

# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1998

Présenté par :

BIGNANG Kiziouvèi

## Séchage par déshumidification utilisant une P.A.C. Application au séchage de la mangue

MENTION :

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée le _____ s/N <sup>o</sup> 330/98

Encadrement

Y. COULIBALY  
P. GUISSOU

## SOMMAIRE

REMERCIEMENT.....	1
PREAMBULE.....	2
RESUME.....	4
INTRODUCTION.....	5
A. GENERALITE.....	6
I. BUT DU SECHAGE.....	6
II. LES DIFFERENTES TECHNIQUES DE SECHAGE.....	7
A.II.1. Les différents modes de séchage.....	7
A.II.2. Aperçu sur Les grands systèmes de séchage.....	7
III. L'EAU DANS LES PRODUITS.....	8
A.III.1. La disponibilité de l'eau dans le produit.....	8
A.III.2. Evolution de la qualité du produit.....	10
A.III.3. Les conditions de stockage.....	10
IV. MECANISME DE SECHAGE.....	11
A.IV.1. Quelques définitions.....	11
A.IV.2. Mécanisme.....	11
A.IV.3. Les différentes phases du séchage.....	12
A.IV.4. Les échanges air/produit.....	12
V. QUELQUES CONTRAINTES À PRENDRE EN COMPTE PENDANT LE SECHAGE.....	13
A.V.1. Les données relatives à la nature du produit et de son comportement au séchage.....	13
A.V.2. Les données relatives à la production agricole.....	13
A.V.3. Les informations relatives au contexte économique et sociale.....	13
VI. LA PRATIQUE DU SECHAGE.....	14
A.VI.1. Préparation des produits avant le séchage.....	14
A.VI.2. contrôle du séchage.....	14
B. SECHAGE PAR DESHUMIDIFICATION.....	17
I. OBJECTIFS DE LA DESHUMIDIFICATION DE L'AIR.....	17
II. PRINCIPE DE LA DESHUMIDIFICATION DE L'AIR.....	17
III. DESCRIPTION DU PROCESSUS.....	18
IV. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	19
B.IV.1. le dispositif de déshumidification et de chauffage.....	19
B.IV.2. fonctionnement du dispositif de climatisation.....	20
B.IV.3. l'enceinte de séchage.....	20
B.IV.4. fonctionnement du séchoir.....	21

V. LA MANGUE.....	22
B.V.1. présentation .....	22
B.V.2. composition biologique .....	22
B.V.3. fiche technique .....	23
C. EXPERIMENTATION.....	24
I. MODIFICATIONS APORTEES SUR LE SECHOIR.....	24
II. LES ESSAIS DE MESURES .....	24
C.II.1. Essai N°1 .....	24
C.II.2. essai N° 2.....	28
C.II.3. essai n°3.....	30
C.II.4. essai n°4.....	32
III. INTERPRETATION DES RESULTATS .....	34
C.III.1. QUELQUES COEFFICIENTS:.....	34
C.III.2. Interprétation des résultats.....	36
C.III.3. Synthèse des résultats .....	45
D. ANALYSE COMPARATIVE AVEC LE SECHOIR A GAZ .....	46
I. DESCRIPTION GENERALE DU SECHOIR A GAZ.....	46
D.I.1. caracteristiques du séchoir .....	46
D.I.2. Principe de séchage à gaz.....	47
II. ANALYSE ECONOMIQUE .....	47
D.II.1. le coût d'investissement .....	47
D.II.2. les charges d'exploitation.....	48
III. CONCLUSION PARTIELLE .....	51
E. SUGGESTIONS ET RECOMMANDATIONS .....	52
CONCLUSION .....	54
F. ANNEXES .....	55
BIBLIOGRAPHIE .....	56



A ma Mère qui est tout pour moi,

A mes frères et soeurs pour leur soutien morale et matériel et pour  
l'entente qu'ils ont su maintenir dans la famille depuis toujours,

A mes Amis qui ont été un grand soutien moral par leur conseils  
dans les moments les plus difficiles de la vie

A mon Oncle et Frères Mr Tchandana et sa Femme,

Qu'ils trouvent à travers ce travail une consolation pour tout ce qu'ils ont  
fait pour moi, et pour cette absence de trois années qu'ils ont eu à supporter.

**REMERCIEMENT**

*Je remercie très sincèrement tous ceux qui de près ou de loin ont facilité le bon déroulement de cette étude, en particulier:*

*Monsieur Yézouma Coulybaly professeur à l'E.I.E.R mon encadreur interne, pour sa disponibilité permanente et pour les multiples conseils qu'il m'a prodigués,*

*Monsieur Pierre GUSSOU, mon encadreur du CEAS-AJESJA, qui a toujours été présent à mes côtés durant ce moment de stage pour ses conseils et remarques constructives, Monsieur Charles qui a été avec moi pendant tout le long des travaux et à tout le personnel du CEAS-AJESJA*

*A tout le personnel enseignant de l'E.I.E.R je dis merci pour sa disponibilité et les sacrifices qu'ils ont consentis durant ces trois années de formations qui s'est bien déroulée dans de bonnes conditions.*

*Enfin mes remerciements vont à tous les camarades élèves pour le soutien qu'ils m'ont apporté et particulièrement à tous les élèves de la 27<sup>ème</sup> promotion.*

## PREAMBULE

L'E.I.E.R. (Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'équipement rural) est une école regroupant 14 pays africains. Elle forme des ingénieurs en Equipement rural et périurbain en trois années, après une formation universitaire de niveau BAC +2 en mathématiques ou en physiques. La formation se termine en troisième année par un mémoire de fin d'étude. Elle entretient des relations avec des structures socio-économiques de la place ou de la sous-région. C'est dans le cadre de ces relations que la RB-C.E.A.S. a proposé une étude d'un système de séchage afin d'apprécier les performances et la rentabilité de ce système.

### Présentation du CEAS

Le C.E.A.S.(Centre Ecologique Albert Schweitzer) est une organisation non gouvernementale de conseil et d'appuis technique, d'échanges et de transfert de compétences. Créé en 1980 à Neuchâtel en Suisse, il a le statut juridique d'une fondation. Son siège est à Neuchâtel.

Ses objectifs à long terme sont:

- lutter contre la désertification en encourageant la sauvegarde et la restauration du couvert végétal et des sol dans le monde,
- promouvoir un développement de l'être humain en harmonie avec son environnement.

C'est une ONG de coopération technique qui travaille avec des partenaires africains et malgaches (paysans, artisans et entrepreneurs) dans différents domaines d'activités dont les énergies renouvelables, la fabrication locale d'équipements à usage villageois et agricole, l'agro-écologie et l'agro-transformation. Il intervient à quatre niveaux: recherche, formation, suivi et mise à disposition d'une documentation technique.

Le CEAS a deux représentations en Afrique: la représentation burkinabé (R.B.CEAS) et la représentation malgache (R.M.CEAS)

#### • La représentation burkinabé du CEAS

Elle assure El relais du CEAS pour le Sahel. Elle comporte :

- ◆ 3 services d'appui technique (SATEP, SATA, SAPE)
- ◆ 1 service d'appui documentaire
- ◆ 1 représentant coordinateur et 15 collaborateurs permanents

Elle dispose des infrastructures administratives et techniques pour la recherche, la mise au point et la formation. Elle possède un atelier d'énergie solaire et de

technologie appropriée (ATESTA), une unité expérimentale pour les stages à Ouagadougou et un jardin d'essai à Goumtoaga.

Les domaines d'activité sont l'énergie solaire, le séchage et le reboisement. Le transfert de technologie appropriée qui est l'un des objectifs se réalise à travers des formations techniques spécifiques dans la fabrication de chauffe-eau solaire, des pompes manuels et la fabrication de séchoir solaire à gaz. Elle met au point et expérimente des prototypes destinés à satisfaire les besoins de la clientèle. C'est dans cet objectif que le séchoir qui fait l'objet de cette étude a été mis au point.

Les 3 services d'appui sont:

- ◆ SATA: service d'appui technique aux artisans. Il s'occupe de la recherche de nouveaux produits, du développement des techniques, la formation, le suivi et conseils.
- ◆ SATEP: service d'appuis techniques et écologique aux paysans. Il s'occupe de la recherche, la formation et la vulgarisation.
- ◆ SAPE: service d'appui aux P.M.E., spécialisé dans le séchage des fruits. L'unité expérimentale permet la mise au point, le suivi de la technique et les essais de commercialisation.

Dans le cadre de ses activités, la SATA a mis au point un nouveau type de séchoir utilisant une pompe à chaleur permettant une déshumidification puis le réchauffement de cet air pour sécher les produits en particulier la mangue.

**RESUME**

Le séchage par déshumidification est un système utilisant une pompe à chaleur (split) pour chauffer l'air. L'air est préalablement déshumidifié dans l'évaporateur d'un split puis soufflé sur le condenseur pour être chauffé. Les températures atteintes à l'entrée du séchoir sont de l'ordre de 52°C avec une humidité relative de l'ordre de 9%. La température et l'humidité de l'air à la sortie du condenseur (entrée du séchoir) varient peu avec les conditions atmosphériques.

La capacité du séchoir est de 100 kg de tranches de mangues fraîches par cycles pour deux compartiments de dix claies chacun. La durée de séchage est de 23 heures par cycle en moyenne. Le rapport de séchage le rapport de séchage atteint est d'environ 5.8 avec une bonne homogénéité.

La consommation moyenne en électricité est de 3.2kWh par heure, soit une consommation énergétique moyenne de 4.5 kWh/kg de mangues séchées.

Du fait des investissements élevés et surtout du coût élevé de l'électricité au Burkina Faso le prix de revient de kg de mangue séchées et vendues en Europe est de 2153.8F environ contre 1802.4 pour celui du séchage à gaz. Le kg de mangues séchées juste après séchage revient à 1826.9F pour le séchoir par déshumidificateur contre 1467.2F pour celui à gaz.

Ce système de séchage peut être intéressant dans les pays humides et surtout à faible coût d'électricité.

## INTRODUCTION

Le séchage depuis longtemps est pratiqué pour la conservation des aliments. Au Burkina Faso, cette activité connaît un développement remarquable. Les méthodes traditionnelles de séchage sont de plus en plus abandonnées au profit des techniques garantissant une bonne qualité des produits séchés. L'énergie généralement utilisée est l'énergie solaire qui se révèle insuffisant pendant la saison des pluies, période des récoltes. Il s'ensuit donc des pertes de récolte. Le séchage des mangues est de plus en plus florissant. Les mangues mûrissent entre Avril et Juin-Juillet, pendant la saison pluvieuse et on enregistre des pertes énormes de récoltes.

La représentation Burkinabé du CEAS (Centre Ecologique Albert Schweitzer), dans sa politique de développement des technologies appropriées met sur pied des prototypes de séchoir de grande capacité utilisant d'autres sources d'énergies telles que le gaz et l'électricité afin de satisfaire la clientèle de plus en plus nombreuse. Un modèle de séchoir à gaz est déjà fonctionnel et largement diffusé au Burkina Faso et dans la sous région. C'est dans cette optique que le CEAS-ATESTA a mis en oeuvre un modèle de séchoir utilisant un système de pompe à chaleur électrique pour le chauffage de l'air et appelé "séchoir par déshumidification".

La présente étude "Séchage par déshumidification utilisant une P.A.C. Application au séchage de la mangue" vise à déterminer les performances de ces modèles à travers des essais de séchage de mangues et à analyser leur rentabilité par rapport au séchoir à gaz, du fait du coût élevé de l'électricité au Burkina Faso. Après un aperçu sur le séchage, nous présenterons le système séchage par déshumidification. La présentation des résultats des essais et une analyse économique viendront achever notre étude.

## A. GENERALITE

Le séchage est l'opération qui consiste à extraire l'eau d'un produit jusqu'à le porter à un état juger suffisamment sec pour qu'il puisse être conservé sans risque de détérioration pendant un temps déterminé.

Depuis longtemps, le séchage se pratique surtout en zone rurales pour sécher les produits agricoles avec les techniques traditionnelles à savoir le séchage solaire direct (exposition des produits directement au soleil); par la suite, les techniques ont évolué. Des recherches s'effectuent en vue d'améliorer l'efficacité du séchage et la qualité du produit séché.

Actuellement, on pratique le séchage dans plusieurs domaines avec des techniques très variées, allant du séchage traditionnel au séchage industriel (industries alimentaires, papier et plâtre, briques...). Les sources d'énergie mise en jeu sont essentiellement, le soleil, le gaz, la biomasse et le fuel l'électricité. L'agent de séchage est l'air.

### I. BUT DU SECHAGE

Le séchage en général a pour but principal de réduire la teneur en eau d'un produit de façon à pouvoir le conserver pour un usage futur sans qu'il soit nécessaire de le réfrigérer. Les produits séchés peuvent être stockés pendant une longue période.

Le séchage permet donc de réduire, voire supprimer les pertes de récoltes par dégradation et ainsi, d'atteindre une autonomie dans le temps pour les produits saisonniers comme la mangue.

Les objectifs visés à travers le séchage sont:

- \* faire des réserves afin de vendre ou de consommer lorsqu'il y aura pénurie des produits frais, donc d'étaler la consommation du produit;
- \* transformer des produits invendus;
- \* transporter et commercialiser plus facilement.

Cependant cette opération s'accompagne toujours des modifications de goût, d'aspect, de pertes de qualité nutritionnelle du produit ou d'hygiène. Des recherches sont menées pour améliorer la qualité du séchage.

Un bon séchage doit conserver une bonne partie des qualités du produit et lui conférer une bonne qualité hygiénique. Plusieurs techniques de séchage sont utilisées.

## II. LES DIFFERENTES TECHNIQUES DE SECHAGE

Les techniques de séchage se distinguent soit par les différentes transformations subies par l'air, agent de séchage, avant d'atteindre le produit à sécher, soit par les sources d'énergie utilisées pour le séchage.

