : 40	65	42	55	62	7,5
13h : 45	3 : 10	65	41	51	50	8,2
14h : 15	3 : 40	60	40	49	44	9,5
14h : 55	4 : 20	65	38	46	35	6,0
16h : 30	5 : 55	64	37	45	32	6,5
17h : 10	6 : 35	64	35	43	26	6,1
18h : 12	7 : 37	65	32	39	15	8,6
18h : 45	8 : 10	65	30	34	0	9,2

Tableau n°4.1 : Pour le cas de banane (première expérience)



Observations

Initialement, la température est de 25°C. On fixe la température maximale à 65°C pour éviter la cuisson de ce produit.

Le passage d'une température à une autre se ralentit davantage. Du faite de l'ouverture fréquente du séchoir, les valeurs prélevées au cours de l'expérience subissent une légère modification due au contact avec l'air ambiant (l'humidité et la vitesse de l'air asséchant).



b) Deuxième expérience

<u>Date</u> : Jeudi 02 octobre 2003
<u>Début de l'expérience</u> : 10 heures et 07 minutes
<u>Fin de l'expérience</u> : 17 heures et 05 minutes
<u>Durée de la mise à la température du séchoir</u> : 01 heure et 04 minutes
<u>Durée de séchage</u> : 06 heures et 58 minutes

Heures	Durée [h]	Température de l'air asséchant T en [°C]	Humidité de l'air asséchant H _r en [%]	Masse du produit M en [g]	Teneur en eau d'équilibre (base sèche) M _a en [%]	Vitesse de l'air asséchant V en [m/s]
11h : 11	1 : 04	50	32	116	132	6,2
11h : 30	1 : 23	54	49,5	110	120	8,1
11h : 55	1 : 48	64	49,8	101	102	5,9
12h : 20	2 : 13	65	49,7	92	84	6,5
12h : 45	2 : 38	65	49,2	85	70	5,1
13h : 15	3 : 08	65	48	77	54	7,7
13h : 45	3 : 38	63	45	72	44	8,2
14h : 35	4 : 28	65	42	65	30	5,5
15h : 25	5 : 18	64	40	58	16	8,4
16h : 15	6 : 08	65	37	54	8	7,3
17h : 05	6 : 58	63	35	50	0	8,6

Tableau n°4.2 : Pour le cas de banane (deuxième expérience)

Observations

Dans cette deuxième expérience la durée de séchage est moindre par rapport à la première ce qui justifie l'importance et l'efficacité de la mise à la température avant le séchage proprement dit.



IV.2.2- Cas de l'ananas

<u>Date</u> : Mardi 14 octobre 2003
<u>Début de l'expérience</u> : 09 heures et 20 minutes
<u>Fin de l'expérience</u> : 17 heures et 20 minutes
<u>Durée de la mise à la température du séchoir</u> : 01 heure et 15 minutes
<u>Durée de séchage</u> : 08 heures

Heures	Durée [h]	Température de l'air asséchant T en [°C]	Humidité de l'air asséchant H _r en [%]	Masse du produit M en [g]	Teneur en eau d'équilibre (en base sèche) M _a en [%]	Vitesse de l'air asséchant V en [m/s]
10h : 35	1 : 15	50	49,9	139	157	8,3
11h : 00	1 : 40	56	49,8	131	143	7,1
11h : 25	2 : 05	9	49,7	121	124	7,7
11h : 50	2 : 30	65	49,6	114	111	8,2
12h : 20	3 : 00	65	49,5	104	93	8,2
12h : 50	3 : 30	64	49,4	96	77	6,8
13h : 20	4 : 00	64	48	89	65	8,4
14h : 00	4 : 40	61	47,5	81	50	6,9
14h : 40	5 : 20	65	46,8	74	37	6,6
15h : 20	6 : 00	65	46	67	24	9,1
16h : 00	6 : 40	64	44	62	15	7,7
16h : 40	7 : 20	64	43	58	7	7
17h : 20	8 : 00	65	38,5	54	0	10,2

Tableau n°4.3 : Pour le cas d'ananas

Observations

L'expérience avec l'ananas ne donne pas un résultat satisfaisant du point de vue qualité vu qu'il est trop aqueux.



IV.2.3- Cas de la mangue

a) Première expérience

<u>Date</u> : Vendredi 24 octobre 2003
<u>Début de l'expérience</u> : 09 heures et 40 minutes
<u>Fin de l'expérience</u> : 17 heures et 20 minutes
<u>Durée de la mise à la température du séchoir</u> : 01 heure et 10 minutes
<u>Durée de séchage</u> : 07 heures et 20 minutes

Heures	Durée [h]	Température de l'air asséchant T en [°C]	Humidité de l'air asséchant H _r en [%]	Masse de produit M en [g]	Teneur en eau d'équilibre (en base sèche) M _a en [%]	Vitesse de l'air asséchant V en [m/s]
10h : 50	1h : 10	50	49,3	117	178	6,4
11h : 15	1h : 35	57	49,7	110	162	8,3
11h : 40	2h : 00	63	49,87	103	145	6,8
12h : 05	2h : 25	64	49,85	94	124	9,3
12h : 30	2h : 50	64	49,8	84	100	8,3
13h : 00	3h : 20	64	49,69	76	81	6,9
13h : 30	3h : 50	62	49,3	68	62	8,1
14h : 15	4h : 35	63	46,4	60	43	5,4
15h : 00	5h : 20	62	44,1	54	29	6,4
15h : 40	6h : 00	65	40,5	48	14	8,3
16h : 20	6h : 40	65	38,65	45	7	7,0
17h : 00	7h : 20	65	37,5	42	0	8,4

Tableau n°4.4 : Pour le cas de mangue (à T = 65°C)



b) Deuxième expérience

Le résultat ci-dessus (tableau n°4.4) est obtenu en supposant que la température de séchage de la mangue est de 65°C.

A présent, on a fixé la température de séchage à 40°C. Notons que l'on n'avait pas débuté le séchage qu'au moment où cette température (40°C) est atteinte. C'est la mise à la température du séchoir. Le tableau suivant représente le résultat de l'expérimentation.

<i>Date</i> : Mardi 16 décembre 2003
<i>Début de l'expérience</i> : 08 heures et 50 minutes
<i>Fin de l'expérience</i> : 21 heures et 40 minutes
<i>Durée de la mise à la température du séchoir</i> : 01 heure et 25 minutes
<i>Durée de séchage</i> : 12 heures et 50 minutes

Heures	Durée [h]	Température de l'air asséchant T en [°C]	Humidité de l'air asséchant H _r en [%]	Masse du produit M en [g]	Teneur en eau d'équilibre (en base sèche) M _a en [%]	Vitesse de l'air asséchant V en [m/s]
10h : 15	01 : 25	40	49,8	123	151	7,7
11h : 15	02 : 25	38	49,6	114	133	9,4
12h : 15	03 : 25	39	49,5	108	120	8,2
13h : 15	04 : 25	37	49,12	102	108	6,7
15h : 20	06 : 30	39	49,1	85	73	8,8
16h : 40	07 : 50	40	48,6	76	55	9,5
17h : 40	08 : 50	40	48,4	69	41	7,9
18h : 40	09 : 50	40	48,3	61	24	7,7
19h : 40	10 : 50	40	48	55	12	8,4
21h : 40	12 : 50	40	47,1	49	0	8,8

Tableau n°4.5 : Pour le cas de mangue (à T = 40°C)

IV.3- ANALYSE DES RESULTATS

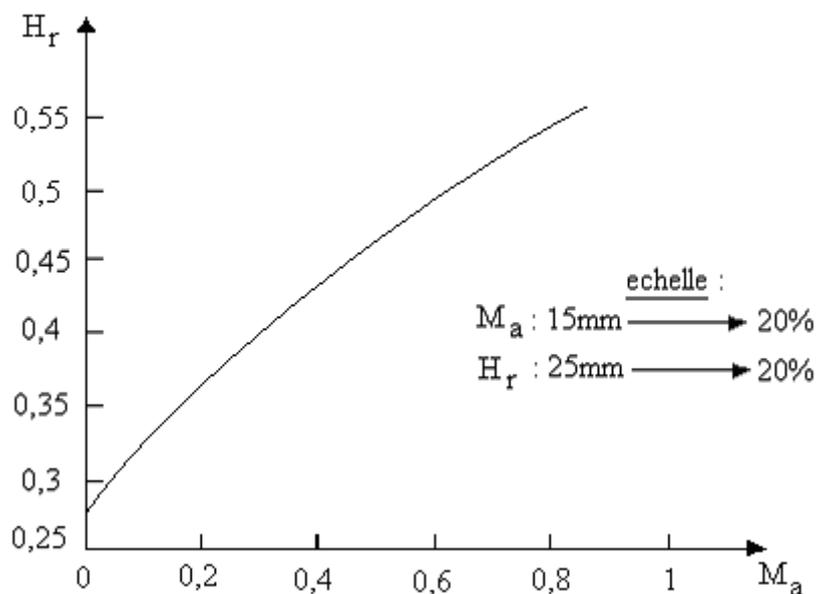
Pour la modélisation de l'isotherme de sorption et pour déterminer la valeur effective de n et k, il est nécessaire de représenter ces courbes exprimant H_r en fonction de M_a.



IV.3.1- Courbe d'équilibre

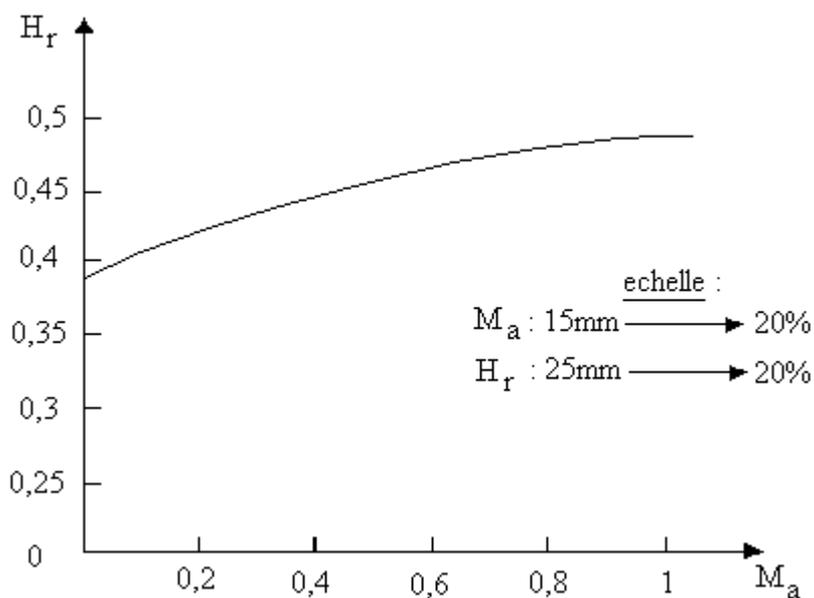
a) Cas de la banane

➤ première expérience



Courbe n°4.1 : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de banane 1^{ère} expérience)

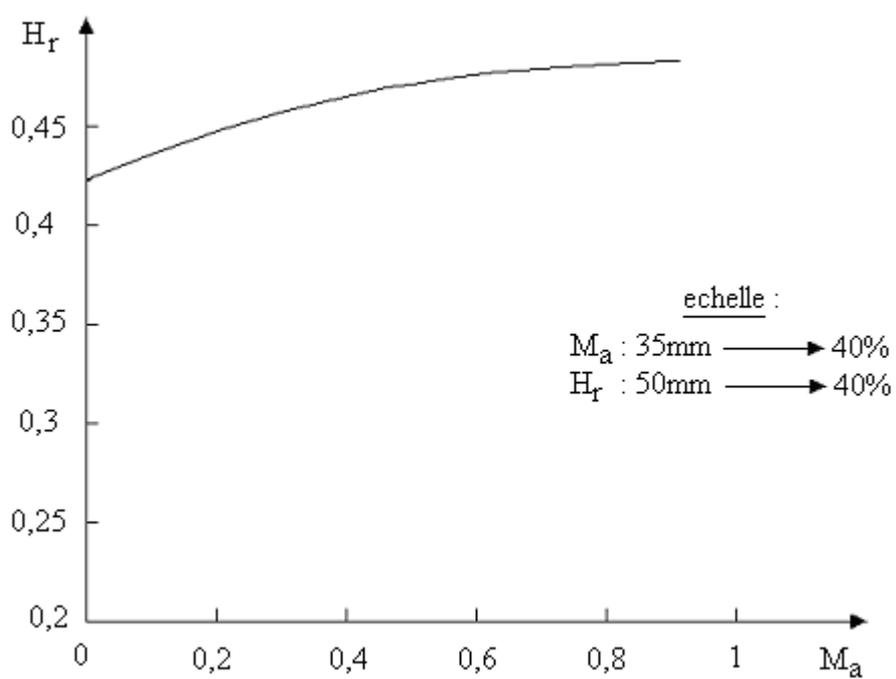
➤ deuxième expérience



Courbe n°4.2 : Cas de banane (deuxième expérience)



b) Cas de l'ananas

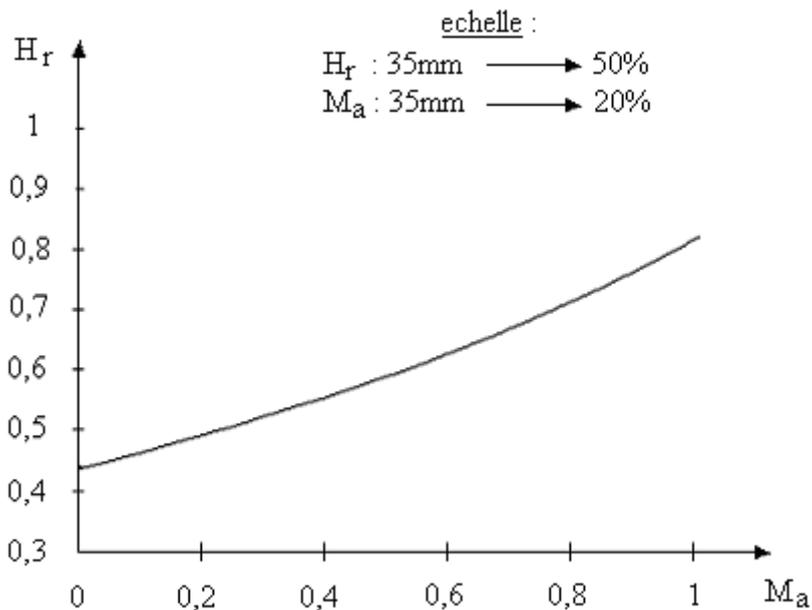


Courbe n°4.3 : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas d'ananas)



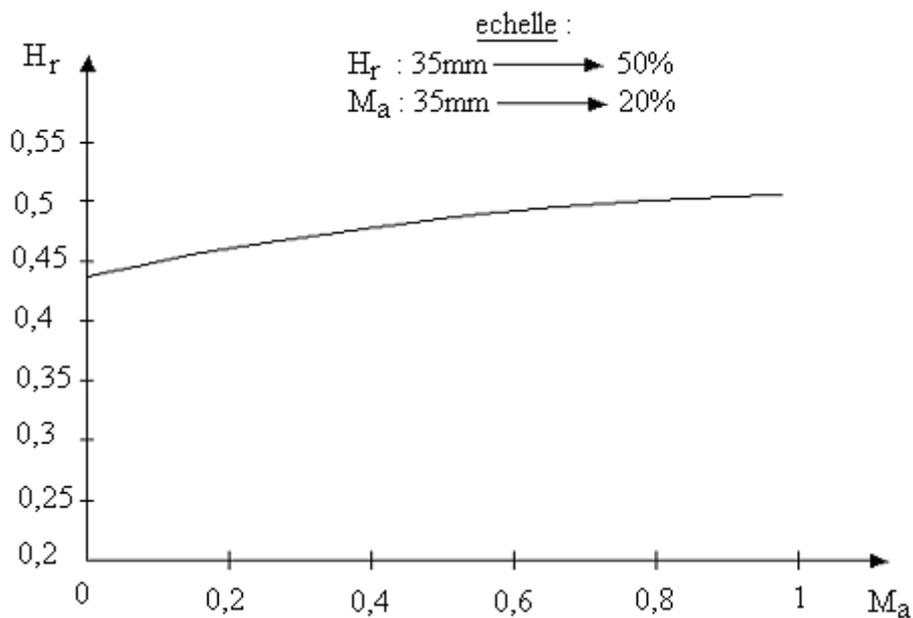
c) Cas de la mangue

➤ première expérience (à $T = 65^{\circ}\text{C}$)



Courbe n°4.4 : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de mangue à $T = 65^{\circ}\text{C}$)

➤ deuxième expérience (à $T = 40^{\circ}\text{C}$)



Courbe n°4.5 : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de mangue à $T = 40^{\circ}\text{C}$)



On donne les équations du 2nd degré qui définissent la courbe expérimentale H_r en fonction de M_a obtenue à la température 65°C:

- $H_r = - 0.1278 M_a^2 + 0.3362 M_a + 0.2739$ (banane)
- $H_r = - 0.0658 M_a^2 + 0.1436 M_a + 0.4234$ (ananas)
- $H_r = 0,0024M_a^2 + 0,04163 M_a + 0,4207$ (mangue)

En utilisant la méthode d'interpolation (Polyfit) MATLAB 5.3 (Matrix Laboratory) donne automatiquement ces résultats :

Interprétation

A $T = 65^\circ\text{C}$, la concavité de la courbe n°4.4 est différente à celle des autres (courbes n°4.1, n°4.2 et n°4.3).