### A.II.1. LES DIFFERENTS MODES DE SECHAGE

Les principales sources d'énergie utilisées dans le séchage sont: le fuel, le gaz, le soleil, l'électricité, la biomasse. Selon la source d'énergie mise en jeu et la technique utilisée pour le séchage, on distingue plusieurs types de séchoirs:

- le séchoir solaire direct
- le séchoir solaire indirect
- les séchoirs à gaz
- les séchoirs électriques
- les séchoirs à fuel

Selon la nature de transfert d'énergie, on distingue: le séchage par rayonnement et le séchage par convection c'est le cas de la plus part des séchoirs solaires (coquillage, tente, case...). Si la circulation de l'air est naturelle, la convection est dite naturelle; dans le cas contraire, elle est dite forcée.

L'air peut subir soit un simple chauffage, soit une déshumidification préalable, comme c'est le cas ici, avant d'être chauffé. La technique dépend des objectifs visés et les rendements attendus, de la qualité des produits séchés et de la disponibilité de l'énergie. Dans le cas présent c'est l'énergie électrique qui est utilisée pour le chauffage et la déshumidification de l'air à travers une pompe à chaleur.

### A.II.2. APERÇU SUR LES GRANDS SYSTEMES DE SECHAGE

On distingue quatre grands systèmes de séchage: le séchage solaire à convection naturelle, le séchage solaire à convection forcée, le séchage à combustible fossile et le séchage hybride solaire/autre énergie. En plus de ces systèmes, il existe d'autres modes de séchage moins répandus, dont le séchoir par déshumidification préalable de l'air que nous étudions.

#### a) Les séchoirs solaires

Il existe plusieurs types de séchoirs solaires allant des séchoirs solaires directs aux séchoirs solaires indirects :

##### - les séchoirs solaires directs :

Dans ces séchoirs, le produit est exposé aux rayons solaires. Dans ce groupe, on classe les séchoirs traditionnels, les séchoirs solaires traditionnels améliorés, les séchoirs coquillage. La circulation de l'air se fait de façon naturelle (convection naturelle).

### - Les séchoirs solaires indirects :

Dans ce genre de séchoirs le produit n'est pas exposé aux rayons solaires. Le séchoir comporte deux parties, la partie de captation où l'air est réchauffé et l'enceinte de séchage où les produits à sécher sont rangés. La circulation de l'air peut être naturelle ou forcée par utilisation de ventilateurs .

Dans ce groupe, on peut citer les séchoirs hybrides à convection naturelle

#### b) Les séchoirs à gaz ou autre combustible

Dans ces séchoirs, l'air est réchauffé uniquement par un combustible, en général le gaz. Exemple de séchoir à gaz : séchoir type armoire CEAS

#### c) Séchoirs hybride solaire/autre énergie

Dans ce cas, une autre source d'énergie est utilisée en appoint pour palier aux variations de l'ensoleillement (périodes nocturnes, météorologie défavorable) Exemple de séchoir hybride : séchoir solaire/gaz CEAS ATESTA.

## III. L'EAU DANS LES PRODUITS

Dans toute denrée périssable, l'eau est le vecteur le plus prépondérant; c'est elle qui est à l'origine du développement des micro-organismes et favorise l'action des mécanismes de destruction.

### A.III.1. LA DISPONIBILITE DE L'EAU DANS LE PRODUIT.

La disponibilité de cette eau dans un produit n'est pas partout la même; elle dépend aussi de la nature du produit. Pour un même produit cette disponibilité dépend de la maturité et fortement de la teneur en eau de ce produit (un fruit mûr n'a pas le même comportement qu'un fruit vert); le comportement du produit est également fonction de la composition biologique du produit.

L'eau dans un produit se présente sous 4 types:

- \* Le 1<sup>er</sup> type constitué d'une couche monomoléculaire d'eau liée à certains groupements moléculaires de la matière organique (eau fortement liée)
- \* Le 2<sup>ème</sup> type est constitué de l'eau pseudo-liquide représentant une couche polymoléculaire qui se fixe sur la couche précédente.

Les deux 1<sup>ères</sup> sont retenues par des forces de VAN DER WAALS et constituent l'eau liée.

- \* Le 3<sup>ème</sup> type constitue de l'eau liquide sous pression osmotique. Elle est solvate et faiblement adsorbée. Elle favorise les réactions enzymatiques et le développement des moisissures. Cette eau est facile à évaporer lors du séchage.

\* Le 4<sup>ème</sup> type est de l'eau libre constituée par de l'eau d'imprégnation retenue par les parois cellulaires. Elle s'évacue aisément lors du séchage.

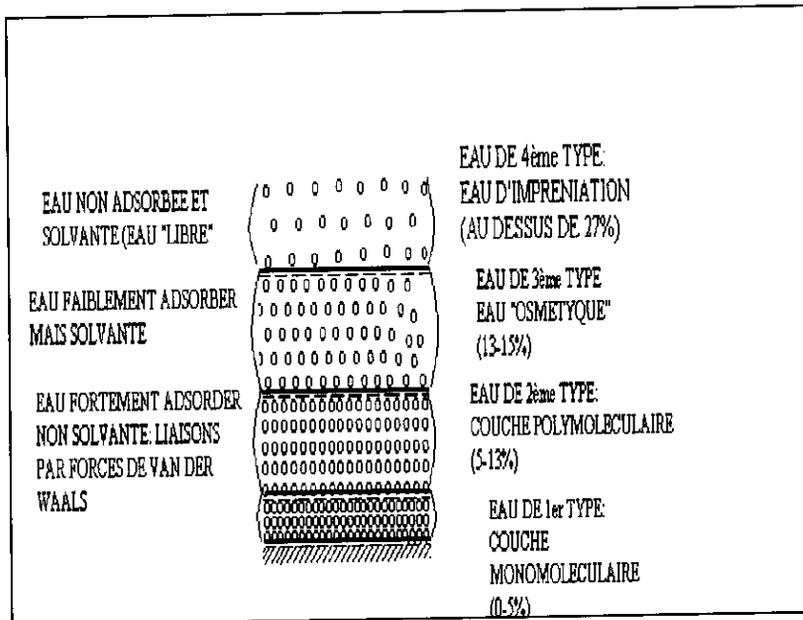


Figure 1-a : Types d'eau dans le maïs à 15°C (d'après Rodriguez)

On peut regrouper en deux types l'eau éliminée lors du séchage:

- L'eau liée du 2<sup>ème</sup> et du 3<sup>ème</sup> types, plus difficile à extraire.
- L'eau libre ne présentant pas de liaisons chimiques (eau du 4<sup>ème</sup> type).

Pour quantifier cette disponibilité de l'eau dans le produit on utilise une grandeur physique appelé *activité de l'eau* et définie par:

$$a_w = \frac{p_p}{p_s} \text{ où :}$$

- $p_p$  est la pression de vapeur d'eau dans le produit
- $p_s$  est la pression de vapeur de l'eau

La valeur de  $a_w$  est toujours comprise entre 0 et 1.

- Plus,  $a_w$  est voisin de 1, plus l'eau est plus disponible dans le produit: l'eau libre est dominante (cas des fruits très hydratés)
- Plus,  $a_w$  est faible devant 1, moins l'eau est disponible dans le produit: l'eau dominante est sous forme liée; l'évaporation se fait alors beaucoup plus difficilement et demande plus d'énergie.

Ainsi pour une quantité d'énergie fournie, la quantité d'eau à évaporer diminue dans le temps pendant le séchage, l'eau disponible devenant de plus en plus rare. En conséquence, la vitesse de séchage décroît. On définit la vitesse de séchage par le rapport

$$\frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{X_1 - X_2}{t_2 - t_1}$$

où  $X_1$  et  $X_2$  désignent respectivement la teneur en eau du produit aux instants  $t_1$  et  $t_2$

La vitesse tend vers zéro à la fin de séchage et le produit ne sèche pratiquement plus. On dit qu'on a atteint l'équilibre. A l'équilibre, on a l'égalité entre l'humidité relative de l'air et l'activité du produit. Cette valeur de l'humidité est appelée humidité relative d'équilibre; on la désigne par  $\varphi$ . L'activité dépend principalement de la teneur en eau du produit; pour une température donnée, la courbe  $X=f(\varphi)$  définit la courbe de sorption.

### A.III.2. EVOLUTION DE LA QUALITE DU PRODUIT

L'activité de l'eau est à l'origine de la conservation des qualités du produit. Des études ont été menées afin de déterminer l'influence de l'activité sur conservation de la qualité des produits séchés. Parmi les nombreuses publications qui ont été faites dans ce domaine, nous n'évoquons ici que celle de LONCIN 1976 et de KAREL 1977; selon eux:

La plupart des enzymes sont inactivés pour  $a_w \leq 0.8$

Les micro-organismes et les moisissures ne sont actifs que pour  $a_w \geq 0.65$

Les réactions de MAILLARD (brunissement non enzymatique des sucres en présence des groupements aminés) présente un maximum pour  $0.6 \leq a_w \leq 0.7$ . La figure suivante indique les vitesses relatives de détérioration des aliments en fonction de l'activité  $a_w$ .

Les conditions les plus propices au développement des micro-organismes se situent aux fortes activités de l'eau du produit (au tour de 0.8) et dans la gamme de température comprise entre 20°C et 50°C. (Voir fig. Page suivante)

D'une façon générale, on admet que la fourchette de conservation des aliments est de 0.25 à 0.35. (voir courbes page suivante)

### A.III.3. LES CONDITIONS DE STOCKAGE

La teneur en eau minimale à atteindre pour le produit en fin de séchage dépend de la nature du produit et surtout des conditions de stockage. Pour une température de stockage (température ambiante), on considère que l'humidité relative de l'air ne doit pas excéder 65%, limite pour le développement des micro-organismes, moisissures, levures. Ainsi, la teneur en eau du produit en fin de séchage doit permettre la conservation à une humidité relative inférieure à 65%. Les fiches techniques de séchage des produits indiquent que la teneur en eau finale du produit doit être de 20 à 50% selon le type de produit et la température.

Vitesses relatives de  
détérioration des aliments.

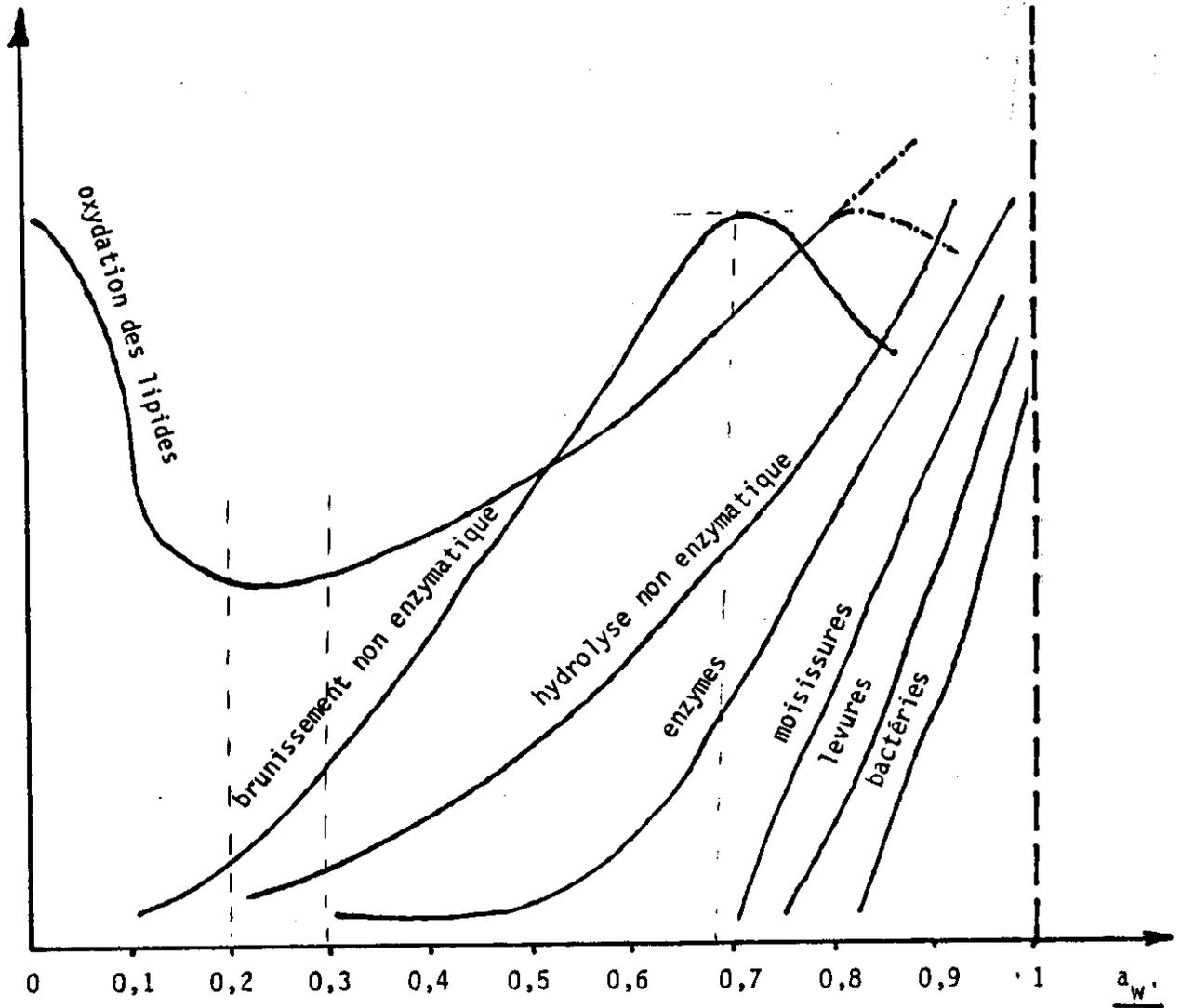


Figure 4 : vitesses relatives de détérioration des aliments

## IV. MECANISME DE SECHAGE

### A.IV.1. QUELQUES DEFINITIONS

- Pour l'air, on définit:

- **la teneur en eau** de l'air ou l'humidité absolue  $x$ : c'est la masse de vapeur d'eau contenue dans l'air par kg d'air sec

$$x = \frac{m_v}{m_{as}} \text{ où } m_v \text{ est la masse de vapeur d'eau en kg et } m_{as} \text{ la masse}$$

d'air sec contenue dans cet air.