L'état fibreux des mangues accélère l'évaporation de l'eau et peut favoriser le départ d'eau liée.

A $T = 40^\circ\text{C}$, la courbe d'équilibre reprend la même allure que celles obtenues avec les ananas et les bananes. Le séchage est alors optimal.

IV.3.2- Détermination des constantes dépendant du produit n et k *(lissage de courbe)*

Le but de cette étape est de faire coïncider la courbe théorique obtenu par le modèle d'HENDERSON avec celle trouvée expérimentalement, permettant ainsi de faire sortir les valeurs de n et k .

L'expérience au laboratoire nous a permis de trouver les différents paramètres entrant en jeu dans l'équation de courbe d'équilibre de chaque produit.

Pour faciliter le lissage des courbes ainsi trouvées nous avons utilisé le logiciel MATLAB 5.3 (Matrix Laboratory) pour la programmation.

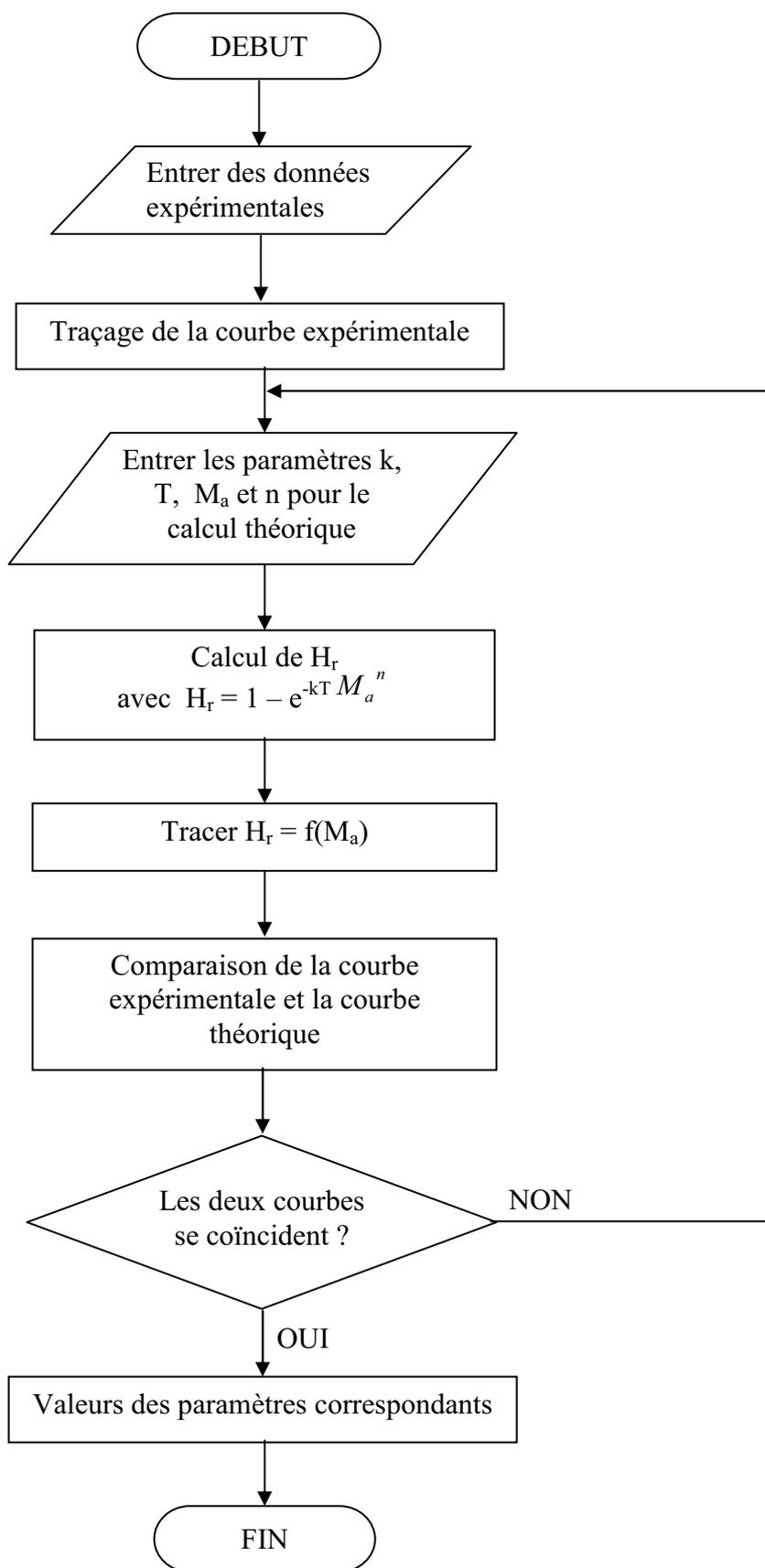


Figure n°4.6 : Organigramme de calcul des constantes dépendantes du produit n et k



a) Démarche à suivre pour le lissage de courbe :

○ Pour connaître la variation de n , on fixe H_r , k et T à une valeur précise en variant M_a de 10 à 100% par pas de 5% et on trouve n en fonction de M_a , c'est à dire :

$$11.10^{-5} < n < 5$$

○ On fixe aussi H_r , T et M_a varie de 10 à 100% par pas de 5% et n varie en fonction de M_a et on trouve :

$$10^{-4} < k < 4.10^{-3}$$

b) Lissage De Courbe :

On fait varier successivement les paramètres entrant en jeu dans la formule, suivie de traçage de courbe pour visualiser les effets de cette variation. Il est à signaler que le paramètre T reste toujours constant est égal à 65 °C.

Voici les étapes à suivre :

✚ Varier H_r de 10^{-3} à 45.10^{-4}

k , M_a , n fixe

Traçage de courbe

✚ Varier k de 10^{-4} à 4.10^{-3}

H_r , M_a , n fixe

Traçage de courbe

✚ Varier M_a de 10% à 15%

k , H_r , n fixe

Traçage de courbe

✚ Varier n de 11.10^{-5} à 5

M_a , k , H_r fixe

Traçage de courbe



Pour faciliter la variation de ces paramètres on a dû créer une interface. Les variations de H_r et M_a sont incluses dans le corps du programme et ne sont pas visibles sur l'interface (cf. Annexe B).

Conclusion

Après avoir varié les autres paramètres, on aboutit à une courbe quasi-parallèle à la courbe expérimentale. Pour les faire coïncider il suffit d'ajuster selon le cas la valeur de k en fixant les autres paramètres.

c) Résultat de lissage :

- Pour le cas de banane :
 - à $T = 65^\circ\text{C}$
 $n = 0,33$
 $k = 0,00109$

- Pour le cas d'ananas
 - à $T = 65^\circ\text{C}$
 $n = 0,10001$
 $k = 0,0011480$

- Pour le cas de mangue
 - à $T = 65^\circ\text{C}$
 $n = 0,62501$
 $k = 0,0025$

 - à $T = 40^\circ\text{C}$
 $n = 0,025$
 $k = 0,0012$



Et les expressions régissant les isothermes de désorption sont :

$$1 - H_r = e^{-0,00109(1,8T+492)M_a^{0,33}} \quad (\text{banane})$$

$$1 - H_r = e^{-0,001148(1,8T+492)M_a^{0,10001}} \quad (\text{ananas})$$

$$1 - H_r = e^{-0,0025(1,8T+492)M_a^{0,62501}} \quad (\text{mangue})$$

IV.3.3- Courbe de la variation du flux de masse

Elle permet de distinguer les différentes phases d'évaporation d'eau du fruit.

En utilisant les valeurs données aux tableaux numéro : n°4.1, n°4.2, n° 4.3,

n° 4.4 on en déduit $\frac{dM}{dt}$ qui exprime les variations de flux d'eau évaporée en fonction de temps.

Rappelons que :

$$\frac{dM}{dt} \approx \frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{M(t_i) - M(t_{i+1})}{(t_{i+1} - t_o)(t_i - t_o)} \quad (4.1)$$

Où $M(t_i)$: valeur de la masse du produit à la date $t = t_i$

t_o : date de début de l'expérience

t_i : date de mesure de la masse $M(t_i)$

$M(t_{i+1}), t_{i+1}$: sont obtenus en respectant la récurrence mentionnées ci-dessus.

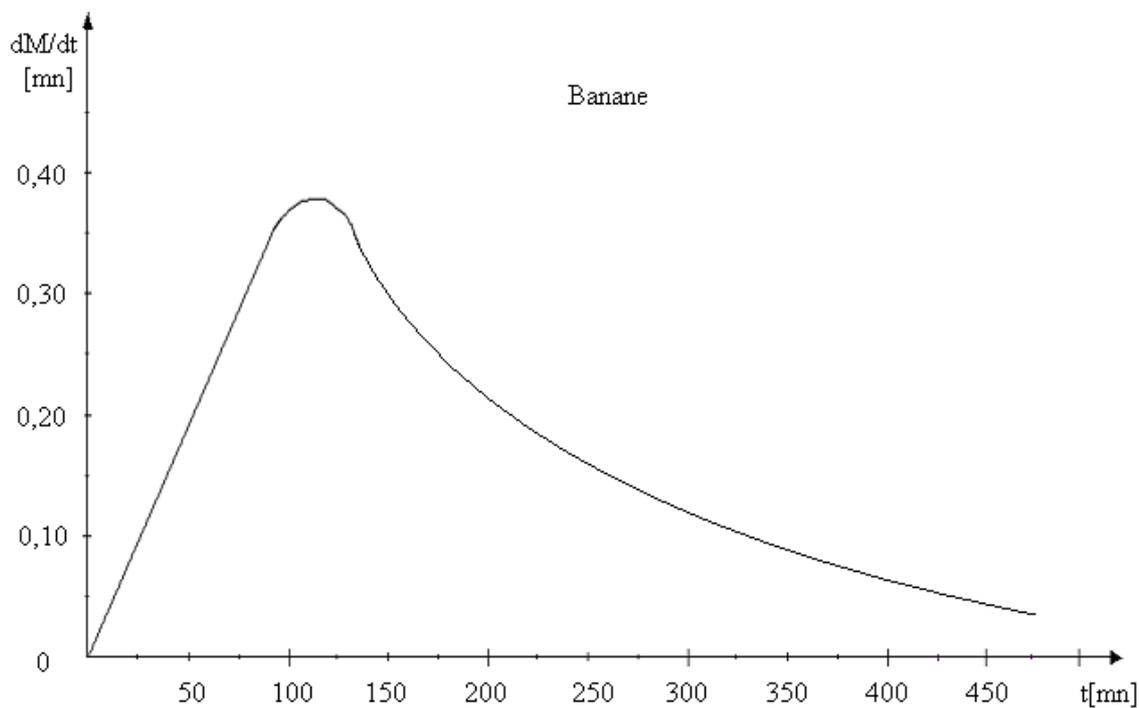
Les résultats de calcul pour chaque type de produit sont respectivement regroupés dans le tableau suivant suivi de la courbe représentative de la variation du flux d'eau évaporée $\frac{dM}{dt}$ en fonction de temps t .



a) Cas de la banane

BANANE											
$\frac{dM}{dt} \left[\frac{g}{mn} \right]$	0	0,29	0,36	0,36	0,28	0,27	0,17	0,14	0,14	0,08	0,08
$t[mn]$	0	64	83	108	133	158	188	218	268	318	368

Tableau n°4.6 : variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (banane).



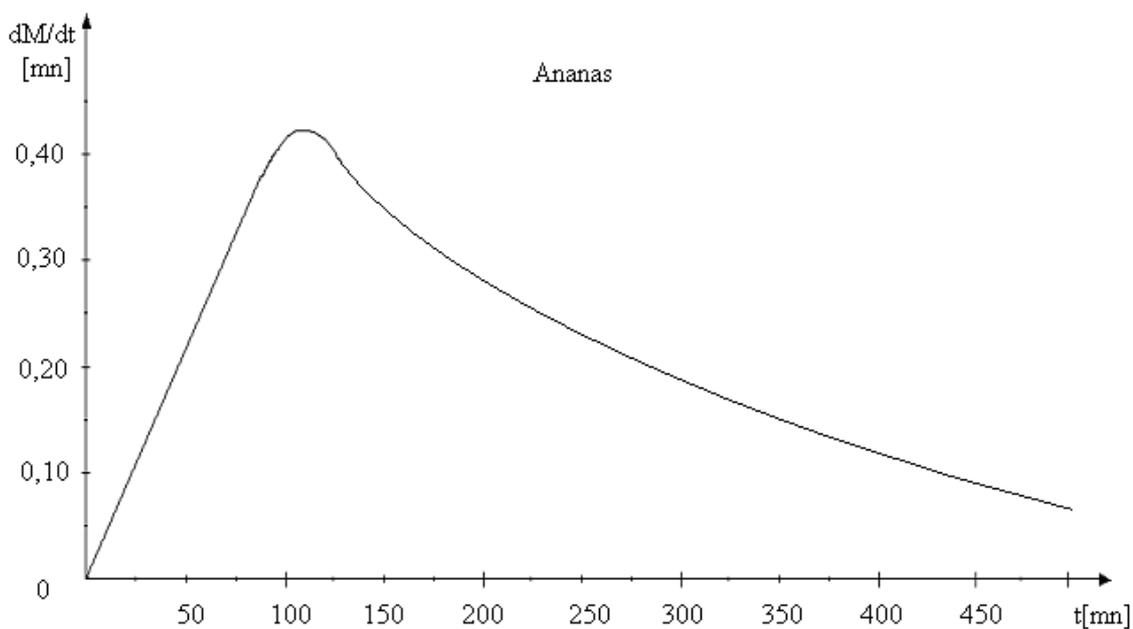
Courbe n°4.7 : variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (banane).



b) cas de l'ananas

ANANAS													
$\frac{dM}{dt} \left[\frac{g}{mn} \right]$	0	0,32	0,4	0,28	0,33	0,27	0,23	0,2	0,18	0,18	0,13	0,1	0,05
$t[mn]$	0	75	100	125	150	180	210	240	280	320	360	400	440

Tableau n°4.7 : variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (ananas).



Courbe n°4.8: variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (ananas).

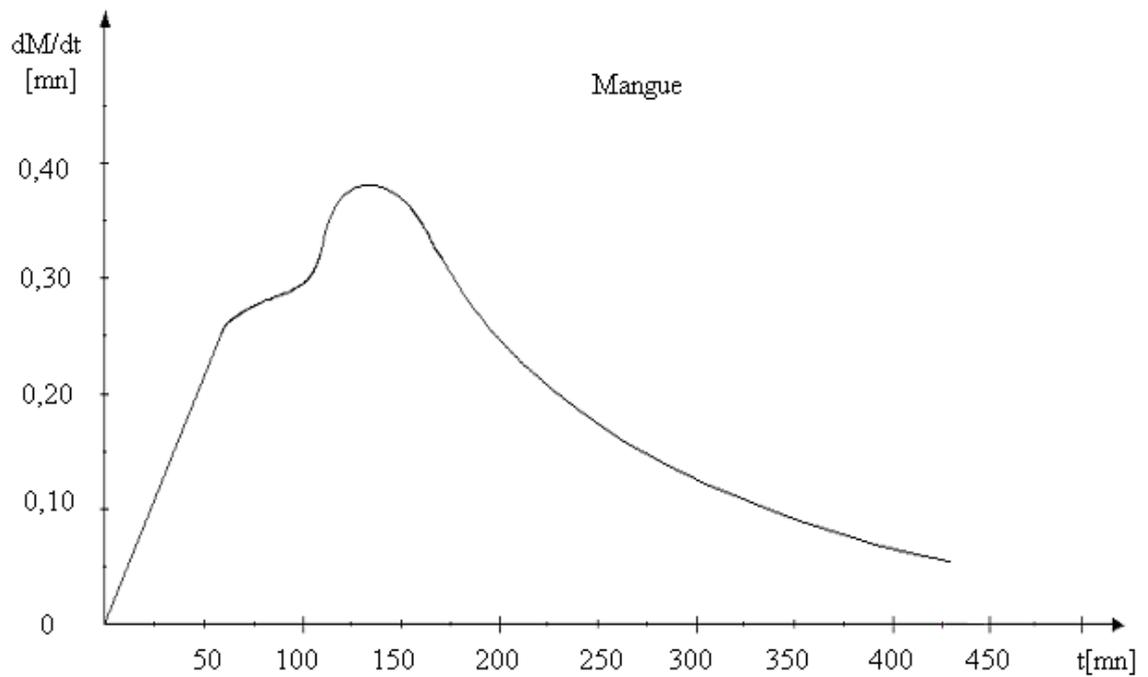


c) cas de la mangue

❖ à $T = 65^{\circ}\text{C}$

MANGUE												
$\frac{dM}{dt} \left[\frac{\text{g}}{\text{mn}} \right]$	0	0,28	0,28	0,36	0,4	0,27	0,27	0,18	0,13	0,15	0,08	0,08
$t[\text{mn}]$	0	70	95	120	145	170	200	230	275	320	360	400

Tableau n°4.8 : variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (mangue à $T = 65^{\circ}\text{C}$).



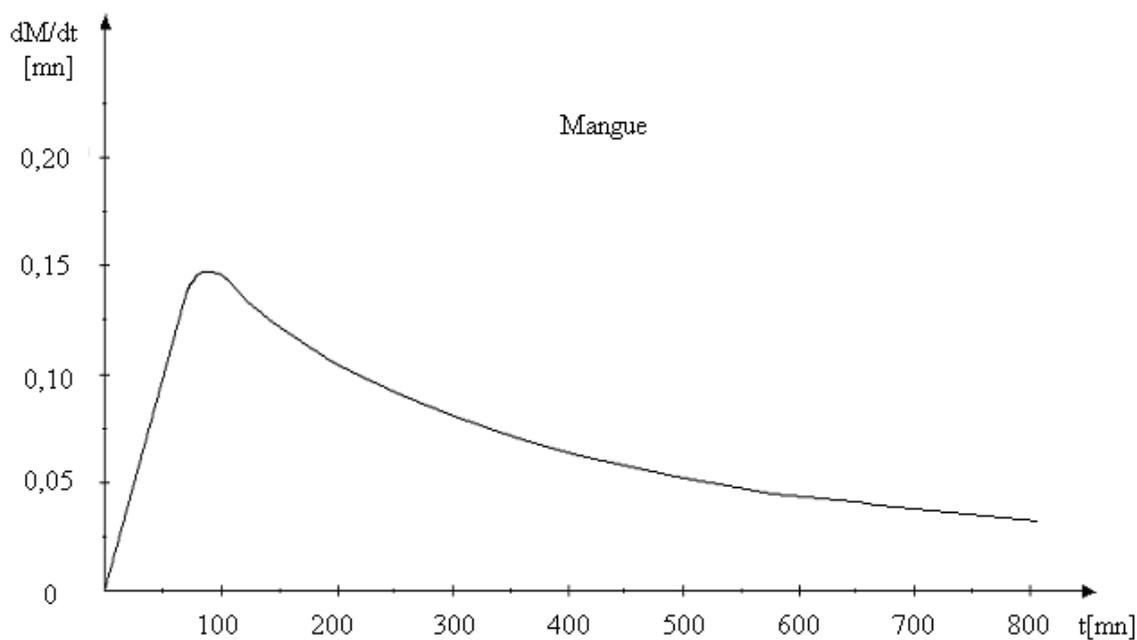
Courbe n°4.9 : variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (mangue à $T = 65^{\circ}\text{C}$).



❖ à $T = 40^{\circ}\text{C}$

MANGUE										
$\frac{dM}{dt} \left[\frac{\text{g}}{\text{mn}} \right]$	0	0,15	0,1	0,1	0,056	0,13	0,12	0,13	0,1	0,05
$t[\text{mn}]$	0	85	145	203	265	390	470	530	590	650

Tableau n°4.9 : variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (mangue à $T = 40^{\circ}\text{C}$).



Courbe n°4.10 : variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (mangue à $T = 40^{\circ}\text{C}$).



Constatation

Les courbes n°4.7, n°4.8, n°4.9 et n°4.10 représentent la variation du flux de masse

Elles permettent de visualiser la variation globale du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps.

En analysant le courbe, on peut dire que :

➤ Pour les cas des bananes et des ananas :

❖ le flux d'eau évaporée croît rapidement au début de l'opération qui s'étend entre 0 et 100 minutes et atteint son extremum;

❖ à partir de la 100^{ème} minutes les courbes deviennent décroissantes avec une allure modérée et à concavité tournée vers le haut;

➤ Pour les cas des mangues

❖ pour une température de cuisson de 65°C il y a changement d'allure entre la 50^{ème} et la 80^{ème} minutes. Cela pressent une structure fibreuse; et le produit séché est difficile à mâcher ;

❖ par contre, à 40°C la courbe garde la même allure que celles observées pour les bananes et les ananas. Le résultat est satisfaisant car seule l'eau libre s'est évaporée après le séchage.

Interprétation

Jusqu'à un seuil critique caractérisé par la durée critique de séchage, les conditions dans l'étuve favorisent le départ en flux croissant l'eau du produit.

Au delà de cette durée critique, le flux diminue progressivement.

IV.3.4- Masse d'eau évaporée par unité de temps

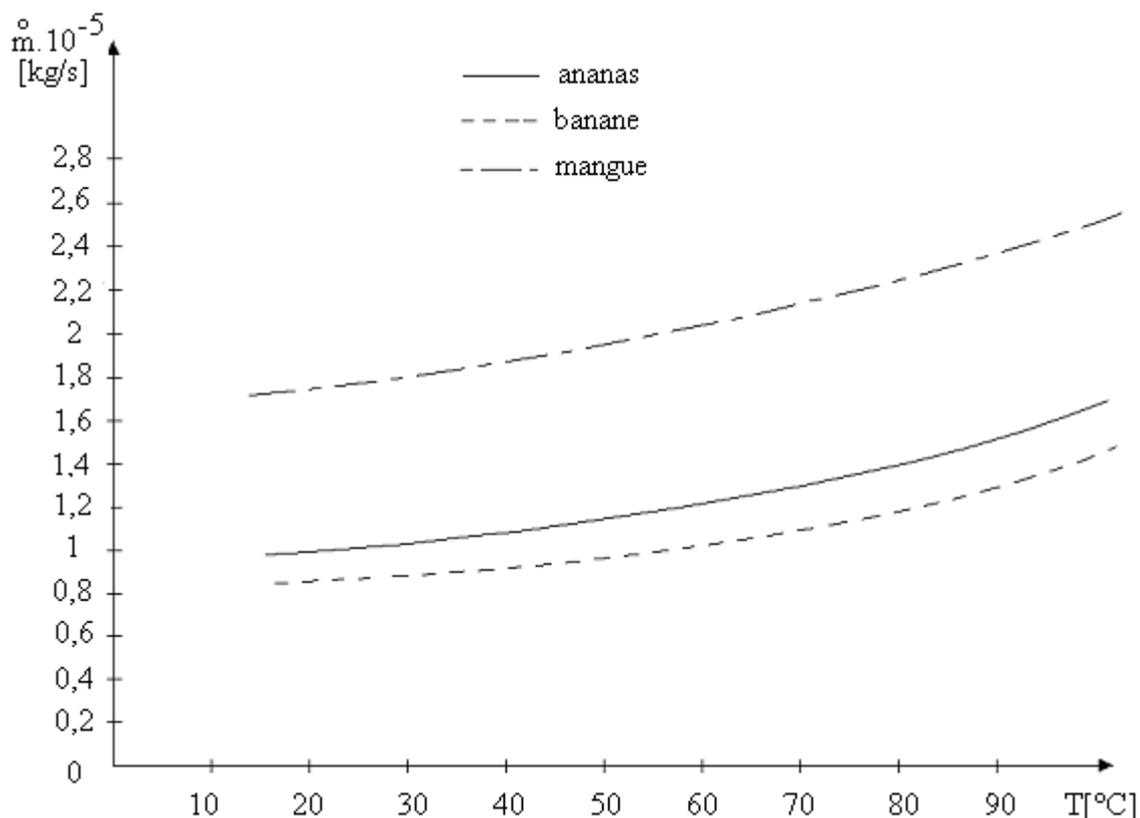
Avec comme hypothèse : $\rho_{\text{air}} = 1,06[\text{Kg}/\text{m}^3]$; $C_{p_{\text{air}}} = 1005[\text{J}.\text{Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]$
; $S = \pi R^2 = 0,005024[\text{m}^2]$ (S : surface de la volet d'air).



Le tableau n°4.10, récapitule les résultats de calcul de la chaleur latente de vaporisation de l'eau L_v , de la puissance évaporatoire au niveau des produits Q_{air} ainsi que de la masse d'eau évaporée \dot{m} , en appliquant les formules (3.6), (3.7) et (3.8).

	ΔT [°C]	Δt [h]	V_{air} [m/s]	\dot{m}_{air} [kg/s]	L_v [J/kg]	Q_{air} [w]	$\dot{m} \cdot 10^{-5}$ [kg/s]
B a n a n e	25	8,17	7,05	0,0375	2 378 921	25,49	1,07
	30				2 367 203	25,92	1,09
	35				2 355 485	26,34	1,12
	40				2 343 767	26,77	1,14
	45				2 332 049	27,20	1,17
	50				2 320 331	27,63	1,19
	55				2 308 613	28,05	1,22
M a n g u e	10	12,83	8,31	0,0443	2 425 793	44,90	1,85
	15				2 414 075	45,71	1,89
	20				2 402 357	46,49	1,94
	25				2 390 639	47,28	1,98
	30				2 378 921	48,08	2,02
	35				2 367 203	48,87	2,06
	40				2 355 485	49,66	2,11
A n a n s	25	8	7,97	0,042	2 378 921	27,95	1,18
	30				2 367 203	28,42	1,20
	35				2 355 485	28,89	1,23
	40				2 343 767	29,36	1,25
	45				2 332 049	29,83	1,28
	50				2 320 331	30,30	1,31
	55				2 308 613	30,77	1,33

Tableau n°4.10 : Calcul de la masse d'eau évaporée par unité de temps à partir de L_v et Q_{air} .



Courbe n°4.11 : Masse d'eau évaporée en fonction de la température

Interprétation

La masse d'eau évaporée est une fonction croissante de la température mais les courbes prennent une allure modérée et à faible pente. Ce qui signifie que la vitesse de séchage est quasiment faible pour tous les fruits étudiés.

CONCLUSION SUR L'EXPERIENCE

La durée de séchage des produits dépend essentiellement de la température ainsi que de la masse d'eau à enlever.

Il est donc possible de classer les produits fruitiers en deux catégories :

Les produits aqueux (à forte teneur en eau), pour les quels la température de séchage est égale à 65°C (exemple : ananas).

Les produits fibreux comme les mangues qu'il faut sécher à une température plus basse (40°C environ). Ceci pour éviter la modification de la structure.



Après séchage, nous avons demandé à la division de laboratoire de contrôle des eaux, aliments et solutés du Ministère de la santé pour tester et contrôler les produits séchés.

Les résultats de leur analyse sont présentés en Annexe A.

Ainsi, on peut affirmer que les fruits séchés au laboratoire sont consommables.



Chapitre V : CALCUL ECONOMIQUE - IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

IV.1-CALCUL ECONOMIQUE : [11]

L'objet de cette étude économique est de savoir si l'utilisation de l'étuve est rentable ou non dans un système de séchage de fruits (cas de la banane) et d'étudier la rentabilité économique du séchoir. On peut évaluer sa rentabilité selon deux méthodes, à savoir :

- ❖ Calcul de la valeur actuelle nette : VAN
- ❖ Calcul du taux de rentabilité interne : TRI



IV.1.1- Les éléments d'investissements :

a) Investissements unités : I₁

Investissements : I₁ (investissements des matériels)

Désignations	Unité	Quantité	Prix unitaire [Fmg]/[Ariary]	Montant [Fmg]/[Ariary]
<u>Appareil utilisé pour le séchage</u> ETUVE (SECHOIR)		1	14 000 000 / 2 800 000	14 000 000 / 2 800 000
<u>Appareils de mesures :</u> <ul style="list-style-type: none">▪ anémomètre instantané (testo. 451)▪ dynamomètre de précision (de 0 à 600g)	U	1	2 000 000 / 400 000	2 000 000/ 400 000
	U	1	20 000/ 4 000	20 000 / 4 000
<u>Matériels :</u> <ul style="list-style-type: none">▪ couteau▪ soude sac (moyenne modèle)▪ plateau	U	1	5 000 / 1 000	5 000 / 1 000
	U	1	150 000 / 30 000	150 000 / 30 000
	U	1	7 000 / 1 400	7 000 / 1 400

Tableau n°5.1 : Coût des matériels d'investissement

D'où le coût total des appareils et des matériaux est de 15 952 000 Fmg /
3 190 400 Ariary.



Provisions pour les dépenses imprévues :

Hausses des prix et divers : 250 000 Fmg / 50 000 Ariary

Alors les investissements des matériels sont estimés à :

$$I_1 = 16\,202\,000 \text{ Fmg} / 3\,240\,400 \text{ Ariary}$$

b) Services généraux et stockages

I_2 = services généraux + frais de stockages

□ Service généraux :

Frais d'atelier : 200 000 Fmg / 40 000 Ariary

□ Stockage :

Nous supposons que le séchage de banane ne nécessite pas de stockage. Les frais de stockage sont donc nuls.

Donc $I_2 = 200\,000 \text{ Fmg} / 40\,000 \text{ Ariary}$

Ainsi, le coût des investissements unités est de :

$$I_u = I_1 + I_2$$

$$I_u = 16\,402\,000 \text{ Fmg} / 3\,280\,400 \text{ Ariary}$$

c) Le capital fixe : CF

Il est donné par la formule suivante :

$$CF = \sum_{i=1}^4 I_i = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

où I_1 : investissements unités

I_2 : services généraux et stockages

I_3 : ingénierie

I_4 : stock de pièces de rechange

□ Ingénierie (I_3)

Frais d'études : 1 620 200 Fmg / 324 040 Ariary



□ Stock de pièce de rechange (I_4)

Pour l'installation de séchage, on a besoin de résistance blindée comme pièce de rechange, et qui vaut : 800 000 Fmg / 160 000 Ariary.

D'où : $I_4 = 800\ 000\ \text{Fmg} / 160\ 000\ \text{Ariary}$

Le capital fixe est donc égal à :

$$CF = 18\ 822\ 200\ \text{Fmg} / 3\ 764\ 440\ \text{Ariary}$$

IV.1.2- Les frais opératoires :

$$\text{Frais opératoires} = \text{charges variables} + \text{main d'œuvre}$$

a) Les charges variables : CV

$$\text{Charges Variables} = \text{charges initiales} + \text{Utilités}$$

□ Charges initiales : CI

▪ Coût du produit : 1 500 Fmg / Kg nous avons besoin de 15 Kg par opération de séchage. Ce qui fait $1\ 500\ \text{Fmg} \times 15\ \text{Kg} = 18\ 000\ \text{Fmg}$ / opération de séchage.

▪ Coût de l'emballage : gaine de 7 imprimées de trois couleurs 105 000 Fmg / 5 Kg. Ce qui donne 21 000 Fmg par opération c'est à dire 1 Kg / opération.

▪ Coût de transport : 14 800 Fmg / opération

▪ Coût de panier plastique utilisé pour peser le produit : on a besoin d'un paquet. Qui coûte 500 Fmg / opération.