- **l'humidité relative HR** : c'est le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau à la pression de vapeur saturante.

$$HR = \frac{p_v}{p_s} \times 100$$

- **la température humide Th**: c'est la température d'équilibre d'une masse d'eau s'évaporant dans l'air, la chaleur étant prélevée uniquement sur cet air.

- **la température sèche T**: c'est la température donnée par un thermomètre à bulbe sec.

- Pour le produit, on définit aussi **la teneur en eau X** par le rapport de la masse  $m_e$  d'eau contenue dans le produit par la masse  $m_s$  de la matière sèche contenue dans le produit:

$$X = \frac{m_e}{m_s}$$

- **Température de rosée ou point de rosée**: si on refroidit de l'air humide, en prenant soin de ne pas lui enlever ni lui ajouter de la vapeur d'eau, on constate qu'il finit par se saturer (HR=100%). La température à laquelle se produit la saturation est appelée température de rosée et le point correspondant sur un diagramme de l'air humide est le point de rosée.

### A.IV.2. MECANISME

Pour sécher un produit il suffit de le ventiler avec un air suffisamment chaud et sec. Un échange de chaleur et d'humidité se produit entre cet air et le

produit à sécher. L'air se charge de vapeur d'eau en se refroidissant alors que le produit perd de l'eau et se réchauffe.

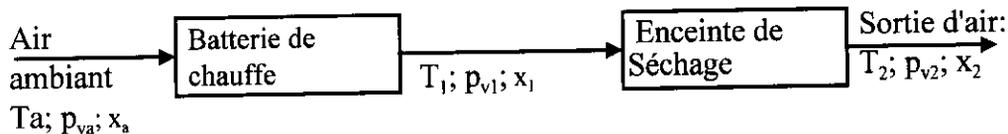


Figure 2-a: Principe de séchage à l'air ou par entraînement

#### A.IV.3. LES DIFFERENTES PHASES DU SECHAGE.

Quel que soit le mode de séchage, les produits agro-alimentaires passent par trois périodes de séchage de durée variable suivant les caractéristiques de l'air et du produit. On distingue:

##### a) la période de mise en température (phase I)

Elle est souvent très courte et se caractérise par une vitesse de séchage croissante et correspond à la montée en température du produit jusqu'à une température d'équilibre.

##### b) La période de vitesse de séchage constante (phase II)

Elle correspond à l'évaporation de l'eau libre en surface du produit. La température reste constante. La vitesse de séchage reste constante durant cette phase si les caractéristiques de l'air et sa vitesse de passage sur les produits restent les mêmes. La température, la vitesse et le débit de l'air doivent être convenablement choisis pour permettre un bon séchage, car cette phase présente un risque de dégradation spécifique du produit. C'est généralement à la 2<sup>ème</sup> phase que se produit le phénomène de croûtage.

##### c) La période de ralentissement (phase III)

Cette phase de séchage correspond à l'évaporation de l'eau liée du produit. A ce stade la température du produit augmente et tend vers celle de l'air à l'entrée si la température et le débit de l'air restent les mêmes qu'avant.

#### A.IV.4. LES ECHANGES AIR/PRODUIT

Il se produit un échange de chaleur et de masse entre l'air et le produit lors du séchage. En chauffant l'air son humidité relative diminue, la teneur en eau restant constante; sa capacité à recevoir l'eau sous forme de vapeur augmente. Cet air une fois en contact avec le produit se charge d'eau du produit sous forme de vapeur jusqu'à être saturé, en cédant la chaleur au produit; la température de l'air diminue donc durant ce transfert. Ce transfert se faisant dans l'enceinte de séchage sans apport extérieur d'énergie, la transformation est isenthalpique. Le séchage est dit "séchage isenthalpique". Les coordonnées  $(x_2, T_2)$  et  $(x_3, T_3)$  de l'air

respectivement à l'entrée et à la sortie de l'enceinte séchage se lisent sur une même isenthalpe dans un diagramme de l'air humide.

En réalité, l'air à la sortie n'est jamais saturé et la transformation n'est pas rigoureusement isenthalpique pour des raisons multiples:

- L'humidité de l'air ne peut être supérieure à l'humidité d'équilibre  $\phi$ , qui elle varie au cours du temps durant le séchage ; l'humidité de l'air à la sortie diminue au fur et à mesure que la teneur en eau du produit à sécher diminue. Elle passe d'une valeur voisine de 100% au début du séchage à la valeur  $\phi$  à l'équilibre.
- L'air n'a pas nécessairement le temps de se saturer avant de sortir du séchoir
- L'efficacité de l'échangeur air/produit n'est pas parfait.
- L'enceinte de séchage n'est jamais thermiquement isolé

## V. QUELQUES CONTRAINTES À PRENDRE EN COMPTE PENDANT LE SECHAGE.

### *A.V.1.LES DONNEES RELATIVES A LA NATURE DU PRODUIT ET DE SON COMPORTEMENT AU SECHAGE*

Chaque produit ayant ses propres caractéristiques( teneur en eau initiale, état de maturation, texture, pH, fragilité par rapport aux attaques extérieures...), Le choix du modèle de séchoirs adapté à son traitement, le processus de séchage à suivre, les additifs éventuels à utiliser pour une meilleure conservation ainsi que le mode de conditionnement approprié en dépendent.

### *A.V.2.LES DONNEES RELATIVES A LA PRODUCTION AGRICOLE*

Pour chaque produit et chaque variété on doit connaître les périodes de culture/récolte ainsi que les quantités disponibles au niveau local ou dans les zones voire les pays environnants afin d'établir un calendrier de récolte.

### *A.V.3.LES INFORMATIONS RELATIVES AU CONTEXTE ECONOMIQUE ET SOCIALE*

Le séchage est particulièrement intéressant si le produit frais se trouve en grandes quantités et coûte moins cher; ceci dans le souci de rentabiliser son séchoir.

La perte d'eau résultant du séchage se traduit toujours par des modifications de la qualité, de l'aspect, du goût, de la composition nutritionnelle. Le produit séché doit en outre répondre aux qualités exigées par les consommateurs . Il faut donc créer des conditions de manière à réduire les modifications pour mieux répondre aux exigences des clients. Pour cela, il y a lieu de remarquer que

- les dégradations sont beaucoup liées à la durée et à la température de séchage. Pour chaque produit, on définit une température maximale à ne pas dépasser sous peine d'altérer le produit.

- Les vitamines A et C se dégradent sous l'effet de la lumière et de l'oxygène par la production des phénomènes de photo-oxydation qui détruisent ces vitamines.

## VI. LA PRATIQUE DU SECHAGE

Le séchage se décompose en plusieurs phases comprenant, outre le séchage proprement dit, la préparation, le prétraitement le conditionnement.

### A.VI.1.PREPARATION DES PRODUITS AVANT LE SECHAGE

Une préparation est nécessaire pour garantir un bon séchage et la sécurité hygiénique. Elle comprend entre autre le lavage, le triage, le découpage, le prétraitement

#### **le lavage:**

Le lavage avec de l'eau propre permet d'enlever les souillures et une grande partie des micro-organismes superficiels

#### **le triage:**

Il permet de sélectionner les produits en bon état et pas trop mûrs, qui supporteront l'attente d'être en phase avancée du séchage pour n'être plus alors susceptible de se dégrader.

#### **le découpage:**

Il se fait soit en dés, soit en tranches, soit encore en filet ou en lamelles pour faciliter le séchage. Le découpage est indispensable pour les produits épais sinon le séchage se fait plus lentement et l'inhibition des micro-organismes risque d'être incomplet.

#### **Le prétraitement**

Il permet d'améliorer la conservation, le goût ou l'apparence du produit. Le prétraitement permet en particulier d'adapter les produits à la demande et se pratiquent de différentes manières (blanchissement, sulfuration, sucrage, salage, fumage...).

### A.VI.2.CONTROLE DU SECHAGE

Au cours du séchage, certains paramètres doivent être suivis afin de garantir la qualité du produit séché. Il s'agit de la température de séchage, du poids du produit séché et le débit d'air. Un bon suivi de ces paramètres permet non seulement de savoir quand arrêter le séchage, mais aussi d'éviter certaines dégradations comme le croûtage.

Ayant déterminer préalablement la quantité d'eau à extraire, la mesure du poids du produit au cours du séchage permet de déterminer la quantité d'eau

extraite du produit et donc de savoir si le taux de séchage exigé est atteint. Les fiches techniques des produits indiquent les taux de séchage recommandés pour les différents produits.

### a) - Poids d'eau à extraire

Soit :  $X_1$  la teneur en eau initiale du produit  
 $X_2$  la teneur en eau finale du produit et  
 $m$  la masse du produit frais,

on a :

$$\text{masse d'eau dans le produit frais } m_e = m \times \frac{X_i}{100}$$

$$\text{masse de matières sèches } m_s = m \times \frac{(100 - X_i)}{100}$$

$$\text{masse du produit sec } m_f \quad m_f = m_s + X_f \times m_f \Rightarrow m_f = \frac{m_s}{1 - \frac{X_f}{100}} = \frac{100 - X_i}{100 - X_f}$$

$$\text{La masse d'eau à extraire est donc } m_{\text{ex}} \quad m_{\text{ex}} = \frac{X_i - X_f}{100 - X_f}$$

### b) - Contrôle du séchage.

Le suivi du séchage permet particulièrement de savoir si le produit sèche bien. Il existe plusieurs méthodes permettant de suivre l'évolution du séchage et de s'en rendre compte si le taux de séchage est atteint.

- Analyse de la teneur en eau du produit: on retient quelques échantillons de produit de masse fraîche connue et dont on suit régulièrement l'évolution de la teneur en eau au cours du séchage.

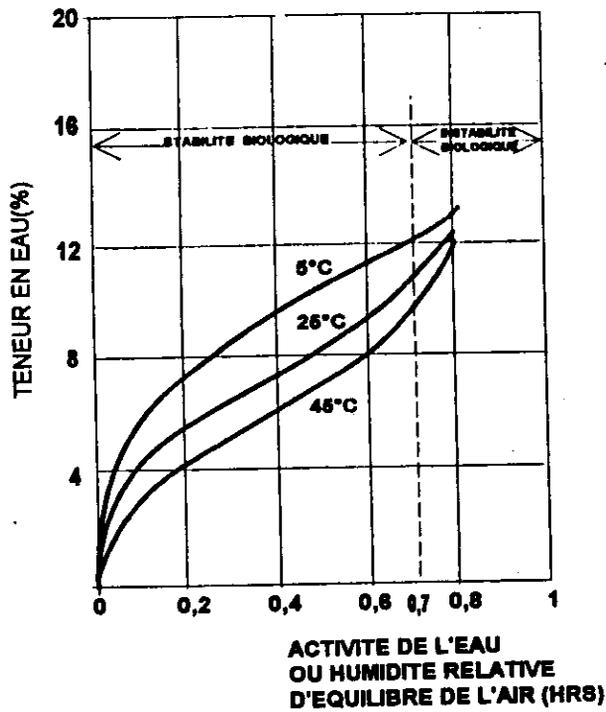
- Suivi de l'évolution du degré d'humidité relative de l'air en sortie du séchoir:

la teneur en eau du produit et l'humidité relative de l'air étant liées (courbes de sorption-désorption) la mesure de l'humidité relative de l'air à la sortie permet de savoir si le taux est atteint. Si  $X_f$  est la teneur en eau finale en base sèche et  $T$  la température de séchage, la courbe de désorption du produit à la température  $T$  donne l'humidité relative de l'air en équilibre avec le produit ( $HR_s$ ). Il suffit donc de suivre l'évolution de l'humidité relative de l'air et arrêter le séchage dès que l'humidité relative devient inférieure à l' $HR_s$  indiquée sur la courbe de sorption.

- Suivi de l'évolution du poids du produit: Il s'agit de mesurer régulièrement en fin de la 2<sup>ème</sup> phase de séchage le poids d'un échantillon de masse fraîche connue; la relation entre le poids et la teneur en eau de ce produit permet de savoir si la teneur souhaitée est atteinte.

$$X(\%) = \frac{P - P_0 \times (1 - X_0/100)}{P} \times 100$$

Les courbes de sorption et désorption de la muscade à 25 et 45°C

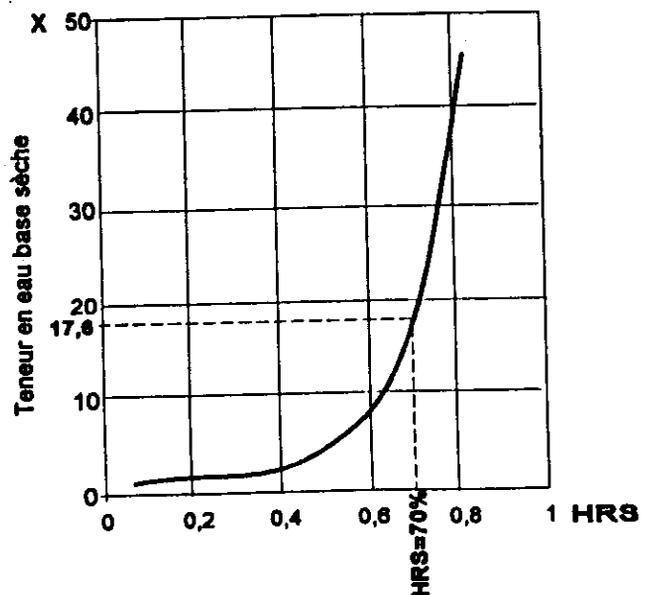


Si la température prévue pour le stockage est de 25°C, il faudra sécher le produit jusqu'à une teneur en eau finale minimale (correspondant à  $A_w < 0,7$ ) de 10 %.

Si on estime que le stockage se fera dans une ambiance à faible humidité relative (par exemple 50 %), il faudra alors sécher le produit jusqu'à  $X = 8$  %.

Si par contre le stockage se fait à 45°C, la teneur  $X$  minimale sera de 9 %.

Courbe type de désorption à 60°C



$P$  et  $P_0$  étant respectivement la masse à l'instant  $t$  et la masse fraîche initiale de l'échantillon  $X$  et  $X_0$  sont les teneurs en eau en base humide.

- Les caractéristiques externes de certains produits dépendent très fortement de leur teneur en eau; une comparaison avec un échantillon séché peut permettre de savoir si la teneur exigée est atteinte.

## B. SECHAGE PAR DESHUMIDIFICATION

Le séchage par déshumidification préalable de l'air est une technique de séchage utilisant l'énergie électrique pour le conditionnement de l'air.

### I. OBJECTIFS DE LA DESHUMIDIFICATION DE L'AIR.

La déshumidification a pour but de réduire la teneur en eau de l'air destiné au séchage afin d'augmenter sa capacité à en absorber pendant le séchage. Cette technique permet d'assurer un bon séchage par convection même en temps humide où la teneur en eau de l'air est naturellement très élevée. Elle paraît particulièrement intéressante dans les zones humides. Ainsi l'air qui sort de l'évaporateur a diminué sa teneur en vapeur d'eau, mais se trouve théoriquement saturé (en réalité l'air sort avec une humidité inférieure à 100%. Si les caractéristiques (température, humidité relative, teneur en eau) de l'air à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur sont respectivement  $(T_1, x_1, HR_1)$  et  $(T_2, x_2, HR_2)$  et  $(T'_1, x'_1, HR'_1)$  celles de l'air au point 1' (figure précédente) on a les relations suivantes:

$$\begin{cases} T'_1 = Tr \text{ (température de rosée)} \\ T_1 > T'_1 \\ T'_1 > T_2 \end{cases} \quad \begin{cases} HR_1 < 100\% \\ HR'_1 = HR_2 \approx 100 \end{cases} \text{ et } x_1 = x'_1 > x_2.$$

Ceci se justifie par le fait que si on réchauffe à teneur en eau constante de l'air se trouvant initialement dans deux états différents a et b tels que  $T_a = T_b$  et  $x_1 < x_2$  jusqu'à une température  $T_2$ , l'humidité de l'air réchauffé sera plus forte dans le cas b que le cas a. Donc l'air dans l'état  $(T_2, HR_b)$  sera plus apte à absorber l'eau du produit pendant le séchage que l'air dans les conditions  $(T_2, HR_a)$ .

Pour une température de séchage T donnée (pas trop élevée) il serait techniquement plus intéressant de faire une déshumidification préalable de l'air avant de le réchauffer. Cette déshumidification se réalise à travers une condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air, donnant ainsi de l'eau liquide que l'on évacue au fur et à mesure qu'elle se forme.

### II. PRINCIPE DE LA DESHUMIDIFICATION DE L'AIR

Si on refroidit de l'air à la température  $T_1$ , son humidité relative augmente jusqu'à la saturation, sa teneur en eau  $x_1$  restant constante. Dès que l'air devient

saturé, et si on continue à le refroidir jusqu'à une température  $T_2$ , il se produit une condensation de la vapeur d'eau qu'il contient. Il se forme alors de l'eau qui s'écoule.

Soit  $x_1$  et  $x_2$  les teneurs en eau respectives de l'air à la température  $T_1$  et à la fin du refroidissement, la masse d'eau  $m_e$  formée pendant le processus,

exprimée en kg/ d'air sec est  $m_e = x_2 - x_1$

Si  $\rho_{ai}$  est la masse volumique de l'air ambiant et  $Q_a$  le débit d'air volumique de l'air entant dans l'évaporateur, le massique d'air  $m_{air}$  est:  $m_{air} = \rho_{ai} \times Q_{air}$

Cette masse contient une masse  $m_{as} = \frac{m_{air}}{1+x_1}$  d'air sec et une masse

$m_{ve} = \frac{m_{air} \times x_1}{1+x_1} = \rho_{ai} \times Q_{air} \times \frac{x_1}{1+x_1}$  de vapeur d'eau. Le débit d'eau retiré de l'air dans

l'évaporateur est  $m_e = \rho_{ai} \times Q_{air} \times \frac{x_1 - x_2}{1+x_1}$

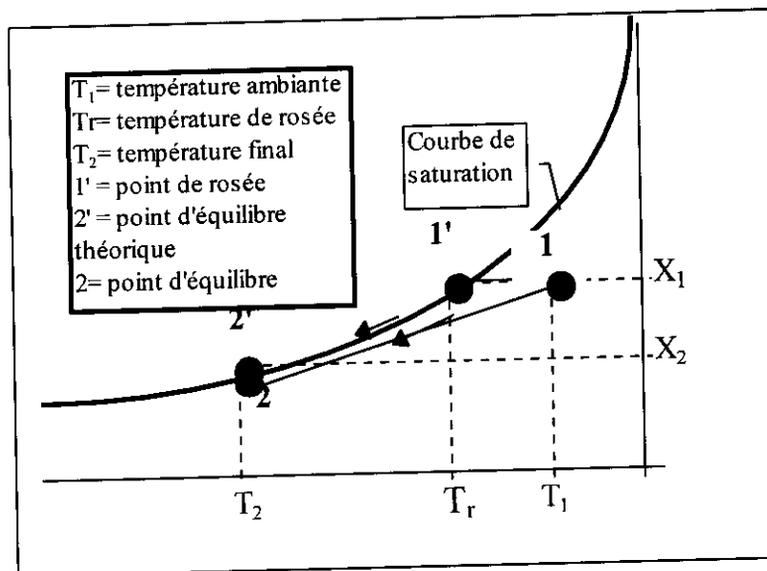


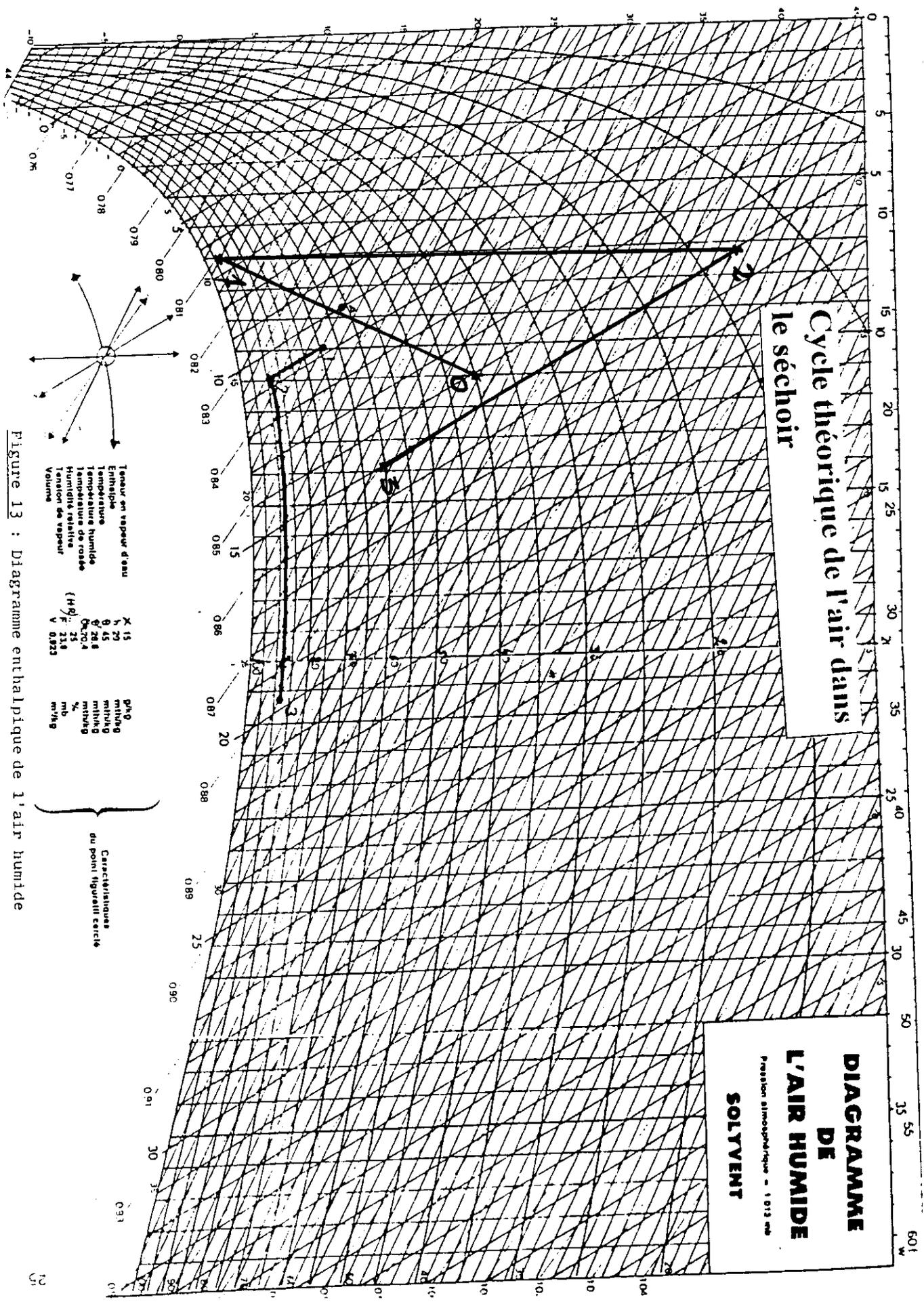
Figure 2-a: Description du processus

### III. DESCRIPTION DU PROCESSUS

On souffle de l'air chaud et humide ( $T_0, x_0, HR_0$ ) sur une batterie froide constituée de plusieurs rangées de tubes. Dans les tubes circule un fluide frigorigène à basse température. Cet air, lors de son passage sur la batterie froide est refroidi jusqu'à la température de rosée. On observe alors la condensation de la vapeur d'eau qu'il contient. Si les condensats (gouttelettes d'eau formées) sont évacués au fur et à mesure qu'ils se forment, la teneur en eau de l'air diminue. On obtient alors de l'air froid avec une teneur en eau plus faible et une humidité relative très élevée (théoriquement égale à 100%) ( $T_1, x_1, HR_1$ ).

# Cycle théorique de l'air dans le séchoir

**DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE**  
 Pression atmosphérique = 1 013 mb  
**SOLVENT**



- Teneur en vapeur d'eau
- Enthalpie
- Température
- Température humide
- Température de rosée
- Humidité relative
- Tension de vapeur
- Volume

X	15	g/m <sup>3</sup>
h	20	ml/m <sup>3</sup> g
t	45	ml/m <sup>3</sup> g
t <sub>h</sub>	28.8	ml/m <sup>3</sup> g
t <sub>r</sub>	20.4	ml/m <sup>3</sup> g
F	25	%
V	21.8	ml
	0.823	m <sup>3</sup> /kg

Caractéristiques du point figuratif cercle

Figure 13 : Diagramme enthalpique de l'air humide

En suite, cet air est soufflé sur la batterie chaude du condenseur pour être chauffé. La batterie est constituée de rangés de tubes parcourus par le fluide frigorigène à haute température et pression. Le chauffage se faisant à teneur en eau constante, l'air ressort plus chaud, mais avec la même teneur en eau et une humidité relative plus faible ( $T_2, x_1, HR_2$ ).

Il se produit au cours de ces soufflages un transfert de chaleur par convection d'une part entre l'air ambiant et le fluide, et d'autre part entre le fluide chaud et l'air frais ayant soufflé la batterie froide. Les condensats sont recueillis à travers une tuyauterie afin de déterminer la masse d'eau extraite de l'air pendant la phase de déshumidification.

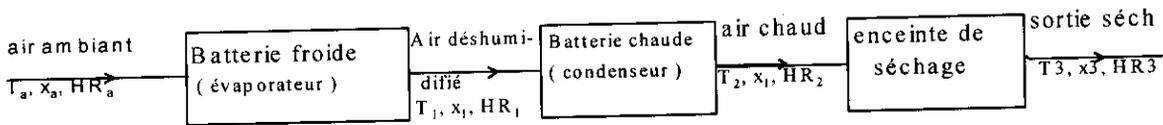


Figure 2-b: Circuit de l'air pendant le séchage par déshumidification

L'ensemble du processus peut être représenté sur le diagramme de Mollier de l'air humide.

On a les relations suivantes

$$\begin{cases} T_a > T_1 \\ T_2 > T_1 \\ T_3 < T_2 \end{cases} \quad \begin{cases} X_1 < X_a \\ X_3 > X_1 \end{cases} \quad \begin{cases} HR_a < HR_1 \approx 100\% \\ HR_2 < HR_1 \\ HR_3 > HR_2 \end{cases}$$

- 0- entrée dans l'évaporateur
- 1- sortie de l'évaporateur
- 2- sortie condenseur (air chaud)
- 3- sortie séchoir

#### IV. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif comprend deux grandes parties :

- l'enceinte de séchage ,
- le dispositif de déshumidification et de chauffage de l'air (pompe à chaleur

)

##### B.IV.1.LE DISPOSITIF DE DESHUMIDIFICATION ET DE CHAUFFAGE

Le dispositif est constitué d'un split classique de climatisation composé de deux unités :

- l'unité contenant le compresseur et le condenseur
- l'unité contenant l'évaporateur et le détendeur

L'ensemble est disposé dans un bac en bois et communique directement avec le premier compartiment à travers un trou circulaire de diamètre légèrement supérieur à celui des hélices du ventilateur. Le bac est hermétiquement fermé pour éviter les fuites d'air.

Un tuyau d'évacuation des condensats est prévu au niveau de l'évaporateur et qui draine l'eau extraite de l'air par l'évaporateur.

Les caractéristiques de ces unités sont :

Puissance frigorifique:	$Q_0=24000$ BTU/h
Puissance électrique	$P=2,700$ kW
Intensité	$I=13$ A
Tension	220-240 V
Fréquence	50 Hz
Réfrigérant	R22
Masse de réfrigérant	1,530 kg

#### ***B.IV.2.FONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE CLIMATISATION***

un fluide réfrigérant circule dans les deux unités à travers des tuyauteries les reliant.

Au niveau de l'évaporateur, le fluide se vaporise en absorbant de la chaleur du milieu ambiant. A la sortie de l'évaporateur, le fluide évaporé est aspiré par le compresseur puis refoulé à haute pression dans le condenseur. Au niveau du condenseur, le fluide y cède la chaleur au milieu extérieur en se liquéfiant. De l'air est soufflé sur les ailettes du condenseur par un ventilateur assurant ainsi le transfert de chaleur fluide/air. Le fluide condensé est transporté jusqu'à l'évaporateur sous forme liquide et le cycle recommence.