Ainsi, le coût des charges initiales sera :

$$CI = 54\,300 \text{ Fmg / opération}$$

□ Utilités

L'utilité est la consommation en énergie utilisée pour le mise en marche de l'étuve. Il se calcule comme suit :

$$CE = QE \cdot C_w$$

où CE : Coût total de l'énergie

C_w : Coût d'1 kWh d'électricité

($C_w = 460 \text{ Fmg / kWh}$ pour la JI.RA.MA)

QE : Consommation d'énergie

($QE = 48,96 \text{ kWh / opération de séchage}$)

Le coût des utilités est donc :

$$\text{Utilités} = 22\,500 \text{ Fmg / opération de séchage}$$

Donc :

$$\text{Charges variables} = 54\,300 + 22\,500 = 76\,800 \text{ Fmg / opération de séchage}$$

$$\text{Charges variables} = 76\,800 \text{ Fmg / opération de séchage}$$



b) La main d'œuvre : MO

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous la répartition des tâches pendant une opération de séchage.

Opérations effectuées	Nombres de personne	Salaire par heure de travail [Fmg]/[Ariary]	Nombre d'heure de travail	Salaire par Opération de séchage [Fmg]/[Ariary]
Suivi de Séchage (opérateurs)	1 Technicien Supérieur	3 000 / 600	9 h	27 000 / 5 400
Chargement, déchargement et course	1 ouvrier	2 000 / 400	6 h	12 000 / 2 400

Tableau n°5.2 : Evaluation du coût de main d'œuvre

Le coût total de main d'œuvre pendant une opération de séchage est de :
39 000 Fmg / 7 800 Ariary.

Ainsi, pour une opération de séchage les frais opératoire sont évalués à :

$$FO = CV + MO = 76\,800 + 39\,000 = 115\,800 \text{ Fmg / opération}$$

$$FO = 115\,800 \text{ Fmg ou } 23\,160 \text{ Ariary / opération}$$

IV.1.3- Les frais de maintenances : (FM)

Calculons d'abord le nombre d'opération effectuée pendant une année de fonctionnement.

Ce nombre est donné par le rapport suivant :

$$N_{op} = \frac{\text{Nombre de jours ouvrables pendant une année}}{\text{Jours de séchage} + \text{Temps mis pour l'entretien}}$$

D'où :

$$N_{op} = \frac{288}{0,375+1} = 209 \text{ opérations / ans}$$



Durant une année les frais de maintenance sont estimés à 4 000 000 Fmg / an

$$FM = 4\,000\,000 \text{ Fmg/an}$$

IV.1.4- L'amortissement: A1

L'amortissement est formulé par :

$$A_1 = \frac{CF}{n_1}$$

n_1 : durée de vie de l'installation égale à 10 ans

D'où $A_1 = 1\,882\,220 \text{ Fmg}$

Ce qui donne par opération de séchage :

$$A_1' = \frac{A_1}{209} = 9\,000 \text{ Fmg / opération}$$

IV.2- DETERMINATION DU COUT D'UNITE DE PRODUCTION

$$C_s = \frac{FO + FM + A_1'}{Nb} = \frac{115\,800 + 19\,150 + 9\,000}{38} = 3\,800 \text{ Fmg / paquet de 250g}$$

$$C_s = 3\,800 \text{ Fmg ou } 760 \text{ Ariary / paquet de 250g}$$

IV.3- ETUDE DE LA RENTABILITE DU PROJET:

Pour le calcul de la rentabilité, on utilise la méthode du bénéfice actualisé (VAN) et la méthode du taux de rentabilité interne (TRI).

IV.3.1- Le temps de retour ou POT:

Il est défini par la formule suivante :

$$POT = \frac{I}{B(1-d) + A_p}$$



Où

I : capitale amortissable (ou investissement)

B : bénéfices bruts annuels

d : taux d'imposition sur les bénéfices 35%

A_p : amortissement annuel constant

a) Investissement :

Il est défini par :

$$I = CF + \text{frais de démarrage}$$

- Calcul des frais de démarrage : (I_5)

$$I_5 = \frac{FO}{6}$$

FO : Frais opératoires = 101 100 Fmg

D'où :
$$I_5 = \frac{115\ 800}{6} = 19\ 300\ \text{Fmg}$$

b) Amortissement : A_p

L'amortissement est égal à :

$$A_p = A_1 + A_2 = \frac{CF}{n_1} + \frac{I_5}{n_2}$$

Où n_2 : durée moyenne du capital amortissable 5 ans

Donc :

$$A_p = 1\ 886\ 100\ \text{Fmg / an}$$



c) Le bénéfice brute annuel : B

Il est défini par :

$$\text{Bénéfices brutes annuels} = \text{Coût d'exploitation} \times \text{Marge bénéficiaire}$$

Le coût d'exploitation est égal à :

$$\text{Coût d'exploitation} = \text{Frais opératoire} + \text{Amortissement} + \text{Entretien}$$

Les frais opératoires valent 115 800 Fmg pour une opération de séchage, ce qui donne 24 202 000 Fmg pour une année de fonctionnement.

$$\text{D'où } CE = 24\,202\,000 + 1\,886\,100 + 4\,000\,000 = 30\,088\,300 \text{ Fmg}$$

Et le bénéfice annuel est de :

$$B = 10\,530\,905 \text{ Fmg / an}$$

Le temps de retour est alors égal à :

$$POT = \frac{18\,841\,500}{(10\,530\,905 \cdot 0,65) + 1\,886\,100}$$

$$POT = 2 \text{ ans et } 2 \text{ mois}$$



IV.3.2- Le bénéfice actualisé ou VAN

Le VAN est défini par la relation suivante :

$$VAN = -(I + f) + \sum_{p=1}^n \frac{(V_p - C_p)(1 - d) + A_p}{(1 + i)^p} + \frac{I_r + f}{(1 + i)^n}$$

où I : capital amortissable ou investissement

f : fonds de roulement

V_p : recette d'exploitation de l'année p

C_p : coût opératoire

d : taux d'imposition sur les bénéfices 35%

A_p : amortissement annuel constant

i : Taux d'actualisation 14%

I_r : valeurs résiduelles de l'installation

a) Fonds de roulement : f

On a :

$$f = 2 \cdot I_5$$

A.N : $f = 2 \times 19\,300 = 38\,600 \text{ Fmg}$

b) Recette d'exploitation par an : V_p

$$V_p = \text{coût d'exploitation} + \text{bénéfice brute annuel}$$

D'où : $V_p = 30\,088\,300 + 10\,530\,905 = 40\,619\,200 \text{ Fmg}$



c) Coût opératoire : C_p

C_p est donné par :

$$C_p = D_p + A_p + F_p$$

Où D_p : dépenses d'exploitation

A_p : amortissement annuel constant

F_p : intérêts en cas d'emprunts

Nous supposons que le coût initial de l'installation est entièrement payé sans d' où : crédits ni emprunts. Donc, $F_p = 0$ Fmg

$$C_p = 30\,088\,300 + 1\,886\,100 = 31\,974\,400 \text{ Fmg}$$

d) Investissement initial à l'année 0 : I_o

L'investissement à l'année 0 est égal a :

$$I_o = I + f$$

D'où $I_o = 18\,880\,100 \text{ Fmg}$

e) Cash flow de l'année 1 à 4

$$(CF)_1 = (V_1 - C_1) (1-a) + A_1$$

$$(CF)_1 = (40\,619\,200 - 31\,974\,400) (0,65) + 1\,886\,100 = 7\,505\,220 \text{ Fmg}$$

f) Cash flow de l'année 5

$$I_r = I - (n_2 \cdot A_p) = 18\,841\,500 - (5 \cdot 1\,888\,100)$$

D'où :

$$I_r = 9\,411\,000 \text{ Fmg}$$

$$(CF)_5 = (V_5 - C_5) (1-a) I_r + f$$

$$(CF)_5 = 7\,505\,220 + 9\,411\,000 + 38\,600$$



Le bénéfice actualisé sera alors :

$$VAN = - 18\,880\,100 + 30\,673\,800 = 11\,793\,700 \text{ Fmg}$$

$$VAN = 11\,793\,700 \text{ Fmg} / 2\,358\,740 \text{ Ariary}$$

Le bénéfice actualisé est positif, par conséquent ce projet est économiquement rentable.

IV.3.3- Le taux de rentabilité interne ou TRI :

Par définition le taux de rentabilité interne est la valeur de taux d'actualisation i pour laquelle le bénéfice actualisé s'annule c'est à dire :

$$-(I + f) + \sum_{p=1}^n \frac{(V_p - C_p)(1 - d) + A_p}{(1 + i_r)^p} + \frac{I_r + f}{(1 + i_r)^n} = 0$$

Par la méthode de l'interpolation linéaire, nous déterminons la valeur de i_r qui annule la valeur du bénéfice actualisé :

Pour $i_r = 14\%$; $VAN = 11\,793\,700 \text{ Fmg} / 2\,358\,740 \text{ Ariary}$

Pour $i_r = 30\%$; $VAN = 1\,944\,350 \text{ Fmg} / 388\,870 \text{ Ariary}$

Pour $i_r = 35\%$; $VAN = -111\,450 \text{ Fmg} / -22\,290 \text{ Ariary}$

Alors
$$TRI = 30 - \left[\frac{(30 - 35) \cdot (1\,944\,350)}{1\,944\,350 - (-111\,450)} \right]$$



$$TRI(i_r) = 34,7\%$$



CONCLUSION:

A l'issue de cette étude économique nous pouvons dire que pour sécher 15 Kg a chaque opération de banane l'utilisation de l'étuve comme séchoir est rentable s'il coûte environ à 14 000 000 Fmg ou 2 800 000 Ariary.

Le coût de séchage obtenu est de 3 800 Fmg par paquet, l'étude est faite à partir d'un paquet pesant 250 g avec un amortissement de 5 ans, un temps de remboursement de 2 ans et 2 mois, ce qui correspondant à un taux de rentabilité interne égale à 34,7 %.

L'étude du même projet en utilisant une étuve fabriquée à Madagascar est détaillée en ANNEXE C.

V.4-IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX : [12]

L'environnement se définit comme étant l'ensemble des éléments qui conditionnent et déterminent l'activité humaine et notamment :

- L'entourage biologique (l'homme, la flore, la faune)
- L'entourage physique (l'équilibre biologique, les ressources naturelles, le climat, le sol)
- L'entourage socioculturel
- L'interaction de ces divers éléments
- Toute croissance directe ou indirecte engendré par une exploitation abusive de l'environnement.

Cet environnement semble être en train de se dégrader. A l'heure actuelle, des efforts intenses sont axés sur la protection et la préservation de l'environnement. La communauté internationale, par le biais des organismes spécialisés, s'efforce de freiner cette dégradation dont les conséquences néfastes commencent à refléter sur les conditions des vies humaines.

Conscient de l'ampleur de ces conséquences, le Gouvernement Malagasy avait élaboré une « charte de l'environnement », traduisant sa volonté de participer activement à la défense et la conservation de l'environnement. Cette charte constitue un outil important en matière de lutte contre les exploitations abusives des ressources naturelles.



On trouve sur notre île plusieurs type de fruits. Cet abondance nécessite donc une parfaite maîtrise de conservation afin d'éviter la pourriture de ces fruits qui dégagerait des odeurs nauséabondes.

En réalisant le projet, nous pouvons nous bénéficier :

- d'une activité lucrative pour les cultivateurs en période de soudure
- de la satisfaction de besoin locaux en matière des fruits séchés, car

jusqu'à présent la plupart de ces produits qu'on trouve dans le supermarché, sont tous importés. L'utilisation du séchoir électrique est un moyen de préservation de l'environnement puisqu'on constate actuellement une exploitation abusive de la forêt pour le besoin énergétique : bois de chauffe, charbon de bois. De plus l'opération de séchage ne dégagerait aucun gaz nocif.

Malgré tous ces avantages, les fruits séchés ne conservent pas leur goût naturel et perdent certains éléments nutritifs.

En réalisant le projet, aucun effet maléfique n'est observé à part du changement d'états des produits séchés.

Ce projet peut alors être considéré comme très intéressant car il ne risque pas de perturber l'équilibre environnemental.



CONCLUSION GENERALE

Les expériences faites au laboratoire thermique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo nous a permis de déterminer les constantes caractéristiques (n et k) des produits : banane, ananas, mangue. Ceci en utilisant une programmation sous MATLAB 5.3 pour le lissage des courbes.

Connaissant ces deux constantes, on peut déterminer les expressions des isothermes de désorption ainsi que la vitesse de séchage pour chaque produit.

L'utilisation d'un séchoir électrique par chauffage et ventilation s'avère avantageux tant sur le plan technique : réglage plus faciles des divers paramètres, produits propres ; tant sur le plan économique pour une durée de vie de l'installation estimée à 10 ans nous avons pris un taux d'imposition sur les bénéfices de [35%] et un taux d'actualisation de [14%], le taux de rentabilité interne du système pour sécher 15Kg à chaque opération du banane est égale à 34,7% avec un temps de retour de l'investissement de 2ans et 2mois, le coût unitaire de production est estimé à 3 800 Fmg par paquet de 250g, les résultats ainsi obtenus pourraient être beaucoup plus satisfaisant au sens économique si on disposera d'une étuve fabriquée à Madagascar.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] : GRET, GERES
Séchage solaire des produits alimentaires.
Dossier n°8
- [2] : F.KREITH
Transmission de la chaleur et thermodynamique.
Edition Mason, Paris 1967
- [3] : CHAUVELON P.
Séchoir industriel de Kaolin, modélisation à l'aide des courbes de séchage du produit.
Revue Génie thermique français, p236-245, 377, 1993
- [4] : José Denis RAKOTOVAO
Modélisation informatique d'un système de séchage solaire indirect pour fruit et légumes.
Mémoire de D.E.A, énergétique 1983
- [5] : BIZOT H., RIOU N., MULTON J.
Guide pratique pour la détermination des isothermes de sorption et de l'activité de l'eau.
Revue de science des aliments, hors série, 1987
- [6] : Léonide ANDRIANIRINA Hery
Etudes et réalisation d'une étuve de séchage pour l'acquisition des données permettant la modélisation des courbes de vitesse de séchage et d'isotherme de désorption.
Mémoire d'Ingénieur à l'E.S.P.A 2000
- [7] : JEAN-YVES QUINETTE
Etude expérimentale du séchage de denrées agroalimentaires en vue de l'optimisation d'un séchoir solaire.

ANNEXES

ANNEXE A : RESULTAT D'ANALYSES EFFECTUEES
AU LABORATOIRE DE CONTROLE DES
EAUX, ALIMENTS ET SOLUTES DU
MINISTERE DE LA SANTE

ANNEXE B : LISTE DE PROGRAMME

ANNEXE C : CAS DE BANANE SI L'ETUVE EST
FABRIQUE A MADAGASCAR

ANNEXES A

MINISTRE DE LA SANTE
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION ENERAL
DE LA SANTE
DIRECTION DES PHARMACIES
ET LABORATOIRES
SERVICE DES LABORATOIRES
DIVISION DES LABORATOIRES
DIVISION DE LABORATOIRE DE CNTROLE
DES EAUX.ALIMENTS ET SOLUTES

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana – Fahafana - Fandrosoana

Le laboratoire de contrôle des Eaux,
Aliments et solutés.

à

Monsieur ANDRIANTSILAVO Daniel Germain
Etudiant mémorisant à l'ESPA Vontovorona, Bloc 15,
Porte 521

- 102 ANTANANARIVO -

OBJET : Analyse des BANANE FRAICHE, BANANE SECHEE, ANANAS FRAIS ET
ANANASSECHE

Honneur de vous communiquer les résultats des analyses
suréférenciées, effectuées au laboratoire de contrôle des Eaux ,Aliments et
Solutés.

ANTANANARIVO, le 30 OCT 2003

Le Chef de Division de Laboratoire du Contrôle
des Eaux, Aliments et Solutés



Copie à :
-Intéressé
-DLCEAS

Dr. RASOLOFOMALALA Denis
Médecin Diplômé d'Etat

BULLETIN D' ANALYSE N°589 à 592

DENOMINATION ET IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS :

SECHES

Echantillons N° 01: BANANE FRAICHE, N° 02: BANANE FRAICHE, N°03 : ANANAS FRAIS et N°04 : ANANAS SECHE, adressé par Monsieur ANDRIANTSILAVODaniel Germain, Etudiant Mémorisant à l'ESPA Vontovorona, Bloc 15 Porte 521-102 ANTANANARIVO le 24 Octobre 2003, reçu au Laboratoire le 24 Octobre 2003 sous les N°589, N°590, N°591 et N°592.