Au niveau de l'évaporateur, l'air ambiant se refroidit jusqu'à condensation de la vapeur d'eau qu'il contient, en cédant la chaleur au fluide réfrigérant; la vapeur d'eau condensée est recueillie et drainée dehors. L'air est ainsi diminué de sa vapeur d'eau et refroidi: c'est la déshumidification

Au niveau du condenseur, l'air se réchauffe en recevant de la chaleur du fluide réfrigérant.

L'air ambiant entre donc chaud et humide et ressort plus chaud et sec, pour être ensuite envoyé dans l'enceinte de séchage.

#### ***B.IV.3.L'ENCEINTE DE SECHAGE***

L'enceinte de séchage est composée de deux compartiments en bois; chaque compartiment est équipé d'une porte d'accès à la cellule de séchage. La cellule est dimensionnée pour recevoir treize claies de 0.7 m<sup>2</sup> ou 10 claies et 3 chicanes. Au-dessus du premier compartiment se trouve une ouverture rectangulaire servant de cheminée pour la sortie d'air ayant séché le produit. Entre les deux compartiments

et juste au-dessus de la dernière claie une ouverture circulaire est pratiquée pour permettre le passage l'air du premier compartiment au second.

L'air chaud soufflé par le ventilateur du condenseur entre dans le premier compartiment et ressort soit par la cheminée soit par le second compartiment. Un coude de 90 degrés est pratiqué dans la partie inférieure du premier compartiment pour faciliter l'ascension de l'air dans le compartiment N°1 sans trop de pertes de charges.

Les dimensions du séchoir sont:

Longueur  $L=1.5$  m

largeur  $l=1.35$  m

hauteur  $h=5.67$  m

#### **B.IV.4.FONCTIONNEMENT DU SECHOIR**

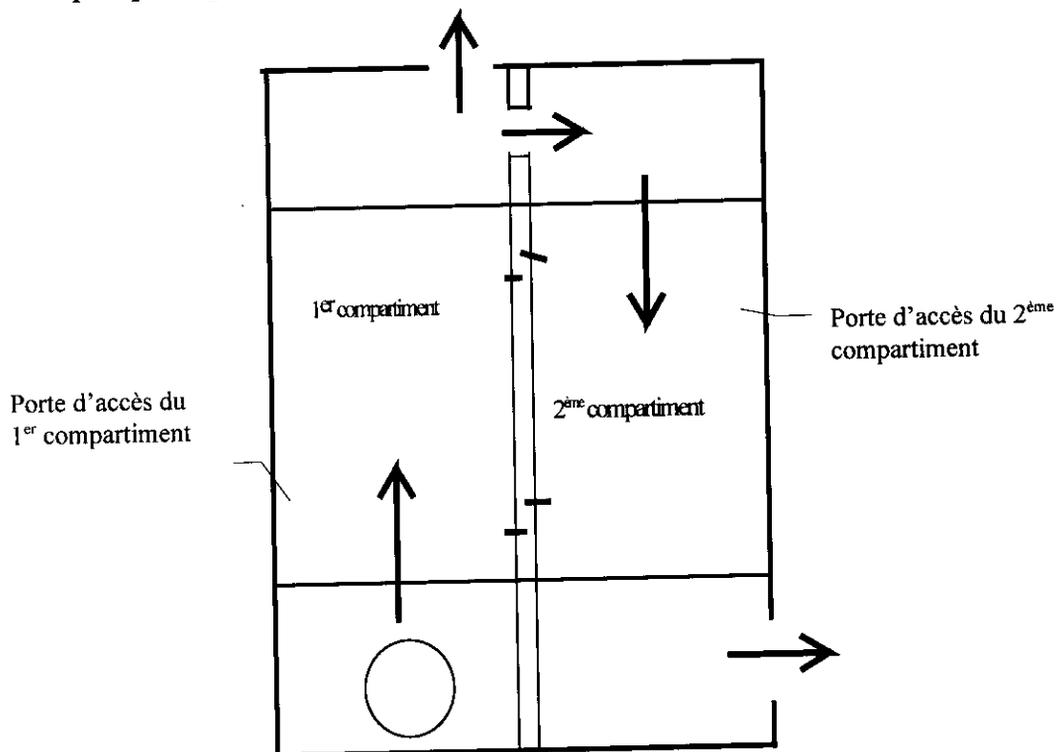
Il y a plusieurs possibilités de fonctionnement du séchoir.

- fonctionnement en circuit ouvert:

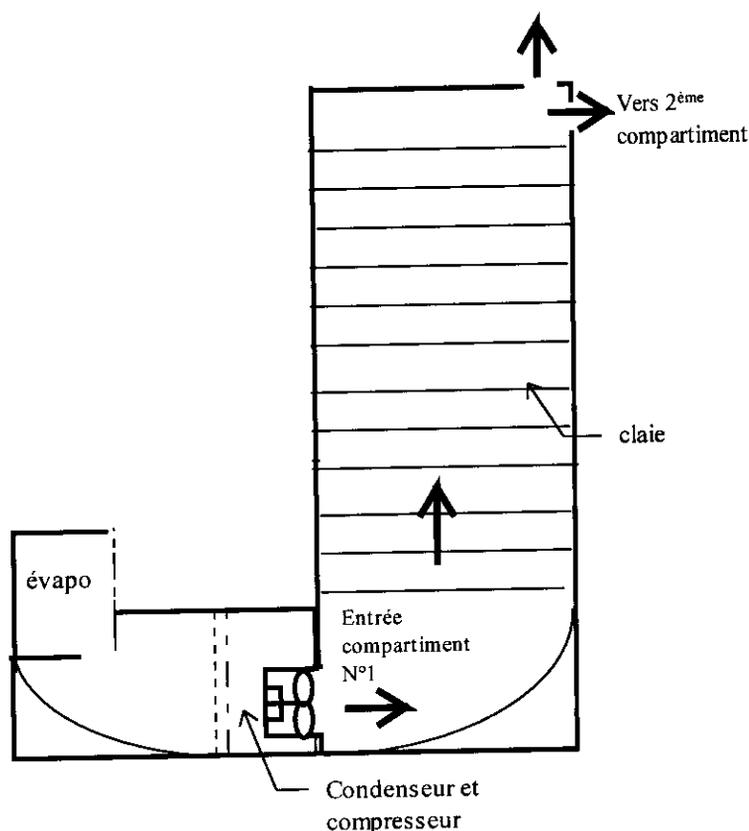
dans ce mode de fonctionnement, l'air est rejeté dehors après avoir traversé les claies

- fonctionnement en circuit fermé:

on peut procéder à un recyclage de l'air sortant du séchoir après avoir traversé les claies et les produits. On la fait revenir sur l'évaporateur à l'aide d'une conduite. Ceci paraît particulièrement intéressant si la teneur en eau de l'air à la sortie du séchoir n'est pas plus grande que celle de l'air ambiant entrant dans l'évaporateur.



**Figure 4-a:** Schéma type du séchoir montrant les deux compartiments fermés



**Figure 4-b: Schéma type du séchoir avec un compartiment**

## V. LA MANGUE

### *B.V.1.PRESENTATION*

C'est un fruit cultivé dans presque toute la zone intertropicale. En Afrique, il est cultivé dans presque toute la zone sub-saharienne. C'est un fruit d'origine Indo-Birmane.

La mangue comprend plusieurs variétés dont l'Amelis et la Brooke sont les plus cultivées au Burkina Faso. Les autres variétés sont la Zill, la Ruby, la Lippens, la Glazière et la Spendfield. Ces différentes variétés se distinguent les unes des autres par leur taille, leur goût et leur couleur.

### *B.V.2.COMPOSITION BIOLOGIQUE*

La mangue est très riche en vitamines surtout, la vitamine A. Elle est composée essentiellement d'eau 81 à 85% et de sucre 15%. Les fibres ne représentent que 1.2%. Son acidité correspond à un pH de 3.8 à 4.

### B.V.3.FICHE TECHNIQUE<sup>1</sup>

#### a) Etapes de préparation conseillées

- 1- lavage
  - 2- épluchage
  - 3- découpage au choix: soit lamelle de 1.5 cm d'épaisseur, soit en dés
  - 4- Mettre directement dans le séchoir, un prétraitement est facultatif
- Les ingrédients sont : l'eau, le jus de citron, le sucre (facultatif).

#### b) Les paramètres de séchages

Teneur en eau initiale	80-85%
Teneur en eau finale recommandée	10 à 18%
Température maximale	70°C, et 50 en dernière phase de séchage
Rapport de séchage	5/1 à 6/1
Rendement de séchage	10/1 à 15/1
Critère de fin de séchage	Consistance élastique, couleur brun doré. Composition idéale: eau = 10 à 15%; sucre =83%; fibre =5% (pour les mangues greffées)
Durée maximale de conservation	1 à 2 ans

#### Conseils pour la consommation

- Utiliser comme tel comme produit de grignotage
- Utiliser après un trempage de 30 minutes comme garniture de pâtisseries

Le rapport de séchage est le rapport de la masse des tranches fraîches sur la masse de mangues séchées. Le rendement est le rapport de la masse brute de mangues fraîches sur la masse de mangues séchées.

<sup>1</sup> D'après ASSURANCE DE QUALITE;- SECHAGE MANGUES: CEAS

## C. EXPERIMENTATION

### I. MODIFICATIONS APPORTEES SUR LE SECHOIR

Afin de limiter les infiltrations et les fuites, toutes les ouvertures ont été fermées. Entre l'évaporateur et le condenseur, nous avons utilisé du polystyrène et la colle pour fermer tous les espaces entre le contre-plaqué formant le bac, l'évaporateur et le condenseur. Ainsi, l'air froid soufflé par l'évaporateur passe entièrement sur le condenseur. Suite à cela nous avons constaté que l'espace entre le condenseur et l'évaporateur est en dépression.

Du côté du séchoir, nous avons renforcé la liaison entre le bac et le séchoir par une plaque circulaire de polystyrène que nous avons plaqué contre le condenseur et l'ensemble appliqué contre le séchoir. La plaque est percée d'un trou circulaire de diamètre légèrement supérieur à celui des hélices du ventilateur du condenseur.

Pour le 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> essai, nous avons fermé à l'aide d'une plaque de polystyrène l'ouverture circulaire entre les deux compartiments, laissant ainsi l'ouverture réalisée au-dessus du 1<sup>er</sup> compartiment.

Pour la 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> essais, c'est le contraire qui a été réalisé.

### II. LES ESSAIS DE MESURES

Les essais se sont déroulés du 29 avril au 20 Mai 1998 Au total 4 essais ont été réalisés.

Deux essais avec chargement du 1<sup>er</sup> compartiment seule.

Deux essais avec chargement des deux compartiments

Les points 1,2,3,4,5,6,7 représentent:

1= entrée d'air ambiant dans l'évaporateur

2= sortie de l'évaporateur

3= entrée du condenseur

4= sortie du condenseur =entrée dans l'enceinte de séchage(1<sup>er</sup> compartiment)

5= sortie de l'enceinte

6 =entrée dans le 2<sup>ème</sup> compartiment

7 sortie du 2<sup>ème</sup> compartiment

#### C.II.1.ESSAI N°1

Cet essai s'est déroulé du 29-04 au 30-04-98. Elle visait à déterminer quelques paramètres de séchage tels que la durée du séchage, l'évolution de la température dans le séchoir pendant le séchage et l'influence de la permutation des

claies. Cet essai a duré 25 heures de séchage effectifs et 28 heures au total, les arrêts compris.

### a) La phase de préparation de la mangue

Cette phase s'est déroulée entre 7 heures et 10 heures 30 minutes à l'unité expérimentation située à quelques kilomètres de la direction du CEAS ATESTA, à PISSI et sur la route de Bobo-Dioulasso. La préparation a été faite par le groupe de sécheurs travaillant dans cette unité.

La préparation comportait les phases suivantes :

- le tri des mangues
- le lavage
- l'épluchage
- le découpage

Il n'y a pas eu de prétraitement particulier préalable des mangues avant le séchage.

Les mangues ainsi découpées sont pesées et mises dans une bassine. Au total 40 kg de mangues découpées sont préparées pour être séchées sur dix claies, soit un chargement de 4 kg par claie.

Le chargement des mangues sur des claies est fait à la direction (ATESTA) où se trouve le séchoir par déshumidification, par un des sécheurs de l'unité expérimentation et nous. Dix claies ont été préparées dont 8 claies chargées avec 3.5 kg de mangues chacune, une claie avec 4 kg et la dernière avec 3 kg.

Le chargement avec 4 kg par claie n'a pas été possible, car la surface des filets moustiquaires était petite par rapport à la surface des claies ; il aurait fallu des filets 0.7 m<sup>2</sup> ou deux des filets que nous avons utilisés par claie.

On ne pouvait donc pas charger les 4 kg par claie au risque d'avoir une densité de produits trop grande pour un bon séchage (habituellement, on fait un chargement de 5 à 6 kg /m<sup>2</sup> de claie).

Le chargement est terminé à 13 heures et nous avons démarré le séchage à 13 heures 10 minutes en mettant le split en marche.

### b) Les mesures effectuées

Afin de suivre l'évolution du séchage et des paramètres de l'air séchant le produit, nous avons fait les mesures des paramètres de l'air (température sèche et humide, humidité relative), et la mesure du poids de chacun des dix claies. Les paramètres de l'air sont mesurés en 5 points (voir schéma de principe du séchoir et point de mesures) :

1. à l'entrée de l'évaporateur
2. à la sortie de l'évaporateur
3. à l'entrée du condenseur

4. à la sortie du condenseur donc dans l'enceinte de séchage ; à ce niveau, nous avons placé la sonde du thermocouple et de l'hygromètre à une position moyenne entre le ventilateur et la première claie afin d'avoir une température moyenne
5. à la sortie du séchoir (après la 10<sup>ème</sup> claie )

Deux chicanes sont placées entre les claies afin de prolonger le parcours de l'air dans l'enceinte de séchage. Le premier placé au-dessus de la 4<sup>ème</sup> claie et le 2<sup>ème</sup> au-dessus de la 7<sup>ème</sup> claie.

Nous avons effectué également la mesure de la vitesse de l'air à la sortie de l'évaporateur et à la sortie du condenseur, ceci afin de calculer le débit d'air dans le séchoir.

Un dernier paramètre dont nous avons suivi l'évolution est le poids de l'eau extraite de l'air dans l'évaporateur

La fréquence des mesures est d'une heure à trois heures pour la température et l'humidité relative de l'air et de deux à quatre heures pour le poids des claies.

### c) Le dispositif de mesure

Les mesures de température sèche et humide ont été faites à l'aide d'un thermocouple à sonde ; une sonde imbibée d'eau permet de lire la température humide de l'air. Une sonde est placée en chacun des cinq points de mesure pour la lecture de la température sèche.

Un hygromètre à sonde interchangeable permet de lire l'humidité relative au point considéré

Pour la mesure du poids des claies et de l'eau retirée, nous avons utilisé une balance de table

Un compteur électrique devrait permettre de mesurer la quantité d'énergie électrique consommée durant le séchage mais n'a pas pu fonctionner convenablement comme nous l'aurions souhaité et nous avons suspendu son utilisation.

### d) Les résultats de mesure

Les tableaux suivants montrent les résultats des différentes mesures effectuées lors de cet essai

Pour la vitesse de l'air, nous avons obtenu :

vitesse à la sortie de l'évaporateur  $v_1 = 5.5$  m/s

section de passage  $s_1 = 0.05\text{m} \times 0.8 = 0.04\text{m}^2$  soit un débit  $Q_1 = 792\text{m}^3/\text{h}$

vitesse moyenne à la sortie du condenseur  $v_2 = 1.4$  m/s ;

section de passage  $s_2$  ( diamètre du ventilateur du condenseur = 0.48m )

$s_2 = 0.48^2 \times \pi / 4 = 0,181 \text{ m}^2$  le débit sortant est  $Q_2 = s_2 \times v_2 \times 3600 = 912 \text{ m}^3/\text{h}$

### e) Quelques remarques

La masse de mangues sèche obtenue est de 7 kg, soit un rapport de séchage de 5.

La consommation électrique moyenne est de 3 kwh/h (entre 13h et 16h le compteur a indiqué 9 kwh) et la masse d'eau extraite de l'air dans l'évaporateur est de 91.35 kg

### f) Quelques observations :

Lors de l'essai, nous avons enregistré des pannes fréquentes avec déclenchement du disjoncteur de ligne.

- fonte des fils conducteurs et de la fiche mâle du split à 19 heures le 7-04.

Ce qui a entraîné un arrêt de 19 heures à 22 heures 30.

- Les permutations des claies ont eu lieu à chaque mesure de poids des claies ; les premières claies remplaçant les dernières et vis versa (1 et 10, 2 et 9 par exemple). Cependant dès la 3<sup>ème</sup> permutation d'autres critères (comme le poids résiduel) sont rentrés en jeu pour définir l'ordre de permutation.

- Une panne du compteur a entraîné l'arrêt de son utilisation vers 16 heures.

Heures	Evaporateur						Condenseur						masse d'eau en kg	Sortie du séchoir		
	Entrée			Sortie			Entrée			Sortie				T °C	T h °C	HR %
	T °C	Th °C	HR %	T °C	Th °C	HR %	T °C	Th °C	HR %	T °C	Th °C	HR %				
13h10	39	23	23,6	15,5	14	82,5	18	16	72,8	53	27	10,2	1	41	26	28
14h10	40	23	21	16	14	83	18	16	75,4	53	26	9,3	2,7	43	26	24
15h10	40	23	22,8	14	13	81,6	18	16	75	54	24	10	6,5	43	28	26,8
18h	38	23	26,4	16	15	90	18	16	77,5	55	25	9,7	8,8	42		
22h40	34		46	17		91,8	19		82,7	54		10,6		38		34,3
24h30	28,5		56,8	14,5		92,8	16		92,5	49,5		13,5	24,1	39		26,8
3h	29		76	13,5		94,5	15,5		92,2	48		13	32,75	39,5		23,3
5h	26,5		76	14		96,5	16		94,5	52		16	44,75	44		24,2
7h	26		72,6	14		94,5	15,5		94,5	50,5		17	57,05	43		23,8
9h30	29		67	14		96	16		92,3	49		16	64,95	44		20,8
11h30	29		61	14		95,8	16		93,3	49,5		14,5	69,8	45		19,4
14h30	30,5		67	14,5		93,5	17		89,5	49		14,3	79,2	45		17,3
16h30	29,5		67	14		95,3	16		95,2	50		23,5		42		30
17h	29,5		66	14		95,5	16		90,8	49,5		23	91,35	42		27,8

Tableau 1-a: Evolution de la température et de l'humidité relative aux points de mesure  
ESSAI N° 1

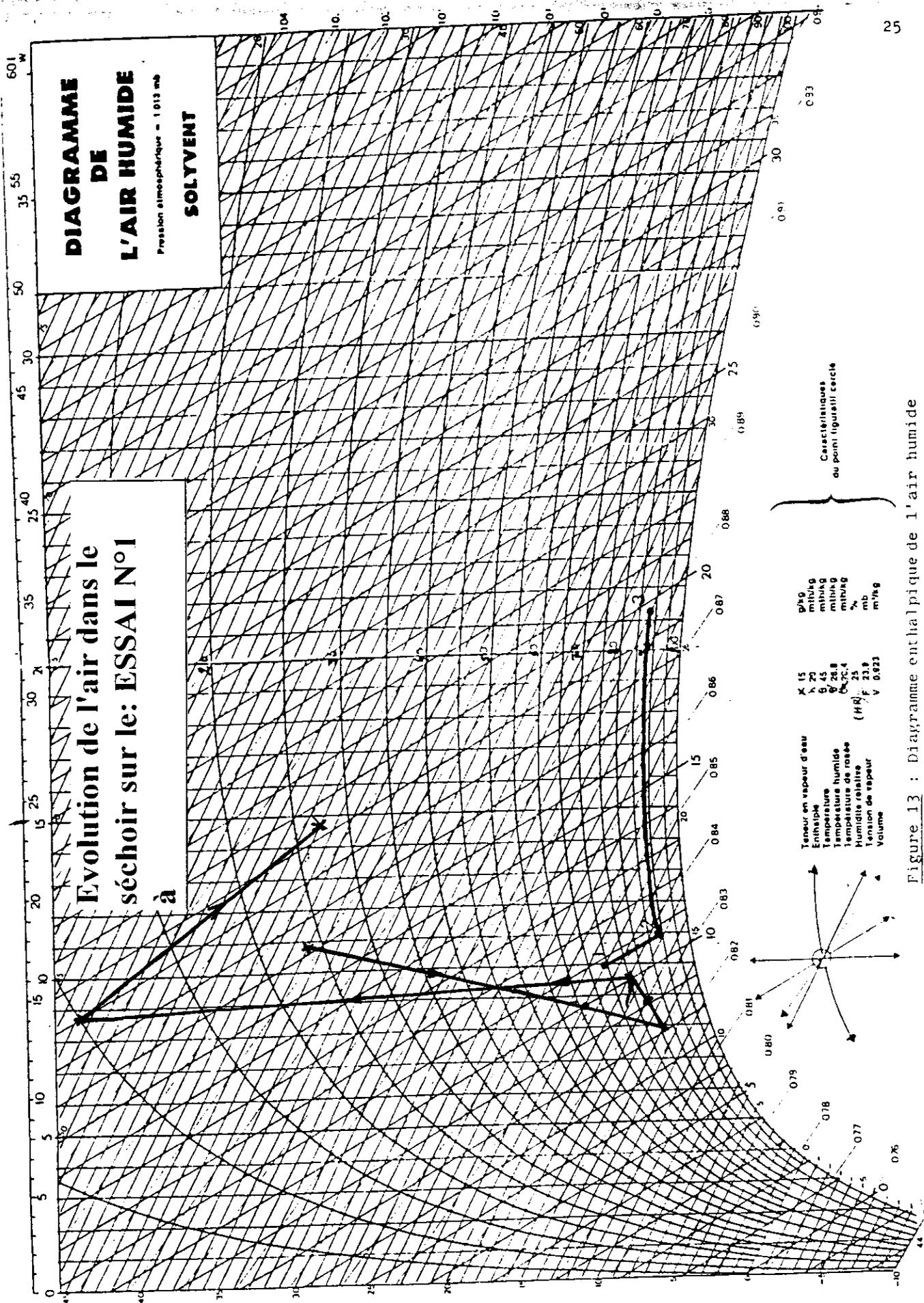


Figure 13 : Diagramme enthalpique de l'air humide

heures	claires	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10
	m claires	2,55	1,85	2,7	2	2,8	2,7	2,2	2	2	1,85
13h10		6,55	5,35	6,2	5,5	6,3	5,7	5,7	5,5	5,5	5,35
17h30		4,35	4,3	4,9	4,35	5,5	4,75	4,05	4,3	4,2	4,25
24h		4	3,9	4,4	3,55	4,7	4,2	3,4	3,4	3,25	3,05
3h		3,55	3,1	3,8	3,15	4,1	3,75	3,1	3,15	3,1	2,8
6h		3,5	2,9	3,6	2,9	3,9	3,65	3	2,9	2,9	2,7
8h		3,4	2,7	3,5	2,8	3,7	3,45	2,95	2,8	2,85	2,6
11h30		3,35	2,6	3,4	2,75	3,6	3,35	2,9	2,75	2,75	2,55
14h30		3,35	2,55	3,4	2,75	3,55	3,3	2,9	2,75	2,72	2,55
17h		3,3	2,55	3,35	2,75	3,5	3,3	2,9	2,75	2,7	2,55

Tableau 1-b: Evolution de la masse par claie lors de l'essai N°1

### C.II.2.ESSAI N° 2

Elle s'est déroulée du 7 au 8 Mai de 17h30 à 15h40, soit 22 heures de séchage et 19 heures 30 de séchage effective ou de fonctionnement (il y a eu des arrêts de durée totale estimée à 2h30).

Les conditions de l'essai sont pratiquement identiques au précédent essai. La seule différence réside dans le chargement qui est de 4.5 kg de mangues fraîches par claie. Nous avons prévu charger 5 kg par claie afin d'évaluer la capacité étant donné que le débit d'air est important mais nous n'avons pas pu le faire.

Les mesures effectuées sont les mêmes que celle de l'expérience précédente ; le dispositif de mesure n'a donc pas changé. A l'issue de l'essai nous avons obtenu une masse de 6.45 kg de mangues séchées et le tri a donné 100% de 1<sup>ère</sup> choix. Les résultats obtenus sont regroupés dans deux tableaux :

- un tableau présentant l'évolution du séchage (masse des laies)
- un tableau présentant l'évolution temporelle et spatiale de la température et l'humidité relative et la température de l'air aux points de mesure.

Heures	Evaporateur				Condenseur				Sortie du Séchoir	
	Entrée		Sortie		Entrée		Sortie		T°C	HR%
	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%		
17h30										
18h	38	14	11.5	62	14	43	51	6.5	33	38.5
21h							56	9.5	34	35.9
22h30	33	42	15	90.6	17	79	56.5	9.5	39	35.9
0h30	32	59	16	94.9	17.5	91.5	55.5	10.3	41	30.1
2h30	31	70	16	96.6	18.5	93.9	57	16	46	26.4
4h30	30	71	16	95	18	93.3	56	12.6	46	23.8
6h30	30	72	16	94	17.5	93	56	14.2	48	20.1

10h	36	57	17		20		61	11	48	21.7
12h	38	41	17	90	19	87.8	59		53	
14h	40	26	15	87.7	17	72.6	56	9.1	51	10.5
15h40										
Moyenn e	34.222	50.222	15.5	88.85	17.313	81.763	56.4	10.967	43.9	26.989

**Tableau 2-a: Essai N°2 Evolution des caractéristiques de l'air**

heures	masse d'eau en kg
22h30	3.6
0h30	10.6
3h10	22.55
5h30	33.03
8h	45.88
15h40	56.08

heures	Index coma
16h35	13
18h	17
22h40	29
23h10	31
0h10	34
1h00	37
3h25	46
4h37	50
7h07	59

Consommation électrique et masse d'eau extraite de l'air dans l'évaporateur

heures	Nbre heures	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	total
m claires		2.25	2.6	2.4	2.55	2.6	2.65	1.9	2	2.75	2.5	24.2
m mangue		4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	45
Total		6.75	7.1	6.9	7.05	7.1	7.15	6.4	6.5	7.25	7	69.2
17h30	0	6.75	7.1	6.9	7.05	7.1	7.15	6.4	6.5	7.25	7	69.2
21h30	3.25	3.7	4.45	4.7	4.5	5.7	5.2	4.5	4.9	6.25	5.35	49.2 5
0h30	6.25	3.4	4.1	4.05	3.95	4.9	4.57	3.65	3.85	4.9	4.1	41.4 7
2h30	8.25	3.25	3.8	3.7	3.55	4	3.95	3.2	3.3	4.3	3.75	36.8
4h30	10.25	3.2	3.6	3.43	3.4	3.65	3.6	3	2.95	3.9	3.5	34.2 3
7h30	13.25	3.1	3.5	3.3	3.35	3.55	3.42	2.85	2.8	3.75	3.4	33.0 2
10h30	15.5	3	3.45	3.22	3.25	3.45	3.35	2.72	2.72	3.55	3.3	32.0 1
14h30	18.5	2.95	3.32	3.08	3.15	3.35	3.25	2.65	2.6	3.48	3.15	30.9 8
15h40	19.5	2.9	3.3	3.1	3.15	3.35	3.25	2.6	2.6	3.48	3.1	30.8 3

**Tableau 2-b: Evolution du séchage essai N°2**

## OBSERVATIONS

Nous avons enregistré des dysfonctionnements entraînant des coupures intempestives surtout entre 8h30 et 12h30, malgré le changement de câble du conducteur. Suite à cela nous avons débranché le compteur et nous ne l'avons plus remplacé.

entre 20h et 21h il y a eu arrêt dont nous évaluons la durée à 45mn environ, car, nous n'étions pas présents lors de la panne. le split est mis en marche depuis 16h35 au début de la mise en claie des mangues pour un préchauffage du séchoir.