<u>CARACTERE PHYSICO-CHIMIQUES DETERMINES :</u>	<u>N°01</u>	<u>N°02</u>	<u>N°03</u>	<u>N°04</u>
Humidité pour 100.....	75,50	33,33	88,90	<u>77,20</u>
Cendres pour 100.....	1,02	1,40	0,75	0,67
Matière hydrocarbonées pour 100.....	50,36	5,09		
Matières protéiques pour 100.....	6,30	8,61	60,80	5,66

INTERPRETATION ET CONCLUSION :

Pour les quatre échantillons :

Echantillons de produit satisfaisante par leur caractères physico-chimiques déterminés.
 Echantillons propre pour la ~~mise~~ mise en consommation...../....
 mise

Communiqué le : 30 OCT 2003



ANNEXE B



LISTE DE PROGRAMME

CAS ANANAS

Programmation pour le traçage des courbes théorique et expérimentale

```
clear all
xi=linspace(0,1,100);
a=[7 15 24 37 50 65 77 93 111 124 143];
b=[43 44 46 46.8 48 49.4 49.5 49.6 49.7 49.8 49.9];
a=a/100;
b=b/100;
q=polyfit(a,b,2)
ai=linspace(0,1,100);
bi=polyval(q,xi);
h=findobj(gcf,'tag','n1');
n1=get(h,'string');
n1=str2num(n1);
h=findobj(gcf,'tag','n3');
t=get(h,'string');
t=str2num(t);
t=(1.8*t)+492;
h=findobj(gcf,'tag','n2');
k=get(h,'string');
k=str2num(k);
for Ma=0.2:0.001:1.2
    hr=1-exp(-k*t*(Ma^n1));
    plot(Ma,hr)
    hold on
    plot(ai,bi,'r')
    h=gca;
    set(h,'color',[1 1 1])
    set(h,'Xcolor',[0 1 1])
    set(h,'Ycolor',[0 1 1])
    set(h,'fontweight','bold')
    grid on
end
h=findobj(gcf,'tag','s1')
hr=get(h,'value');
hr=num2str(hr);
h=findobj(gcf,'tag','n1')
set(h,'string',hr);
h=findobj(gcf,'tag','s2')
```



```
k=get(h,'value');
k=num2str(k);
h=findobj(gcf,'tag','n2')
set(h,'string',k);
h=findobj(gcf,'tag','s3')
t=get(h,'value');
t=num2str(t)
h=findobj(gcf,'tag','n3')
set(h,'string',t);
```

Création de l'interface pour le cas d'ananas

```
function fig = ananas()
load ananas
h0 = figure('Units','points', ...
    'Color',[0 0 0.627450980392157], ...
    'Colormap',mat0, ...
    'FileName','C:\MATLABR11\work\ananas.m', ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','COURBE ANANAS', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
    'PaperUnits','points', ...
    'Position',[6 26.25 590.25 405], ...
    'Tag','Fig1', ...
    'ToolBar','none');
h1 = axes('Parent',h0, ...
    'Units','pixels', ...
    'AmbientLightColor',[0 0 0.627450980392157], ...
    'CameraUpVector',[0 1 0], ...
    'CameraUpVectorMode','manual', ...
    'Color',[0 0 0.627450980392157], ...
    'ColorOrder',mat1, ...
    'FontWeight','bold', ...
    'LineWidth',2, ...
    'Position',[81 165 658 345], ...
    'Tag','Axes1', ...
    'TickDir','out', ...
    'TickDirMode','manual', ...
    'XColor',[1 1 1], ...
    'XGrid','on', ...
    'XLim',[0.1 1.5], ...
    'XLimMode','manual', ...
    'YColor',[1 1 1], ...
```



```
'YGrid','on', ...
'ZColor',[0 0 0]);

h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[1 1 1], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[0.7968036529680366 -0.08720930232558133 9.160254037844386], ...
'Tag','Axes1Text4', ...
'VerticalAlignment','cap');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[1 1 1], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[0.02541856925418583 0.4970930232558141 9.160254037844386], ...
'Rotation',90, ...
'Tag','Axes1Text3', ...
'VerticalAlignment','baseline');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','right', ...
'Position',mat2, ...
'Tag','Axes1Text2', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',mat3, ...
'Tag','Axes1Text1', ...
'VerticalAlignment','bottom');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[340.5 25.5 229.5 39], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
```



```
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.501960784313725 0.501960784313725 1], ...
'Callback','progi', ...
'FontSize',12, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[421.5 31.5 71.25 26.25], ...
'String','ECHAP', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 0 0], ...
'Callback','close', ...
'FontSize',12, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[492.75 31.5 71.25 26.25], ...
'String','CLOSE', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.501960784313725 0.501960784313725 1], ...
'Callback','progp', ...
'FontSize',12, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[350.25 31.5 71.25 26.25], ...
'String','PLOT', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[22.5 9 287.25 85.5], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'Callback','prog3', ...
'ListboxTop',0, ...
'Max',300, ...
'Min',10, ...
'Position',[227.25 13.5 73.5 17.25], ...
```



```
'SliderStep',[0.0034482759 0.1], ...
'String','ECHAP', ...
'Style','slider', ...
'Tag','s3', ...
'UserData','[ ]', ...
'Value',10);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'Callback','prog2', ...
'ListboxTop',0, ...
'Max',0.004, ...
'Min',0.0003, ...
'Position',[227.25 42 73.5 17.25], ...
'SliderStep',[0.027027 0.1], ...
'Style','slider', ...
'Tag','s2', ...
'UserData','[ ]', ...
'Value',0.0003);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'Callback','prog1', ...
'ListboxTop',0, ...
'Max',5, ...
'Min',1e-005, ...
'Position',[227.25 70.5 73.5 17.25], ...
'SliderStep',[2.000004e-005 0.1], ...
'Style','slider', ...
'Tag','s1', ...
'UserData','[ ]', ...
'Value',1e-005);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[133.5 13.5 84 18], ...
'Style','edit', ...
'Tag','n3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[133.5 40.5 84 18], ...
'Style','edit', ...
```



```
'Tag','n2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[134.25 69 84 18], ...
'Style','edit', ...
'Tag','n1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[31.5 68.25 94.5 21.75], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[30.75 40.5 94.5 21.75], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[30 12.75 94.5 21.75], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'FontName','Arial black', ...
'FontSize',12, ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[36.75 72.75 78 15.75], ...
'String','n =', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
```



```
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'FontName','Arial black', ...
'FontSize',12, ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[36.75 45.75 78 15.75], ...
'String','k =', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'FontName','Arial black', ...
'FontSize',12, ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[36.75 17.25 78 15.75], ...
'String','T =', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
if nargout > 0, fig = h0; end
```

ANNEXES C



I- CAS DE BANANE SI L'ETUVE EST FABRIQUE A MADAGASCAR

I.1- Les dépenses d'investissements :

Investissement en limites des unités de fabrication : I_1

- Caisson :

Dans le tableau ci-après nous donnons un devis estimatif du coût de l'étuve

Désignation	Quantité	Unité	Prix unitaire [Fmg] / [Ariary]	Montant [Fmg] / [Ariary]
TPG 15 / 10	5	u	125 000 / 25 000	625 000 / 125 000
Tube carré 50 x 50	6	m	11 666 / 2 333,2	70 000 / 14 000
Tôle perforé 1 x 1	1	m	100 000 / 20 000	100 000 / 20 000
Isolants thermiques (fibre de verre) épaisseur 10 cm	3	m	100 000 / 20 000	300 000 / 60 000
Joints thermiques	4	m	25 000 / 5 000	100 000 / 20 000
Paumelle GM	2	u	20 000 / 4 000	40 000 / 8 000
Système de fermeture	1	u	12 500 / 2 500	12 500 / 2 500
Contacteur de sécurité	1	u	30 000 / 6 000	30 000 / 6 000
Matériel de quincaillerie (vis, rondelle, etc....)				150 000 / 30 000
Peinture anti-rouille	3	Kg	10 000 / 2 000	30 000 / 6 000
Peinture de finition	4	Kg	15 000 / 3 000	60 000 / 12 000

Tableau n°C.1.1: Evaluation du coût de caisson

Le coût total de caisson est de : 1 517 500 Fmg / 303 500[Ariary]



▪ Ventilation		
Ventilateurs	:	2 000 000 Fmg
Installations électriques	:	<u>1 250 000 Fmg</u>
		3 250 000 Fmg
▪ Appoint électrique :		
Résistances électriques	:	800 000 Fmg
Installations électriques	:	<u>1 250 000 Fmg</u>
		2 050 000 Fmg
▪ Coût du matériel d'exploitation :		
Anémomètre instantané [Testo. 451]	:	2 000 000 Fmg
Dynamomètre de précision 0 à 600g	:	<u>20 000 Fmg</u>
		2 020 000 Fmg
▪ Matériels :		
Soude sac (moyenne modèle)	:	150 000 Fmg
Couteau	:	5 000 Fmg
Plateau	:	<u>7 000 Fmg</u>
		162 000 Fmg
▪ Main d'œuvre :		
Construction métallique	:	1 050 000 Fmg
Peinture	:	180 000 Fmg
Finition	:	<u>120 000 Fmg</u>
		1 350 000 Fmg

Donc l'investissement pour la construction du séchoir est évalué à
10 369 500 Fmg / 2 073 900 Ariary

- Provisions pour les dépenses imprévues
Hausse des prix et divers : 600 000 Fmg / 120 000 Ariary



- a) $I_1 = 10\,969\,500$ Fmg
 $I_2 = 200\,000$ Fmg
 $I_u = 11\,169\,500$ Fmg
 $I_3 = 1\,096\,950$ Fmg
 $I_4 = 800\,000$ Fmg

Le capital fixe CF = 13 066 450 Fmg / 2 613 290 Ariary

b) Nombre d'opération effectuée par an

$$N_{op} = \frac{\text{Nombre de jour ouvrable pendant une année}}{\text{Jour de sechage} + \text{temps l'entretien}}$$

D' où :

$$N_{op} = \frac{288}{0,375 + 1} = 209 \text{ opérations /an}$$

I.2- Frais opératoires

a) Charge variable

➤ Charge initiales :

coût du produit : 18 000 / opération

coût d' emballage : 21 000 Fmg / opération

coût de transport : 14 800 Fmg

coût de panier plastique utilisé pour peser le produit : on a besoin d'un paquet. Qui coûte 500 Fmg / opération

Pour chaque opération, le charge initiale est donc estimé à :

CI = 54 300 Fmg / opération

➤ Utilités = 22 500 Fmg / opération



La charge variable est alors :

$$CV = 76\ 800 \text{ Fmg / opération}$$

b) Main d'oeuvre

$$MO = 39\ 000 \text{ Fmg / opération}$$

Le main d'œuvre est alors : 39 000 Fmg / opération

Ainsi, les frais opératoire valent 115 800 Fmg / opération

I.3- Entretien

Durant une année les frais de maintenances sont estimés à : 4.000.000 Fmg

Ce qui donne pour chaque opération :

$$FM = \frac{4\ 000\ 000}{209} = 19\ 150 \text{ Fmg / opération}$$

I.4- Amortissement

$$A_1 = 1\ 306\ 650 \text{ Fmg}$$

$$A'_1 = 6\ 250 \text{ Fmg}$$

I.5- Coût de l'unité de production

$$C_s = \frac{115\ 800 + 19\ 150 + 6\ 250}{38} = 3\ 700 \text{ Fmg / paquet de 250 g}$$

I.6- Temps de retour de l'investissement

- Capitale amortissable

$$I_5 = \frac{99\ 300}{6} = 16\ 550 \text{ Fmg}$$



- Amortissement annuel constant :

$$A_p = 1\,310\,500 \text{ Fmg}$$

- Bénéfice brute annuel constant :

$$\text{Coût d'exploitation} = 29\,512\,700 \text{ Fmg / an}$$

$$\rightarrow B = 10\,329\,450 \text{ Fmg}$$

$$POT = \frac{13\,085\,750}{(10\,329\,450 \cdot 0,65) + 1\,310\,500} = 1 \text{ an et } 7 \text{ mois}$$

Soit POT = 1 an et 7 mois

I.7- Valeur actuel nette :

- Fonds de roulement :

$$f = 38\,600 \text{ Fmg}$$

- Recettes d'exploitation :

$$V_p = 39\,842\,150 \text{ Fmg}$$

- Coût opératoire :

$$C_p = 30\,823\,200 \text{ Fmg}$$

- Investissement initial à l'année 0 :

$$I_o = 13\,124\,350 \text{ Fmg}$$

- Cash flow de l'année 1 à 4 :

$$(CF)_1 = 7\,172\,800 \text{ Fmg}$$

- Cash flow de l'année 5 :

$$I_r = 6\,533\,250 \text{ Fmg}$$

$$(CF)_5 = 13\,706\,000 \text{ Fmg}$$



→ V.A.N = 14 589 400 Fmg

I.8- Taux de rentabilité interne :

Pour $i_r = 14\%$; V.A.N = 14 589 400 Fmg

Pour $i_r = 40\%$; V.A.N = 2 346 600 Fmg

Pour $i_r = 48\%$; V.A.N = 302 000 Fmg

Pour $i_r = 50\%$; V.A.N = -138 050 Fmg

$$\text{Alors } TRI = 48 - \left[\frac{(48 - 50) \cdot 302\,000}{302\,000 - (-138\,050)} \right]$$



$$TRI (i_r) = 49,3\%$$

Le tableau ci-dessous montre la comparaison entre l'étuve coûtant 14 000 000 Fmg et l'étuve a fabriqué à Madagascar.

	Pour l'étuve à 14 000 000 Fmg		Pour l'étuve fabriquer à Madagascar	
	ananas	mangue	ananas	mangue
I_1 [Fmg]	16 202 000		10 969 500	
I_2 [Fmg]	200 000			
I_u [Fmg]	16 402 000		11 169 500	
I_3 [Fmg]	1 620 200		1 096 950	



I ₄ [Fmg]	800 000			
CF [Fmg]	18 022 200		13 066 450	
CI [Fmg/opération]	45 000	42 000	45 000	42 000
U [Fmg/opération]	15 000	16 600	15 000	16 600
CV [Fmg/opération]	60 000	58 600	60 000	58 600
MO [Fmg/opération]	30 000	28 000	30 000	28 000
FO [Fmg/opération]	90 000	86 600	90 000	86 600
FM [Fmg/an]	4 000 000			
A ₁ [Fmg]	1 802 200		1 306 650	
A ₁ [Fmg/opération]	9 150		6 350	
C _s [Fmg/paquet]	4 500	3 300	4 425	3 250
I ₅ [Fmg]	15 000	14 450	15 000	14 450
I [Fmg]	19 068 200	19 067 650	13 312 450	13 311 900
A _p [Fmg]	1 908 320	1 908 210	1 332 745	1 332 635
CE [Fmg/an]	24 718 320	24 007 610	24 142 745	23 432 035
B [Fmg]	8 651 412	8 402 700	8 449 960	8 201 200
POT	2ans et 6mois	2ans et 7mois	1an et 11mois	2 ans



f [Fmg]	30 000	28 900	30 000	28 900
V _p [Fmg]	33 369 732	32 410 310	32 592 705	31 633 235
C _p [Fmg]	26 626 640	25 915 220	25 475 490	24 764 670
I ₀ [Fmg]	19 098 200	19 096 550	13 342 450	13 340 800
(CF) ₁ [Fmg]	6 291 350	6 129 600	5 958 950	5 797 200
I _r [Fmg]	9 526 600	9 526 600	6 648 725	6 648 725
(CF) ₅ [Fmg]	15 847 950	15 685 100	12 637 675	12 474 825
i _r = 14% ; VAN	7 445 000	6 909 600	10 568 800	10 035 450
TRI (i _r)	27,2%	25,6%	40,3%	38,9%

Tableau n°C.1.2 : Comparaison entre l'étuve utilisée pendant l'expérimentation et l'étuve fabriquée a Madagascar