### **C.II.3.ESSAI N°3**

Il a eu lieu du 12 au 13-05 de 15h à 20h20' le lendemain, soit 29h20 de séchage effectif.

La mise en claies a commencé à 14h45 pour finir à 14h54. Comme pour les autres essais la préparation a eu lieu à l'unité expérimentale du CEAS-ATESTA.

L'objectif de cet essai est de déterminer la capacité réelle du séchoir. Avec des nouveaux filets moustiquaires plus larges, nous avons essayé de faire un chargement de 5 kg par claie et les deux compartiments ont été chargés. Soit 20 claies de 5 kg; ce correspond à un poids total de mangues de 100 kg. Lors de la 1<sup>ère</sup> permutation, une claie s'est renversée et nous avons continué avec 19 claies, soit 95 kg.

A la fin du séchage, nous avons obtenu une masse de 17,21 kg.

heures	Nbre h	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	total/c
m claies		2,25	2,6	2,4	2,55	2,6	2,65	1,9	2	2,75	2,5	24,2
mangues		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
total		7,25	7,6	7,4	7,55	7,6	7,65	6,9	7	7,75	7,5	74,2
14h54		0 fin de chargement des 2 compartiments										
18h	3,5	3,95	5,8	4,95	4,9	5,85	5,5	4,5	6,05	6,55	5,9	53,95
24h30	10	3,5	4,2	4,15	4,45	5	4,65	3,7	4,6	4,9	4,6	43,75
6h	15,5	3,25	3,85	3,55	3,8	4,05	3,9	3	3,43	3,9	4	36,73
9h30	19	3,15	3,6	3,45	3,65	3,8	3,62	2,85	3,22	3,78	3,6	34,72
12h30	21,5	3,15	3,6	3,4	3,5	3,65	3,45	2,78	3,05	3,65	3,5	33,73
15h		permutation sans pesé										
17h10	26			3,3				2,75				
18h30	26,75	3,1	3,5	3,3	3,5	3,55	3,4	2,75	3	3,6	3,4	33,1
20h20	28,75	Fin de séchage										
8h		3,1	3,5		3,5	3,45	3,4		2,95	3,6	3,3	26,8

heures	Nbre h	N° 11	N° 12	N° 13	N° 14	N° 15	N° 16	N° 17	N° 18	N° 19	N° 20	total
m claires		2,45	2,5	2,8	2,6	2,55	2,6	2,5	1,95	2,4	2,4	22,35
mangues		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
total		7,45	7,5	7,8	7,6	7,55	7,6	7,5	6,95	7,4	7,4	67,35
18h	3,5	6,45	6,55	6,8	6,65	6,65	6,9	6,9	6,15	6,75		59,8
24h30	10	5,25	5,1	4,8	4,87	4,92	4,45	4,4	3,7	3,8		41,29
6h	15,5	4,1	4,33	4,25	4,25	4,25	4,05	3,9	3,3	3,55		35,98
9h30	19	3,85	3,85	4,1	3,78	3,7	3,65	3,7	3,15	3,45		33,23
12h30	21,5	3,65	3,55	3,8	3,6	3,55	3,6	3,5	3,05	3,4		31,7
18h30	26,75	3,55	3,45	3,75	3,55	3,5	3,55	3,4	2,9	3,35		31
20h20	28,75	3,55	3,45	3,75	3,55	3,5	3,55	3,4	2,9	3,35		31
8h		3,58	3,45	3,8	3,5	3,48	3,5	3,35	2,9	3,35		30,91

Tableau 3-a: Evolution du séchage essai N°3

Heures	Evaporateur				Condenseur				Sortie du 1er		2ème compartiment			
	Entrée		Sortie		Entrée		Sortie		compartiment		Entrée		Sortie	
	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %
15h	36	34	15	90	17.5	74.2	60	5	44	24	40	40	38	53
17h	37	31	15	91	17	77	58	5	44	26	39	39	37	47
19h	34	40	14	90	16	80	58	6			37	47	39	47
21h30	33	40	14.5	92	16	86	54	8	39	33	38	38	37	40
0h	31	52	17	95	18	90	53	8	43	24	40	31	37	37
5h15	30	52	12	93	16	90	52	9	45	18	42	23	36	28
7h30	30	49	12	94	14	90	52	4	44	19	43	21	40	30
9h15	33	47	14	93	17	89	56	6	49	14	47	16	43	23
11h	35	43	15	93	17	83	58	2	52	10	50	13	46	18
15h45	26	74	13	97	14	94	47	12	43	17	44	18	41	25

Tableau 3-b: Tableau des mesures des variations des caractéristiques de l'air

heures	index comp
12h48	69
15h	76
16h45	82
19h15	91
21h57	100
0h15	108
2h	113
5h40	124
9h15	133
11h17	142
14h	151
18h45	162
20h20	166
consomm=	97 Kwh

heures	masse d'eau en kg
12h48	0
18h47	9.85
21h52	13.6
1h50	16
5h30	12.65
8h33	9.7
14h54	11.9
18h45	13.7
20h20	12.65

### Tableau 3-c: Consommation électrique et masse d'eau extraite par l'évaporateur

#### C.II.4.ESSAI N°4

L'essai N°4 a eu lieu du 19 au 20 Mai 98. La mise en claies et le chargement a commencé 12h et a pris fin à 13h 43; le séchage a ainsi démarré à 13h43 pour finir à 14h30 le lendemain

Les objectifs visés sont identiques à ceux du 3<sup>ème</sup> essai. Il s'est donc réalisé de la même manière, avec le même dispositif expérimental sauf l'augmentation des dimensions du trou communiquant entre les deux compartiments.

Le chargement est de 5 kg de tranches de mangue par claie et les deux compartiments ont été chargés chacune des dix claies, soit donc 100 kg au chargement; ce qui constitue le maximum de chargement que les claies puissent supporter, soit 7.2 kg/m<sup>2</sup> de mangues fraîches au chargement.

A la fin du séchage, nous avons obtenu 16.72 kg de mangues séchées; la consommation électrique enregistrée est de 85 kilowattheures (l'index du compteur était 166 à 12h et 151 14h30 à l'arrêt le lendemain, soit 26h30 de fonctionnement).

Dans cette expérience, nous ne nous sommes pas intéressés au fonctionnement de l'évaporateur et donc la masse d'eau extraite n'a pas été mesurée, de même que les caractéristiques de l'air aux points 4 et 5. Nous nous sommes surtout intéressé aux caractéristiques de l'air à l'entrée et à la sortie de chaque séchoir.

Les permutations sont faites lors de chaque pesé des claies. Nous avons changé de méthode de permutation; Les permutations se sont déroulées comme suit:

- chargement des claies dans l'ordre des numéros croissants suivant le circuit de l'air dans le séchoir (1,2,...10,11...20)
- 1<sup>ère</sup> permutation: l'ordre est le suivant (1,20);(2,19);...(10,11)
- 2<sup>ème</sup> permutation : permutation par compartiment: ordre (11,20); (12,19);...(15,16); (1,10);(2,8)...(5,6).
- 3<sup>ème</sup> permutation: permutation inter compartiment : (11,1);(12,2);...(20,10)
- 4<sup>ème</sup> permutation: permutation par compartiment (1,10);...(5,6);(11,20)..(15,16)
- 5<sup>ème</sup> permutation: permutation inter compartiment (1,20);(2,19);...(10,11).

Cette permutation nous a permis d'obtenir rapidement une homogénéité de séchage. Les tableaux suivants résument les résultats obtenus.

heures temps	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10	N°11	N°12	N°13	N°14	N°15	N°16	N°17	N°18	N°19	N°20	total
13h43	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	100
17h10	3.45	1.65	2.32	2.65	2.57	3.6	3.25	3	3.2	3.63	3.1	3.85	4.2	4.3	4.43	3.9	3.55	4.25	4.25	4.35	69.43
23h	9.283	1.25	1.8	1.95	1.75	2.7	2.35	2.05	2.25	2.43	2	2.17	2.65	2.75	2.3	2.8	2.3	1.7	2	1.7	42.42
4h45	15	0.92	1.18	1.22	1.18	1.65	1.53	1.4	1.57	1.7	1.45	1.1	1.22	1.35	1.43	1.22	1.05	1.3	1.1	1.1	25.92
10h	20.25	0.72	0.9	0.9	0.95	1.05	0.95	0.95	1.05	1.1	1	0.9	1	1.05	0.98	1.05	1	0.95	1.02	0.9	19.37
13h30	23.75	0.7	0.9	0.85	0.87	0.92	0.8	0.75	0.85	0.85	0.85	0.85	0.93	0.9	0.9	0.95	0.85	0.95	0.85	0.9	17.32
14h30	24.75	0.7	0.82	0.8	0.85	0.85	0.8	0.8	0.85	0.85	0.9	0.85	0.85	0.9	0.9	0.8	0.85	0.8	0.9	0.8	16.72

Tableau 4-a : Essai N°4: évolution du séchage

heures	Evaporateur				Condenseur				Sortie du 1er compartiment				2ème compartiment			
	Entrée		Sortie		Entrée		Sortie		Entrée		Sortie		Entrée		Sortie	
	T1°C	HR1%	T2°C	HR2%	T3°C	HR3%	T4°C	HR4%	T5°C	HR5%	T6°C	HR6%	T7°C	HR7%	T7°C	HR7%
14h30	36	35					52	10	42	34	37	40	34	65		
16h30	36	26					51	8	38	24	37	37	34	53		
20h15	33	36					52	9	41	22	37	27	34	36		
22h30	33	37	13	94	14.5	89.5	53	8	43	22	39	28	36	45		
4h30	32	41	13	94	13.5	90	51	9	44	18	43	19	41	24		
6h30	31	46	13	95	14	89	52	9	47	14	45	21				
8h50	33	44	15	92	16	87			50	11	47	14	45	20		
10h45	36	35	15	94	17	87	55	6	52	11	51	10	47	16		
13h	38	26	14.5		16	84	56	4	53	7	51	9				

## Consommation électrique

heures	Index compteur
12h	166
14h10	175
19h33	190
5h	220
8h50	232
11h	239
13h14	247
14h30	251

Tableau 4-b: Essai N°4 Caractéristiques de l'air

### III. INTERPRETATION DES RESULTATS

Notre analyse porte sur les variations des caractéristiques de l'air aussi bien dans le temps que dans l'espace et en particulier l'humidité relative et la température de l'air à l'entrée et à la sortie du séchoir. Elle porte également sur l'évolution du séchage (la vitesse), et donc la durée et la consommation énergétique.

L'évaluation de quelques coefficients nous permettra de mieux cerner cette analyse.

#### C.III.1. QUELQUES COEFFICIENTS:

Comparaison de la masse théorique d'eau extraite dans l'évaporateur et la masse réelle.

Cette comparaison est un moyen de contrôle des mesures effectuées soit sur le débit d'air soit sur les mesures d'humidité relative et de température:

Si  $x_1$  et  $x_2$  sont les teneurs en eau de l'air respectivement à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur et  $V$  la vitesse moyenne de l'air en sortie,  $V_2$  étant le volume massique rapporté à l'air sec, le débit d'eau extraite est:  $Q_e = S_2 * v_2 * (X_1 - X_2) * 3600 / \sqrt{2}$  exprimé en kg d'eau / heure si  $X_1$  et  $X_2$  sont en kg.

La masse totale s'obtient en faisant la somme sur les intervalles de temps du débit  $Q_e$ .

$$M_e = \sum_{i=0}^n Q_{e_i} \times \Delta t_i \text{ où } \Delta t_i \text{ est défini comme suite:}$$

$$\Delta t_0 = \frac{t_1}{2}; \text{ et } \Delta t_i = \frac{(t_{i+1} - t_{i-1})}{2} \text{ pour } i \neq 0.$$

;

$$\text{on a alors } M_e = \sum_{i=0}^n S_2 V_2 * \frac{(x_{2i} - x_{1i})}{V_{2i}} = Q = \sum \frac{(x_{1i} - x_{2i})}{V_{2i}}$$

De même on peut évaluer le rapport entre la masse extraite par l'air et perte d'eau des mangues.

$$\text{Masse extraite: } M_e' = Q * \sum (x_{5i} - x_{4i}) / v_{2i}$$

$$R = M_e' / (P_0 - P)$$

Où  $P_0$  et  $P$  sont respectivement le poids des mangues en début et fin séchage.

- **Le rapport de séchage:** C'est le rapport entre le poids de mangues fraîches et le poids obtenu en fin de séchage. L'évaluation de ce rapport pour chaque claie permet de d'apprécier l'homogénéité du séchage.

Les teneurs en eau sont calculées sur la base humide en considérant une teneur en eau initiale de 83.5%

- **La vitesse de séchage:** elle est définie par  $V_s = -\Delta M / \Delta t$  où  $\Delta M$  où est la variation de la masse du produit et  $\Delta t$  le temps écoulé.

L'évaluation de l'évolution des vitesses pendant le séchage devrait permettre de définir la courbe de séchage de la mangue dans les conditions définies. Mais compte tenu de la permutation des claies, la courbe de vitesse n'aura plus une allure normale, les conditions de séchage (température et humidité de l'air à l'entrée de chaque claie n'étant plus constantes).

Pour cela nous évaluerons seulement la vitesse moyenne pour la masse totale.

$$\text{Débit produit} = \frac{\text{masse produite}}{\text{temps de séchage}}$$

#### Aspect énergétique:

Pour évaluer les performances énergétiques du séchoir, nous allons évaluer certains coefficients:

- Le rapport de consommation énergétique moyen CEM

$$\text{CEM} = \frac{\text{consommation électrique}}{\text{masse de produit séchés}}$$

Ce rapport tel que définit tient compte de toutes les pertes d'eau dans le séchoir tout entier. Il caractérise la consommation du séchoir en son état actuel, pour atteindre un taux de séchage désiré.

$$\text{La consommation spécifique } C_s = \frac{\text{Energie totale}}{\text{masse d'eau extraite}}$$

Ce coefficient définit l'énergie nécessaire pour extraire 1 kg d'eau. Ce rapport varie suivant les phases de séchage. Il est plus faible en début de séchage (eau libre disponible) et plus élevé en fin de séchage.