LISTE DES FIGURES

	Pages
<i>Figure 1.1</i> : Représentation de l'activité de l'eau.....	3
<i>Figure 2.1</i> : Représentation du séchoir.....	8
<i>Figure 2.2</i> : Fonctionnement du séchoir.....	15
<i>Figure 2.3</i> : L'appareil de mesure (anémomètre testo 451).....	16
<i>Figure 3.1</i> : schéma de la teneur en eau dans un produit	20
<i>Figure 3.2</i> : Réseau de courbe d'équilibre	21
<i>Figure 4.1</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de banane 1 ^{ère} expérience).....	32
<i>Figure 4.2</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de banane 2 ^{ème} expérience).....	32
<i>Figure 4.3</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas d'ananas).....	33
<i>Figure 4.4</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de mangue à $T = 65^\circ\text{C}$)	34
<i>Figure 4.5</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de mangue à $T = 40^\circ\text{C}$).....	34
<i>Figure 4.6</i> : Organigramme de calcul des constantes dépendantes du produit n et k.....	36
<i>Figure 4.7</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (banane)	40
<i>Figure 4.8</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (ananas).....	41
<i>Figure 4.9</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (mangue à $T = 65^\circ\text{C}$)	42
<i>Figure 4.10</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (mangue à $T = 40^\circ\text{C}$).....	43
<i>Figure 4.11</i> : Masse d'eau évaporée en fonction de la température.....	46



LISTE DES TABLEAUX

	Pages
<i>Tableau 2.1</i> : Caractéristiques du moteur du ventilateur.....	13
<i>Tableau 4.1</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas de banane 1 ^{ère} expérience).....	26
<i>Tableau 4.2</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas de banane 2 ^{ème} expérience).....	28
<i>Tableau 4.3</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas d'ananas).....	29
<i>Tableau 4.4</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas de mangue à T = 65°C)	30
<i>Tableau 4.5</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas de mangue à T = 40°C)	31
<i>Tableau 4.6</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (banane).....	40
<i>Tableau 4.7</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (ananas).....	41
<i>Tableau 4.8</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (mangue à T = 65°C).....	42
<i>Tableau 4.9</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (mangue à T = 40°C).....	43
<i>Tableau 4.10</i> : Calcul de la masse d'eau évaporée par unité de temps à partir de L _v et Q _{air}	45
<i>Tableau 5.1</i> : Coût du matériels d'investissement.....	49
<i>Tableau 5.2</i> : Evaluation du coût de main d'œuvre.....	53
<i>Tableau C.1.1</i> : Evaluation du coût de caisson.....	C1
<i>Tableau C.1.2</i> : Comparaison entre l'étuve utilisée pendant l'expérimentation et l'étuve fabriqué a Madagascar.....	C6-C8



TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS

NOMENCLATURE

INTRODUCTION

CHAPITRE I : RAPPEL SUR LE SECHAGE

I.1- Généralités sur le séchage.....	2
I.2- Caractérisation d'un produit de séchage.....	3
I.3- L'humidité des solides.....	4
I.3.1- Définitions.....	4
I.3.2- Types de liaison de l'eau.....	4
I.4- Quantification de l'eau.....	4
I.4.1- La quantité de l'eau dans un matériau de séchage.....	4
I.4.2- L'hygroscopicité.....	5
I.4.3- Vitesse de séchage.....	6

CHAPITRE II : DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DU SECHOIR

II.1- Description des éléments.....	12
II.1.1- La cellule de séchage.....	12
II.1.2- Les éléments de chauffage.....	12
II.1.3- Le ventilateur.....	13
II.1.4- L'armoire électrique.....	14
II.2- Principe de fonctionnement.....	14
II.3- Les appareils de mesures.....	15
II.3.1- Le Testo 451.....	16
II.3.2- Dynamomètre.....	18



CHAPITRE III : EXPRESSIONS RELATIVES AUX EXPERIMENTATIONS

III.1- Expressions des isothermes de désorption.....	19
III.1.1- Définition.....	19
III.1.2- Grandeurs physiques.....	19
III.1.3- Réseaux des courbes d'équilibre.....	21
III.1.4- Modèles numériques des courbe d'équilibre.....	21
III.2- Vitesse de séchage.....	23

CHAPITRE IV : L'EXPERIMENTATION

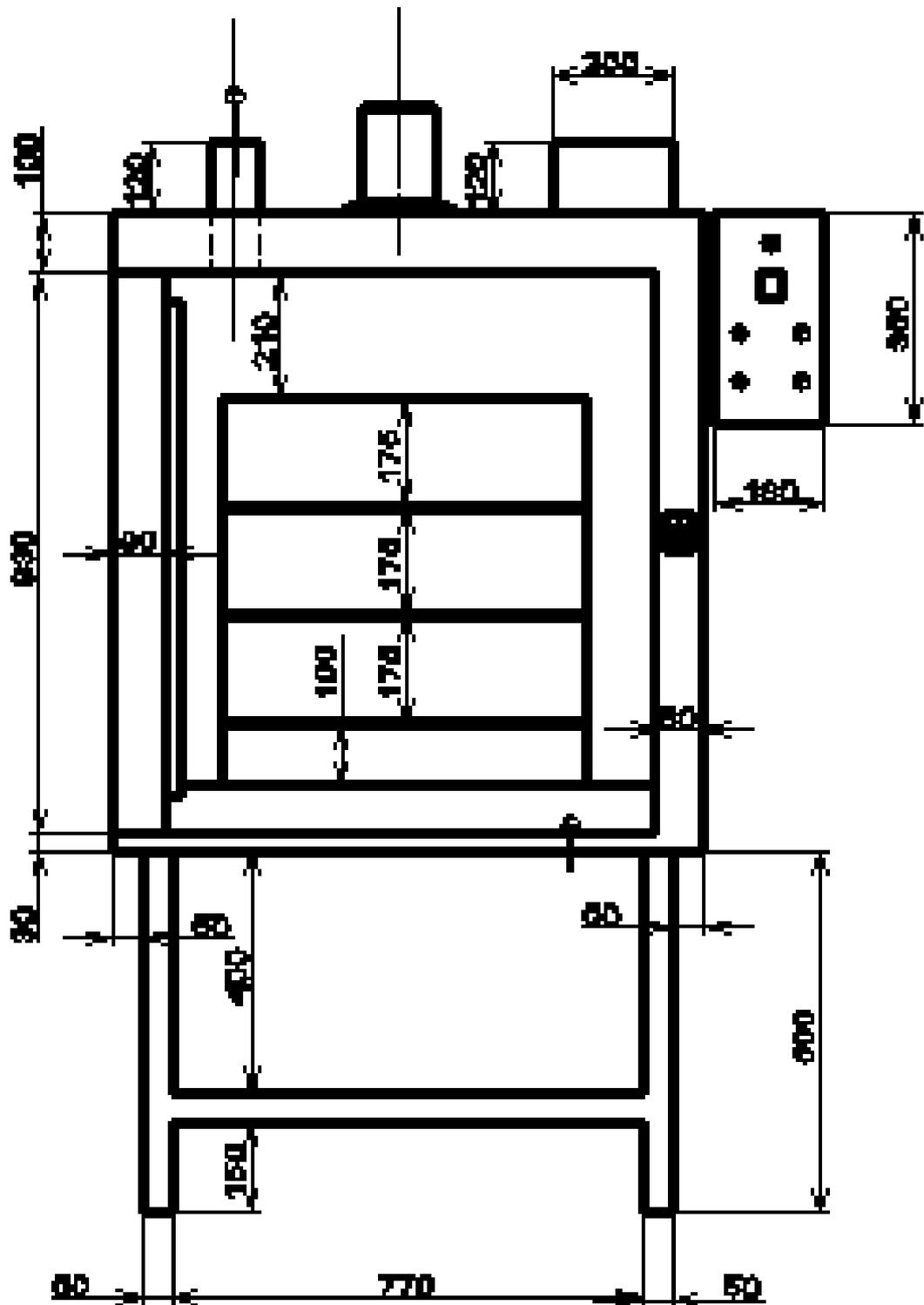
IV.1- Procédures expérimentales.....	24
IV.1.1- Etapes à suivre.....	24
IV.1.2- Mesure des paramètres	25
IV.2- Expérimentation.....	26
IV.2.1- Cas de la banane.....	26
IV.2.1- Cas de l'ananas.....	29
IV.2.1- Cas de la mangue.....	30
IV.3- Analyse des résultats.....	31
IV.3.1- Courbe d'équilibre	32
IV.3.2- Détermination des constantes dépendant du produit n et k (lissage de courbe).....	35
IV.3.3- Courbe de variation de flux de masse.....	39
IV.3.4- Masse d'eau évaporée par unité de temps.....	44



CHAPITRE V : CALCUL ECONOMIQUE – IMPACTS ENVIRONNEMENTX

V1-Calcul économique	48
V.1.1- Les éléments d'investissements	49
V.1.2- Les frais opératoires	51
V.1.3- Les frais de maintenances	53
V.1.4- L'amortissement	54
V.2- Détermination du coût de séchage	54
V.3- Etude de la rentabilité du projet	54
V.3.1- Le temps de retour ou POT	54
V.3.2- Le bénéfice actualisé ou VAN	57
V.3.3- Le taux de rentabilité interne ou TRI	59
V.4- Impacts environnementaux	60
CONCLUSION	62
BIBLIOGRAPHIE	63
ANNEXES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	

Vue de face



SECHOIR

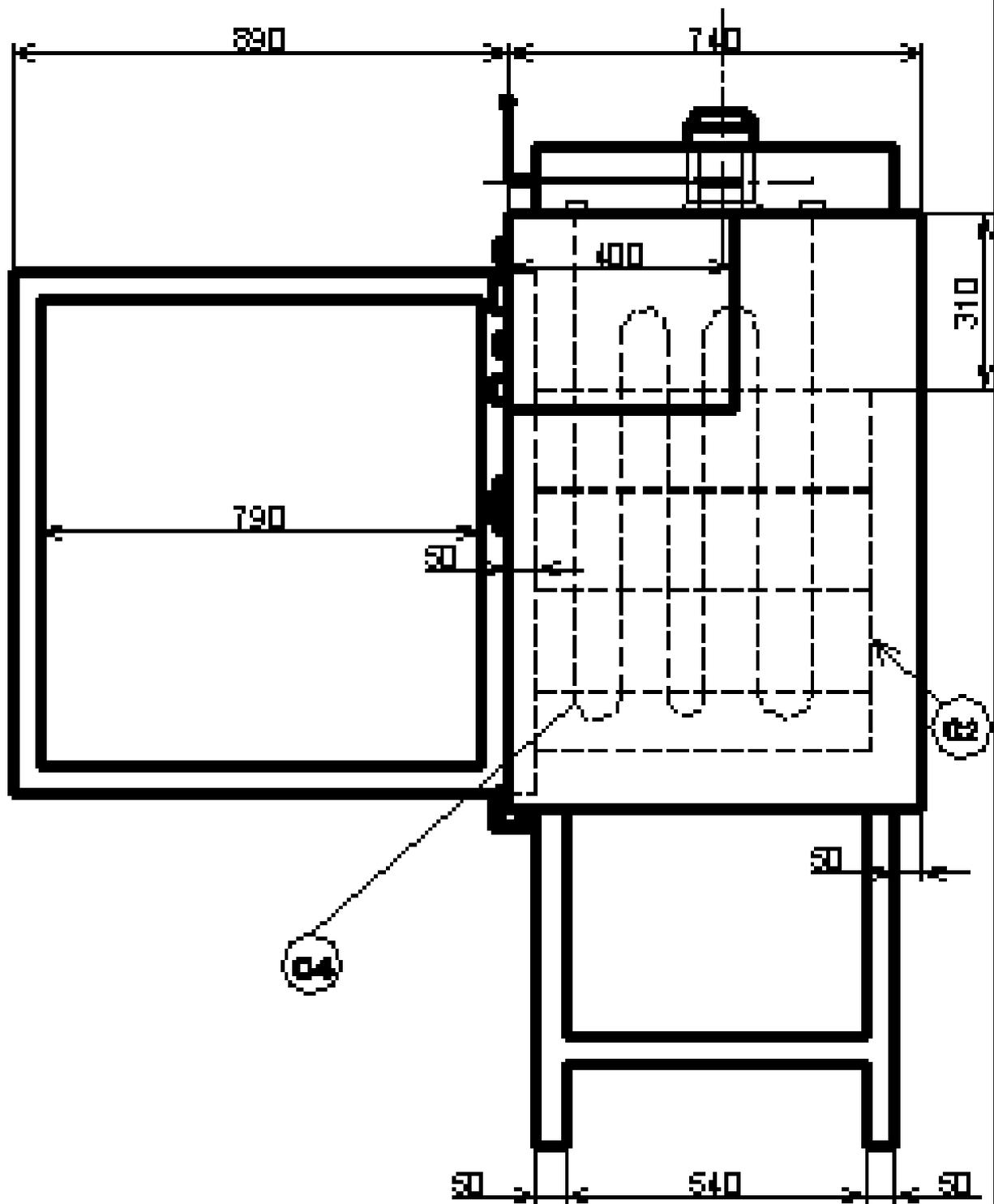
E.S.P.A

Ech 1:10



PL-01

Vue de droite



SECHOIR

E.S.P.A

Ech 1:10



PL-02

C4		Resistance électrique		
C3		Caisson	INOX	15/10
C2		Tôle perforée	INOX	15/10
C1		Pied en tube carré		50 x 50
11	1	Contacteur de sécurité		
10	2	Bouton contacteur marche - arrêt (chauffage - ventilation)		
9	2	Voyant GN on/off (chauffage - ventilation)		
8	1	Afficheur électronique		
7	1	Voyant WH on/off		
6	1	Armoire électrique		
5		Capot de protection	TPG	15/10
4	1	Moteur électrique triphasé		LS 71
3	1	Volet d'air (D= 40, h= 150)	TPG	15/10
2	1	Portière	INOX	15/10
1	3	Claie	INOX	15/10

Rq	Nb	Désignation	Matère	Obs
SECHOIR			E.S.P.A	
			Ech1:10	PL- 03

**Titre : ETABLISSEMENT SUR ETUVE DES PROPRIETES
PHYSIQUES NECESSAIRES AU SECHAGE DE
DIVERS FRUITS DE MADAGASCAR EN VUE
DE LA CONSOMMATION DE FRUITS SECHES**

Auteur : ANDRIATSILAVO Daniel Germain

Adresse : Lot 1585 Cité de 67Ha Nord Est
-101- ANTANANARIVO

Nombre de pages : 63

Nombre de figures : 17

Nombre de tableaux : 15

Résumé :

L'objet de ce travail est d'étudier le séchage de fruit en utilisant un séchoir électrique par chauffage et ventilation.

D'abord nous avons pris comme fruits étudiés, la mangue, la banane et l'ananas. Les relevés des différents paramètres au cours de l'expérimentation ont permis de déterminer la vitesse de séchage pour chaque cas.

Ensuite, nous avons établi un programme informatique, utilisant le langage MATLAB 5.3, qui permet de simuler le lissage de courbe obtenue expérimentalement et théoriquement en utilisant le modèle d'HENDERSON pour les calculs de constantes dépendant du produit n et k .

Connaissant ces deux constantes, on peut déterminer les expressions des isothermes de désorption.

En fin, nous avons terminé l'étude par un calcul économique pour mettre en évidence la rentabilité du projet.

Summary :

The object of this work is to study the drying of fruit while using an electric drier by heating and ventilation.

First we took like fruits study, the mango, the banana and the pineapple. The summaries of the different parameters during the experimentation permitted to determine the speed of drying for every case.

Then, we established a computer program, using the language MATLAB 5.3, that permits to simulate the smoothing of curve gotten experimentally and theoretically while using the model of HENDERSON for the calculations of constants depending on the product (n and k).

Knowing these two constants, one can determine the expressions of the isotherms of desorption.

In end, we finished the survey by an economic calculation to put in evidence the profitability of the project.

Mots clés : Séchage, Séchoir, Air asséchant, Humidité, Fruit, Isothermes de désorption, Vitesse de séchage.



CONCLUSION GENERALE

Les expériences faites au laboratoire thermique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo nous a permis de déterminer les constantes caractéristiques (n et k) des produits : banane, ananas, mangue. Ceci en utilisant une programmation sous MATLAB 5.3 pour le lissage des courbes.

Connaissant ces deux constantes, on peut déterminer les expressions des isothermes de désorption ainsi que la vitesse de séchage pour chaque produit.

L'utilisation d'un séchoir électrique par chauffage et ventilation s'avère avantageux tant sur le plan technique : réglage plus faciles des divers paramètres, produits propres ; tant sur le plan économique pour une durée de vie de l'installation estimée à 10 ans nous avons pris un taux d'imposition sur les bénéfices de [35%] et un taux d'actualisation de [14%], le taux de rentabilité interne du système pour sécher 15Kg à chaque opération du banane est égale à 34,7% avec un temps de retour de l'investissement de 2ans et 2mois, le coût unitaire de production est estimé à 3 800 Fmg par paquet de 250g, les résultats ainsi obtenus pourraient être beaucoup plus satisfaisant au sens économique si on disposera d'une étuve fabriquée à Madagascar.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] : GRET, GERES
Séchage solaire des produits alimentaires.
Dossier n°8
- [2] : F.KREITH
Transmission de la chaleur et thermodynamique.
Edition Mason, Paris 1967
- [3] : CHAUVELON P.
Séchoir industriel de Kaolin, modélisation à l'aide des courbes de séchage du produit.
Revue Génie thermique français, p236-245, 377, 1993
- [4] : José Denis RAKOTOVAO
Modélisation informatique d'un système de séchage solaire indirect pour fruit et légumes.
Mémoire de D.E.A, énergétique 1983
- [5] : BIZOT H., RIOU N., MULTON J.
Guide pratique pour la détermination des isothermes de sorption et de l'activité de l'eau.
Revue de science des aliments, hors série, 1987
- [6] : Léonide ANDRIANIRINA Hery
Etudes et réalisation d'une étuve de séchage pour l'acquisition des données permettant la modélisation des courbes de vitesse de séchage et d'isotherme de désorption.
Mémoire d'Ingénieur à l'E.S.P.A 2000
- [7] : JEAN-YVES QUINETTE
Etude expérimentale du séchage de denrées agroalimentaires en vue de l'optimisation d'un séchoir solaire.

ANNEXES

ANNEXE A : RESULTAT D'ANALYSES EFFECTUEES
AU LABORATOIRE DE CONTROLE DES
EAUX, ALIMENTS ET SOLUTES DU
MINISTERE DE LA SANTE

ANNEXE B : LISTE DE PROGRAMME

ANNEXE C : CAS DE BANANE SI L'ETUVE EST
FABRIQUE A MADAGASCAR

ANNEXES A

MINISTRE DE LA SANTE
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION ENERAL
DE LA SANTE
DIRECTION DES PHARMACIES
ET LABORATOIRES
SERVICE DES LABORATOIRES
DIVISION DES LABORATOIRES
DIVISION DE LABORATOIRE DE CNTROLE
DES EAUX.ALIMENTS ET SOLUTES

REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Tanindrazana – Fahafana - Fandrosoana

Le laboratoire de contrôle des Eaux,
Aliments et solutés.

à

Monsieur ANDRIANTSILAVO Daniel Germain
Etudiant mémorisant à l'ESPA Vontovorona, Bloc 15,
Porte 521

- 102 ANTANANARIVO -

OBJET : Analyse des BANANE FRAICHE, BANANE SECHEE, ANANAS FRAIS ET
ANANASSECHE

Honneur de vous communiquer les résultats des analyses
suréférenciées, effectuées au laboratoire de contrôle des Eaux ,Aliments et
Solutés.

ANTANANARIVO, le 30 OCT 2003

Le Chef de Division de Laboratoire du Contrôle
des Eaux, Aliments et Solutés



Copie à :
-Intéressé
-DLCEAS

Dr. RASOLOFOMALALA Denis
Médecin Diplômé d'Etat

BULLETIN D' ANALYSE N°589 à 592

DENOMINATION ET IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS :

SECHE

Echantillons N° 01: BANANE FRAICHE, N° 02: BANANE FRAICHE, N°03 : ANANAS FRAIS et N°04 : ANANAS SECHE, adressé par Monsieur ANDRIANTSILAVODaniel Germain, Etudiant Mémorisant à l'ESPA Vontovorona, Bloc 15 Porte 521-102 ANTANANARIVO le 24 Octobre 2003, reçu au Laboratoire le 24 Octobre 2003 sous les N°589, N°590, N°591 et N°592.

<u>CARACTERE PHYSICO-CHIMIQUES DETERMINES :</u>	<u>N°01</u>	<u>N°02</u>	<u>N°03</u>	<u>N°04</u>
Humidité pour 100.....	75,50	33,33	88,90	<u>77,20</u>
Cendres pour 100.....	1,02	1,40	0,75	0,67
Matière hydrocarbonées pour 100.....	50,36	5,09		
Matières protéiques pour 100.....	6,30	8,61	60,80	5,66

INTERPRETATION ET CONCLUSION :

Pour les quatre échantillons :

Echantillons de produit satisfaisante par leur caractères physico-chimiques déterminés.
 Echantillons propre pour la ~~mise~~ mise en consommation...../....
 mise

Communiqué le : 30 OCT 2003



ANNEXE B



LISTE DE PROGRAMME

CAS ANANAS

Programmation pour le traçage des courbes théorique et expérimentale

```
clear all
xi=linspace(0,1,100);
a=[7 15 24 37 50 65 77 93 111 124 143];
b=[43 44 46 46.8 48 49.4 49.5 49.6 49.7 49.8 49.9];
a=a/100;
b=b/100;
q=polyfit(a,b,2)
ai=linspace(0,1,100);
bi=polyval(q,xi);
h=findobj(gcf,'tag','n1');
n1=get(h,'string');
n1=str2num(n1);
h=findobj(gcf,'tag','n3');
t=get(h,'string');
t=str2num(t);
t=(1.8*t)+492;
h=findobj(gcf,'tag','n2');
k=get(h,'string');
k=str2num(k);
for Ma=0.2:0.001:1.2
    hr=1-exp(-k*t*(Ma^n1));
    plot(Ma,hr)
    hold on
    plot(ai,bi,'r')
    h=gca;
    set(h,'color',[1 1 1])
    set(h,'Xcolor',[0 1 1])
    set(h,'Ycolor',[0 1 1])
    set(h,'fontweight','bold')
    grid on
end
h=findobj(gcf,'tag','s1')
hr=get(h,'value');
hr=num2str(hr);
h=findobj(gcf,'tag','n1')
set(h,'string',hr);
h=findobj(gcf,'tag','s2')
```



```
k=get(h,'value');
k=num2str(k);
h=findobj(gcf,'tag','n2')
set(h,'string',k);
h=findobj(gcf,'tag','s3')
t=get(h,'value');
t=num2str(t)
h=findobj(gcf,'tag','n3')
set(h,'string',t);
```

Création de l'interface pour le cas d'ananas

```
function fig = ananas()
load ananas
h0 = figure('Units','points', ...
'Color',[0 0 0.627450980392157], ...
'Colormap',mat0, ...
'FileName','C:\MATLABR11\work\ananas.m', ...
'MenuBar','none', ...
'Name','COURBE ANANAS', ...
'NumberTitle','off', ...
'PaperPosition',[18 180 576 432], ...
'PaperUnits','points', ...
'Position',[6 26.25 590.25 405], ...
'Tag','Fig1', ...
'ToolBar','none');
h1 = axes('Parent',h0, ...
'Units','pixels', ...
'AmbientLightColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'CameraUpVector',[0 1 0], ...
'CameraUpVectorMode','manual', ...
'Color',[0 0 0.627450980392157], ...
'ColorOrder',mat1, ...
'FontWeight','bold', ...
'LineWidth',2, ...
'Position',[81 165 658 345], ...
'Tag','Axes1', ...
'TickDir','out', ...
'TickDirMode','manual', ...
'XColor',[1 1 1], ...
'XGrid','on', ...
'XLim',[0.1 1.5], ...
'XLimMode','manual', ...
'YColor',[1 1 1], ...
```



```
'YGrid','on', ...
'ZColor',[0 0 0]);

h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[1 1 1], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[0.7968036529680366 -0.08720930232558133 9.160254037844386], ...
'Tag','Axes1Text4', ...
'VerticalAlignment','cap');
set(get(h2,'Parent'),'XLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[1 1 1], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',[0.02541856925418583 0.4970930232558141 9.160254037844386], ...
'Rotation',90, ...
'Tag','Axes1Text3', ...
'VerticalAlignment','baseline');
set(get(h2,'Parent'),'YLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','right', ...
'Position',mat2, ...
'Tag','Axes1Text2', ...
'Visible','off');
set(get(h2,'Parent'),'ZLabel',h2);
h2 = text('Parent',h1, ...
'Color',[0 0 0], ...
'HandleVisibility','off', ...
'HorizontalAlignment','center', ...
'Position',mat3, ...
'Tag','Axes1Text1', ...
'VerticalAlignment','bottom');
set(get(h2,'Parent'),'Title',h2);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[340.5 25.5 229.5 39], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
```



```
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.501960784313725 0.501960784313725 1], ...
'Callback','progi', ...
'FontSize',12, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[421.5 31.5 71.25 26.25], ...
'String','ECHAP', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 0 0], ...
'Callback','close', ...
'FontSize',12, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[492.75 31.5 71.25 26.25], ...
'String','CLOSE', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0.501960784313725 0.501960784313725 1], ...
'Callback','progp', ...
'FontSize',12, ...
'FontWeight','bold', ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[350.25 31.5 71.25 26.25], ...
'String','PLOT', ...
'Tag','Pushbutton1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[22.5 9 287.25 85.5], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'Callback','prog3', ...
'ListboxTop',0, ...
'Max',300, ...
'Min',10, ...
'Position',[227.25 13.5 73.5 17.25], ...
```



```
'SliderStep',[0.0034482759 0.1], ...
'String','ECHAP', ...
'Style','slider', ...
'Tag','s3', ...
'UserData','[ ]', ...
'Value',10);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'Callback','prog2', ...
'ListboxTop',0, ...
'Max',0.004, ...
'Min',0.0003, ...
'Position',[227.25 42 73.5 17.25], ...
'SliderStep',[0.027027 0.1], ...
'Style','slider', ...
'Tag','s2', ...
'UserData','[ ]', ...
'Value',0.0003);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'Callback','prog1', ...
'ListboxTop',0, ...
'Max',5, ...
'Min',1e-005, ...
'Position',[227.25 70.5 73.5 17.25], ...
'SliderStep',[2.000004e-005 0.1], ...
'Style','slider', ...
'Tag','s1', ...
'UserData','[ ]', ...
'Value',1e-005);
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[133.5 13.5 84 18], ...
'Style','edit', ...
'Tag','n3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[133.5 40.5 84 18], ...
'Style','edit', ...
```



```
'Tag','n2');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[134.25 69 84 18], ...
'Style','edit', ...
'Tag','n1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[31.5 68.25 94.5 21.75], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[30.75 40.5 94.5 21.75], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[30 12.75 94.5 21.75], ...
'Style','frame', ...
'Tag','Frame3');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'FontName','Arial black', ...
'FontSize',12, ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[36.75 72.75 78 15.75], ...
'String','n =', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
```



```
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'FontName','Arial black', ...
'FontSize',12, ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[36.75 45.75 78 15.75], ...
'String','k =', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','points', ...
'BackgroundColor',[0 0 0.627450980392157], ...
'FontName','Arial black', ...
'FontSize',12, ...
'ForegroundColor',[1 1 1], ...
'ListboxTop',0, ...
'Position',[36.75 17.25 78 15.75], ...
'String','T =', ...
'Style','text', ...
'Tag','StaticText1');
if nargin > 0, fig = h0; end
```

ANNEXES C



I- CAS DE BANANE SI L'ETUVE EST FABRIQUE A MADAGASCAR

I.1- Les dépenses d'investissements :

Investissement en limites des unités de fabrication : I_1

- Caisson :

Dans le tableau ci-après nous donnons un devis estimatif du coût de l'étuve

Désignation	Quantité	Unité	Prix unitaire [Fmg] / [Ariary]	Montant [Fmg] / [Ariary]
TPG 15 / 10	5	u	125 000 / 25 000	625 000 / 125 000
Tube carré 50 x 50	6	m	11 666 / 2 333,2	70 000 / 14 000
Tôle perforé 1 x 1	1	m	100 000 / 20 000	100 000 / 20 000
Isolants thermiques (fibre de verre) épaisseur 10 cm	3	m	100 000 / 20 000	300 000 / 60 000
Joints thermiques	4	m	25 000 / 5 000	100 000 / 20 000
Paumelle GM	2	u	20 000 / 4 000	40 000 / 8 000
Système de fermeture	1	u	12 500 / 2 500	12 500 / 2 500
Contacteur de sécurité	1	u	30 000 / 6 000	30 000 / 6 000
Matériel de quincaillerie (vis, rondelle, etc....)				150 000 / 30 000
Peinture anti-rouille	3	Kg	10 000 / 2 000	30 000 / 6 000
Peinture de finition	4	Kg	15 000 / 3 000	60 000 / 12 000

Tableau n°C.1.1: Evaluation du coût de caisson

Le coût total de caisson est de : 1 517 500 Fmg / 303 500[Ariary]



▪ Ventilation		
Ventilateurs	:	2 000 000 Fmg
Installations électriques	:	<u>1 250 000 Fmg</u>
		3 250 000 Fmg
▪ Appoint électrique :		
Résistances électriques	:	800 000 Fmg
Installations électriques	:	<u>1 250 000 Fmg</u>
		2 050 000 Fmg
▪ Coût du matériel d'exploitation :		
Anémomètre instantané [Testo. 451]	:	2 000 000 Fmg
Dynamomètre de précision 0 à 600g	:	<u>20 000 Fmg</u>
		2 020 000 Fmg
▪ Matériels :		
Soude sac (moyenne modèle)	:	150 000 Fmg
Couteau	:	5 000 Fmg
Plateau	:	<u>7 000 Fmg</u>
		162 000 Fmg
▪ Main d'œuvre :		
Construction métallique	:	1 050 000 Fmg
Peinture	:	180 000 Fmg
Finition	:	<u>120 000 Fmg</u>
		1 350 000 Fmg

Donc l'investissement pour la construction du séchoir est évalué à
10 369 500 Fmg / 2 073 900 Ariary

- Provisions pour les dépenses imprévues
Hausse des prix et divers : 600 000 Fmg / 120 000 Ariary



- a) $I_1 = 10\,969\,500$ Fmg
 $I_2 = 200\,000$ Fmg
 $I_u = 11\,169\,500$ Fmg
 $I_3 = 1\,096\,950$ Fmg
 $I_4 = 800\,000$ Fmg

Le capital fixe CF = 13 066 450 Fmg / 2 613 290 Ariary

b) Nombre d'opération effectuée par an

$$N_{op} = \frac{\text{Nombre de jour ouvrable pendant une année}}{\text{Jour de sec hage + temps l'entretien}}$$

D' où :

$$N_{op} = \frac{288}{0,375 + 1} = 209 \text{ opérations /an}$$

I.2- Frais opératoires

a) Charge variable

➤ Charge initiales :

coût du produit : 18 000 / opération

coût d' emballage : 21 000 Fmg / opération

coût de transport : 14 800 Fmg

coût de panier plastique utilisé pour peser le produit : on a besoin d'un paquet. Qui coûte 500 Fmg / opération

Pour chaque opération, le charge initiale est donc estimé à :

CI = 54 300 Fmg / opération

➤ Utilités = 22 500 Fmg / opération



La charge variable est alors :

$$CV = 76\ 800 \text{ Fmg / opération}$$

b) Main d'oeuvre

$$MO = 39\ 000 \text{ Fmg / opération}$$

Le main d'œuvre est alors : 39 000 Fmg / opération

Ainsi, les frais opératoire valent 115 800 Fmg / opération

I.3- Entretien

Durant une année les frais de maintenances sont estimés à : 4.000.000 Fmg

Ce qui donne pour chaque opération :

$$FM = \frac{4\ 000\ 000}{209} = 19\ 150 \text{ Fmg / opération}$$

I.4- Amortissement

$$A_1 = 1\ 306\ 650 \text{ Fmg}$$

$$A'_1 = 6\ 250 \text{ Fmg}$$

I.5- Coût de l'unité de production

$$C_s = \frac{115\ 800 + 19\ 150 + 6\ 250}{38} = 3\ 700 \text{ Fmg / paquet de 250 g}$$

I.6- Temps de retour de l'investissement

- Capitale amortissable

$$I_5 = \frac{99\ 300}{6} = 16\ 550 \text{ Fmg}$$



- Amortissement annuel constant :

$$A_p = 1\,310\,500 \text{ Fmg}$$

- Bénéfice brute annuel constant :

$$\text{Coût d'exploitation} = 29\,512\,700 \text{ Fmg / an}$$

$$\rightarrow B = 10\,329\,450 \text{ Fmg}$$

$$POT = \frac{13\,085\,750}{(10\,329\,450 \cdot 0,65) + 1\,310\,500} = 1 \text{ an et } 7 \text{ mois}$$

Soit POT = 1 an et 7 mois

I.7- Valeur actuel nette :

- Fonds de roulement :

$$f = 38\,600 \text{ Fmg}$$

- Recettes d'exploitation :

$$V_p = 39\,842\,150 \text{ Fmg}$$

- Coût opératoire :

$$C_p = 30\,823\,200 \text{ Fmg}$$

- Investissement initial à l'année 0 :

$$I_o = 13\,124\,350 \text{ Fmg}$$

- Cash flow de l'année 1 à 4 :

$$(CF)_1 = 7\,172\,800 \text{ Fmg}$$

- Cash flow de l'année 5 :

$$I_r = 6\,533\,250 \text{ Fmg}$$

$$(CF)_5 = 13\,706\,000 \text{ Fmg}$$



→ V.A.N = 14 589 400 Fmg

I.8- Taux de rentabilité interne :

Pour $i_r = 14\%$; V.A.N = 14 589 400 Fmg

Pour $i_r = 40\%$; V.A.N = 2 346 600 Fmg

Pour $i_r = 48\%$; V.A.N = 302 000 Fmg

Pour $i_r = 50\%$; V.A.N = -138 050 Fmg

$$\text{Alors } TRI = 48 - \left[\frac{(48 - 50) \cdot 302\,000}{302\,000 - (-138\,050)} \right]$$



$$TRI (i_r) = 49,3\%$$

Le tableau ci-dessous montre la comparaison entre l'étuve coûtant 14 000 000 Fmg et l'étuve a fabriqué à Madagascar.

	Pour l'étuve à 14 000 000 Fmg		Pour l'étuve fabriqué à Madagascar	
	ananas	mangue	ananas	mangue
I_1 [Fmg]	16 202 000		10 969 500	
I_2 [Fmg]	200 000			
I_u [Fmg]	16 402 000		11 169 500	
I_3 [Fmg]	1 620 200		1 096 950	



I ₄ [Fmg]	800 000			
CF [Fmg]	18 022 200		13 066 450	
CI [Fmg/opération]	45 000	42 000	45 000	42 000
U [Fmg/opération]	15 000	16 600	15 000	16 600
CV [Fmg/opération]	60 000	58 600	60 000	58 600
MO [Fmg/opération]	30 000	28 000	30 000	28 000
FO [Fmg/opération]	90 000	86 600	90 000	86 600
FM [Fmg/an]	4 000 000			
A ₁ [Fmg]	1 802 200		1 306 650	
A ₁ [Fmg/opération]	9 150		6 350	
C _s [Fmg/paquet]	4 500	3 300	4 425	3 250
I ₅ [Fmg]	15 000	14 450	15 000	14 450
I [Fmg]	19 068 200	19 067 650	13 312 450	13 311 900
A _p [Fmg]	1 908 320	1 908 210	1 332 745	1 332 635
CE [Fmg/an]	24 718 320	24 007 610	24 142 745	23 432 035
B [Fmg]	8 651 412	8 402 700	8 449 960	8 201 200
POT	2ans et 6mois	2ans et 7mois	1an et 11mois	2 ans



f [Fmg]	30 000	28 900	30 000	28 900
V _p [Fmg]	33 369 732	32 410 310	32 592 705	31 633 235
C _p [Fmg]	26 626 640	25 915 220	25 475 490	24 764 670
I ₀ [Fmg]	19 098 200	19 096 550	13 342 450	13 340 800
(CF) ₁ [Fmg]	6 291 350	6 129 600	5 958 950	5 797 200
I _r [Fmg]	9 526 600	9 526 600	6 648 725	6 648 725
(CF) ₅ [Fmg]	15 847 950	15 685 100	12 637 675	12 474 825
i _r = 14% ; VAN	7 445 000	6 909 600	10 568 800	10 035 450
TRI (i _r)	27,2%	25,6%	40,3%	38,9%

Tableau n°C.1.2 : Comparaison entre l'étuve utilisée pendant l'expérimentation et l'étuve fabriquée a Madagascar



LISTE DES FIGURES

	Pages
<i>Figure 1.1</i> : Représentation de l'activité de l'eau.....	3
<i>Figure 2.1</i> : Représentation du séchoir.....	8
<i>Figure 2.2</i> : Fonctionnement du séchoir.....	15
<i>Figure 2.3</i> : L'appareil de mesure (anémomètre testo 451).....	16
<i>Figure 3.1</i> : schéma de la teneur en eau dans un produit	20
<i>Figure 3.2</i> : Réseau de courbe d'équilibre	21
<i>Figure 4.1</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de banane 1 ^{ère} expérience).....	32
<i>Figure 4.2</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de banane 2 ^{ème} expérience).....	32
<i>Figure 4.3</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas d'ananas).....	33
<i>Figure 4.4</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de mangue à $T = 65^\circ\text{C}$)	34
<i>Figure 4.5</i> : Valeur de H_r en fonction de M_a (cas de mangue à $T = 40^\circ\text{C}$).....	34
<i>Figure 4.6</i> : Organigramme de calcul des constantes dépendantes du produit n et k.....	36
<i>Figure 4.7</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (banane)	40
<i>Figure 4.8</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (ananas).....	41
<i>Figure 4.9</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (mangue à $T = 65^\circ\text{C}$)	42
<i>Figure 4.10</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt en fonction de temps t (mangue à $T = 40^\circ\text{C}$).....	43
<i>Figure 4.11</i> : Masse d'eau évaporée en fonction de la température.....	46



LISTE DES TABLEAUX

	Pages
<i>Tableau 2.1</i> : Caractéristiques du moteur du ventilateur.....	13
<i>Tableau 4.1</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas de banane 1 ^{ère} expérience).....	26
<i>Tableau 4.2</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas de banane 2 ^{ème} expérience).....	28
<i>Tableau 4.3</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas d'ananas).....	29
<i>Tableau 4.4</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas de mangue à T = 65°C)	30
<i>Tableau 4.5</i> : Les différents paramètres mesurés lors de l'expérience et la valeur de Ma (cas de mangue à T = 40°C)	31
<i>Tableau 4.6</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (banane).....	40
<i>Tableau 4.7</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (ananas).....	41
<i>Tableau 4.8</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (mangue à T = 65°C).....	42
<i>Tableau 4.9</i> : Variation du flux d'eau évaporée dM/dt et le temps t (mangue à T = 40°C).....	43
<i>Tableau 4.10</i> : Calcul de la masse d'eau évaporée par unité de temps à partir de L _v et Q _{air}	45
<i>Tableau 5.1</i> : Coût du matériels d'investissement.....	49
<i>Tableau 5.2</i> : Evaluation du coût de main d'œuvre.....	53
<i>Tableau C.1.1</i> : Evaluation du coût de caisson.....	C1
<i>Tableau C.1.2</i> : Comparaison entre l'étuve utilisée pendant l'expérimentation et l'étuve fabriqué a Madagascar.....	C6-C8



TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS

NOMENCLATURE

INTRODUCTION

CHAPITRE I : RAPPEL SUR LE SECHAGE

I.1- Généralités sur le séchage.....	2
I.2- Caractérisation d'un produit de séchage.....	3
I.3- L'humidité des solides.....	4
I.3.1- Définitions.....	4
I.3.2- Types de liaison de l'eau.....	4
I.4- Quantification de l'eau.....	4
I.4.1- La quantité de l'eau dans un matériau de séchage.....	4
I.4.2- L'hygroscopicité.....	5
I.4.3- Vitesse de séchage.....	6

CHAPITRE II : DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DU SECHOIR

II.1- Description des éléments.....	12
II.1.1- La cellule de séchage.....	12
II.1.2- Les éléments de chauffage.....	12
II.1.3- Le ventilateur.....	13
II.1.4- L'armoire électrique.....	14
II.2- Principe de fonctionnement.....	14
II.3- Les appareils de mesures.....	15
II.3.1- Le Testo 451.....	16
II.3.2- Dynamomètre.....	18



CHAPITRE III : EXPRESSIONS RELATIVES AUX EXPERIMENTATIONS

III.1- Expressions des isothermes de désorption.....	19
III.1.1- Définition.....	19
III.1.2- Grandeurs physiques.....	19
III.1.3- Réseaux des courbes d'équilibre.....	21
III.1.4- Modèles numériques des courbe d'équilibre.....	21
III.2- Vitesse de séchage.....	23

CHAPITRE IV : L'EXPERIMENTATION

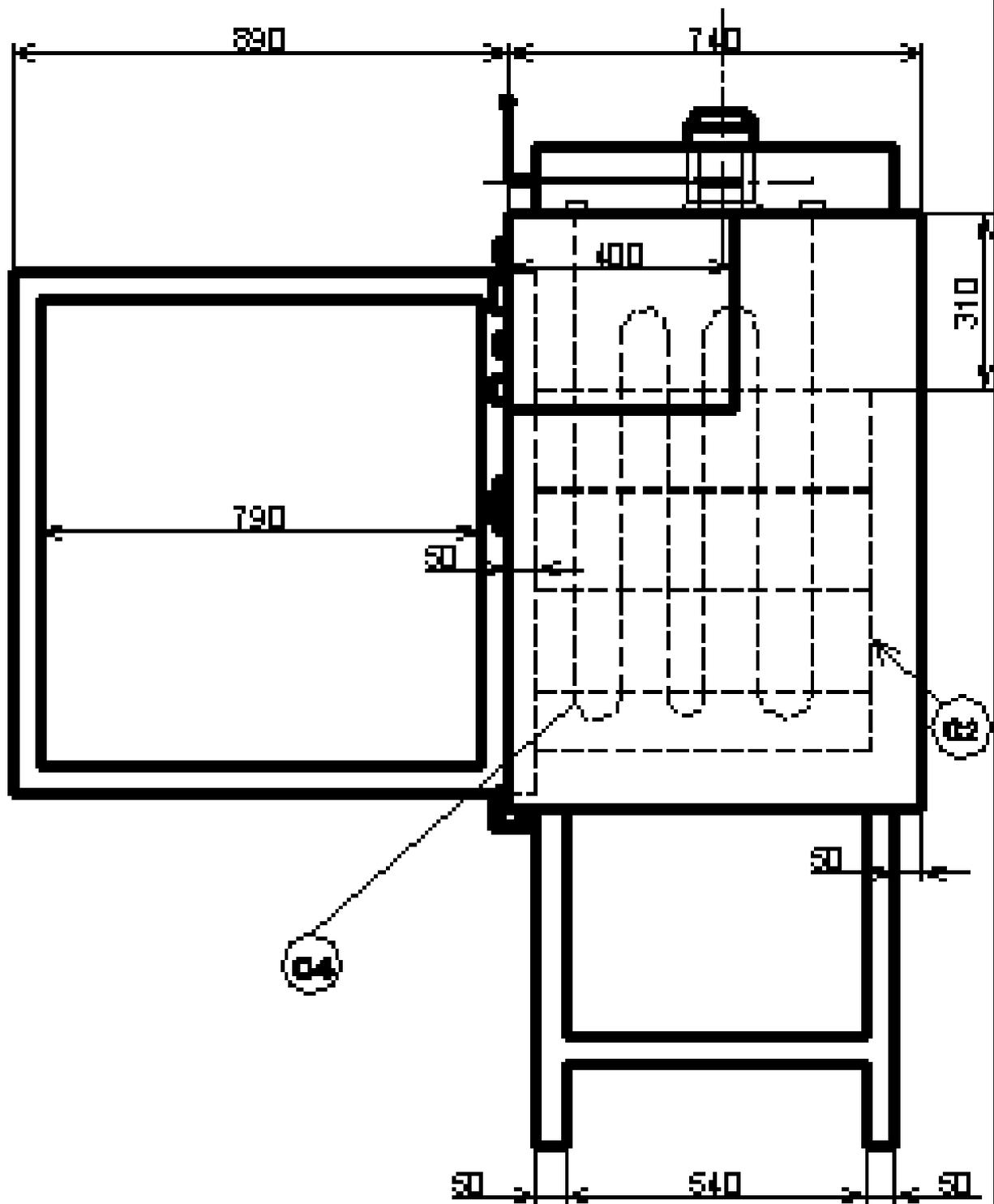
IV.1- Procédures expérimentales.....	24
IV.1.1- Etapes à suivre.....	24
IV.1.2- Mesure des paramètres	25
IV.2- Expérimentation.....	26
IV.2.1- Cas de la banane.....	26
IV.2.1- Cas de l'ananas.....	29
IV.2.1- Cas de la mangue.....	30
IV.3- Analyse des résultats.....	31
IV.3.1- Courbe d'équilibre	32
IV.3.2- Détermination des constantes dépendant du produit n et k (lissage de courbe).....	35
IV.3.3- Courbe de variation de flux de masse.....	39
IV.3.4- Masse d'eau évaporée par unité de temps.....	44



CHAPITRE V : CALCUL ECONOMIQUE – IMPACTS ENVIRONNEMENTX

V1-Calcul économique	48
V.1.1- Les éléments d'investissements	49
V.1.2- Les frais opératoires	51
V.1.3- Les frais de maintenances	53
V.1.4- L'amortissement	54
V.2- Détermination du coût de séchage	54
V.3- Etude de la rentabilité du projet	54
V.3.1- Le temps de retour ou POT	54
V.3.2- Le bénéfice actualisé ou VAN	57
V.3.3- Le taux de rentabilité interne ou TRI	59
V.4- Impacts environnementaux	60
CONCLUSION	62
BIBLIOGRAPHIE	63
ANNEXES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	

Vue de droite



SECHOIR

E.S.P.A

Ech 1:10



PL-02

C4		Resistance électrique		
C3		Caisson	INOX	15/10
C2		Tôle perforée	INOX	15/10
C1		Pied en tube carré		50 x 50
11	1	Contacteur de sécurité		
10	2	Bouton contacteur marche - arrêt (chauffage - ventilation)		
9	2	Voyant GN on/off (chauffage - ventilation)		
8	1	Afficheur électronique		
7	1	Voyant WH on/off		
6	1	Armoire électrique		
5		Capot de protection	TPG	15/10
4	1	Moteur électrique triphasé		LS 71
3	1	Volet d'air (D= 40, h= 150)	TPG	15/10
2	1	Portière	INOX	15/10
1	3	Claie	INOX	15/10

Rq	Nb	Désignation	Matère	Obs
SECHOIR			E.S.P.A	
			Ech1:10	PL- 03

**Titre : ETABLISSEMENT SUR ETUVE DES PROPRIETES
PHYSIQUES NECESSAIRES AU SECHAGE DE
DIVERS FRUITS DE MADAGASCAR EN VUE
DE LA CONSOMMATION DE FRUITS SECHES**

Auteur : ANDRIATSILAVO Daniel Germain

Adresse : Lot 1585 Cité de 67Ha Nord Est
-101- ANTANANARIVO

Nombre de pages : 63

Nombre de figures : 17

Nombre de tableaux : 15

Résumé :

L'objet de ce travail est d'étudier le séchage de fruit en utilisant un séchoir électrique par chauffage et ventilation.

D'abord nous avons pris comme fruits étudiés, la mangue, la banane et l'ananas. Les relevés des différents paramètres au cours de l'expérimentation ont permis de déterminer la vitesse de séchage pour chaque cas.

Ensuite, nous avons établi un programme informatique, utilisant le langage MATLAB 5.3, qui permet de simuler le lissage de courbe obtenue expérimentalement et théoriquement en utilisant le modèle d'HENDERSON pour les calculs de constantes dépendant du produit n et k .

Connaissant ces deux constantes, on peut déterminer les expressions des isothermes de désorption.

En fin, nous avons terminé l'étude par un calcul économique pour mettre en évidence la rentabilité du projet.

Summary :

The object of this work is to study the drying of fruit while using an electric drier by heating and ventilation.

First we took like fruits study, the mango, the banana and the pineapple. The summaries of the different parameters during the experimentation permitted to determine the speed of drying for every case.

Then, we established a computer program, using the language MATLAB 5.3, that permits to simulate the smoothing of curve gotten experimentally and theoretically while using the model of HENDERSON for the calculations of constants depending on the product (n and k).

Knowing these two constants, one can determine the expressions of the isotherms of desorption.

In end, we finished the survey by an economic calculation to put in evidence the profitability of the project.

Mots clés : Séchage, Séchoir, Air asséchant, Humidité, Fruit, Isothermes de désorption, Vitesse de séchage.