- Le rendement énergétique global REG

$$\text{REG} = \frac{L_v}{C_v} \quad \text{avec } L_v = 2.402 \cdot 10^3 \text{ kJ/Kg à } 40^\circ\text{c}$$

$$L_v = 2.357 \cdot 10^3 \text{ kJ/Kg à } 60^\circ\text{c}$$

$L_v$  est l'énergie de vaporisation ou chaleur latente de vaporisation de l'eau..

On a le rapport  $R_2$  tel que :

$$R_2 = \frac{\text{Energie reçu par l'air}}{\text{Energie électrique consommée pendant le séchage}} = \frac{E_r}{E_c}$$

Ce rapport traduit en quelque sorte la capacité du séchoir à réchauffer l'air

$$E_r = \sum S_2 * V_2 * \frac{(h_4 - h_1)}{V_{2i}}$$

• Evolution de la teneur en eau en fonction du temps au cours du séchage.

Soit 1 kg de mangues fraîches. Elle contient entre 0.81 à 0.85kg de matière sèche. A l'instant t donné (temps de mesure) la masse étant m(t), la teneur en eau moyenne en base humide des mangues est de:

$$X(t) = \frac{m - 0.15}{m}$$

### C.III.2.INTERPRETATION DES RESULTATS

#### a) Analyse du fonctionnement du système de pompe à chaleur

##### • Capacité d'extraction d'eau et de réchauffement

Le condenseur a une capacité de réchauffement assez important; les écarts de températures entre l'entrée de l'air et la sortie du condenseur atteignent 40°C (lors de nos essais les écarts enregistrés sont compris entre 32°C et 40°C. Les températures à la sortie sont de l'ordre 50°C (de 48 à 60°C) ceci quelles que soient les conditions atmosphériques. Lors de nos essais nous avons enregistré des pluies même la nuits, faisant baisser la température ambiante. Voici quelques températures obtenus lors de ses essais.

Température ambiante	26	36	40	30
Température de sortie du condenseur	50.5	60	56	56

Lors de l'essai N°2 et N°3 nous avons obtenus des températures plus élevées à l'entrée et à la sortie

Les variations de température nous montrent que ce système permet de garantir une indépendance de la température d'entrée dans le séchoir.

Les figures suivantes montrent les variations des températures lors de l'essai N°1, N°2 et N°4

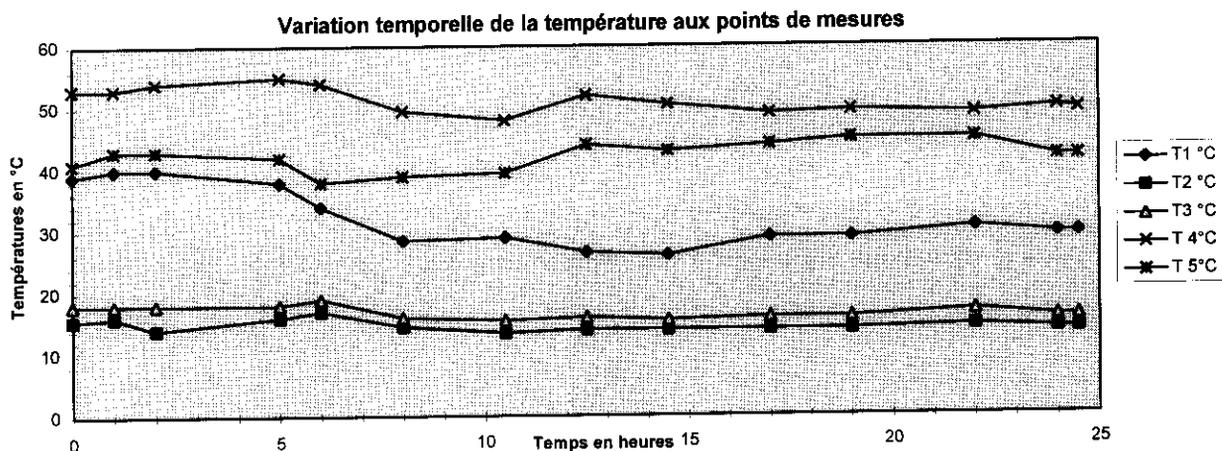


Figure 6-a: ESSAI N°1 Variation de la températures

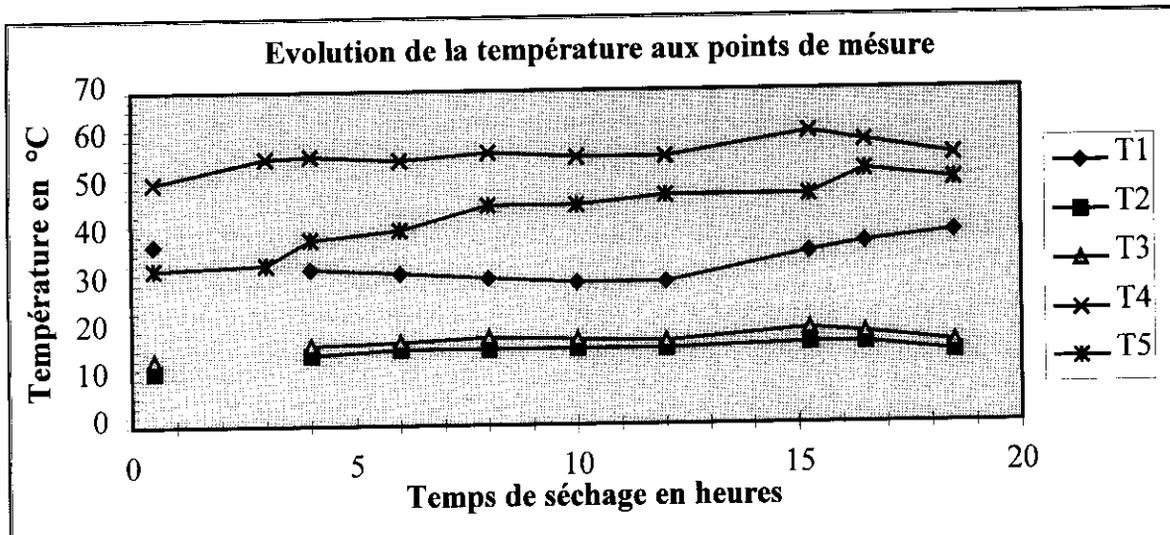


Figure 6-b: Essai N°2: Variation de températures

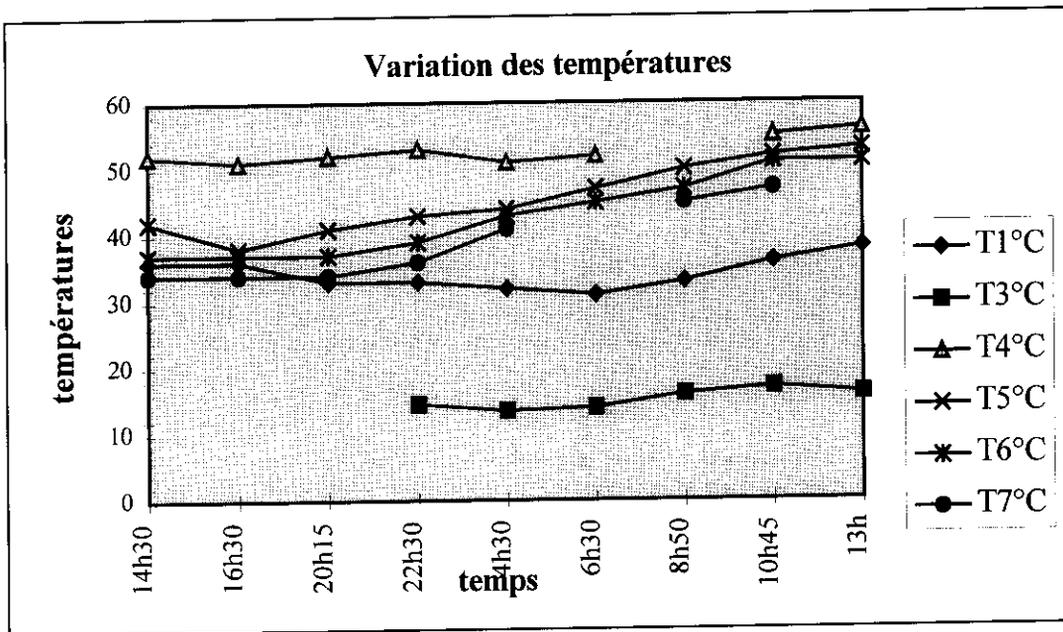


Figure 6-b: Essai N°4, Evolution de la température

Au niveau de l'évaporateur, la capacité d'extraction de la vapeur d'eau de l'air est très importante. Lors des 3 premiers essais où nous avons mesuré la masse d'eau extraite de l'air nous avons obtenu un débit moyen d'extraction d'environ 3kg/h

	ESSAI N°1	ESSAI N°2	ESSAI N°3
Masse d'eau (kg)	91.35	56.08	100.05
Durée(h)	24.5	20.5	29
Débit moyen (kg/h)	3.73	2.74	3.23

Ce débit est fonction des conditions atmosphériques: plus l'air est humide plus le débit est grand. L'essai N°1 confirme bien cela.

La grande capacité de l'évaporateur à extraire la vapeur d'eau de l'air et la capacité du condenseur à réchauffer l'air permettent d'obtenir un air très sec à la sortie du condenseur en moyenne à 9% (entre 4 et 11%) au cours des essais. Les graphiques suivants montrent les variations de l'humidité relative aux différents points de mesure pendant les essais N°1 et N°4.

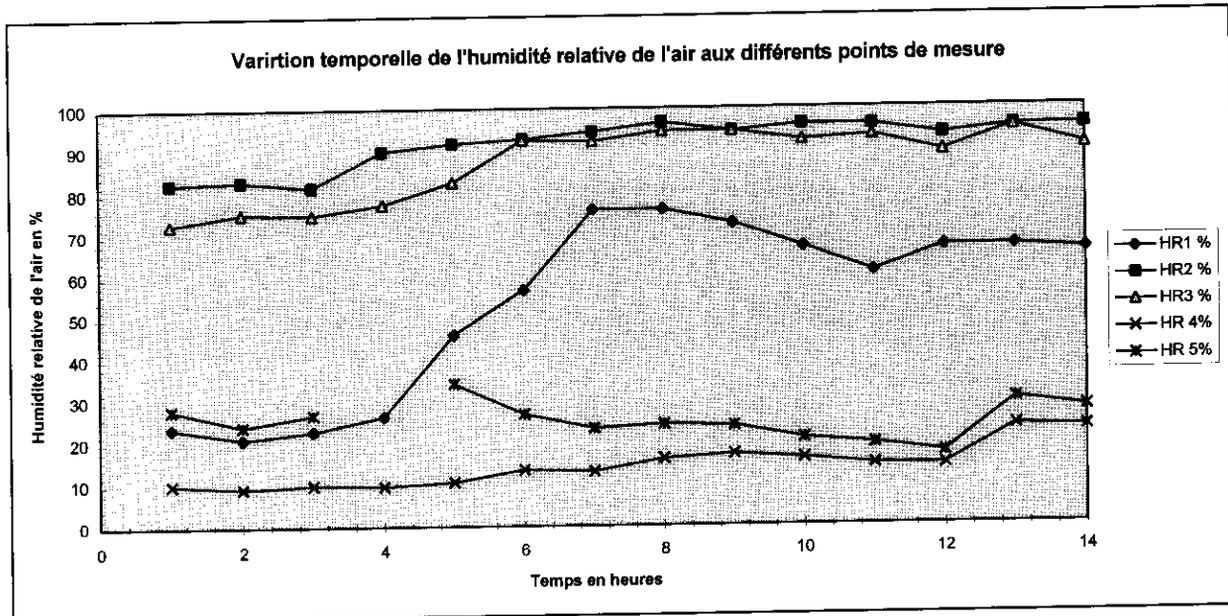


Figure 7-a ESSAI N°1, Variation de l'humidité relative

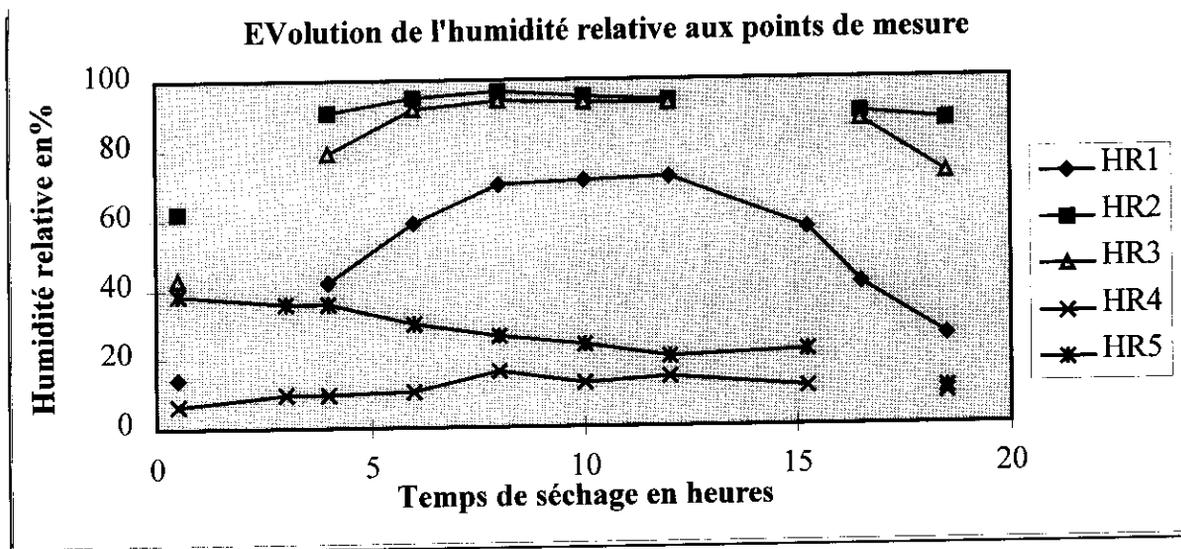


Figure 7-b: Essai N°2 Variation de l'humidité relative

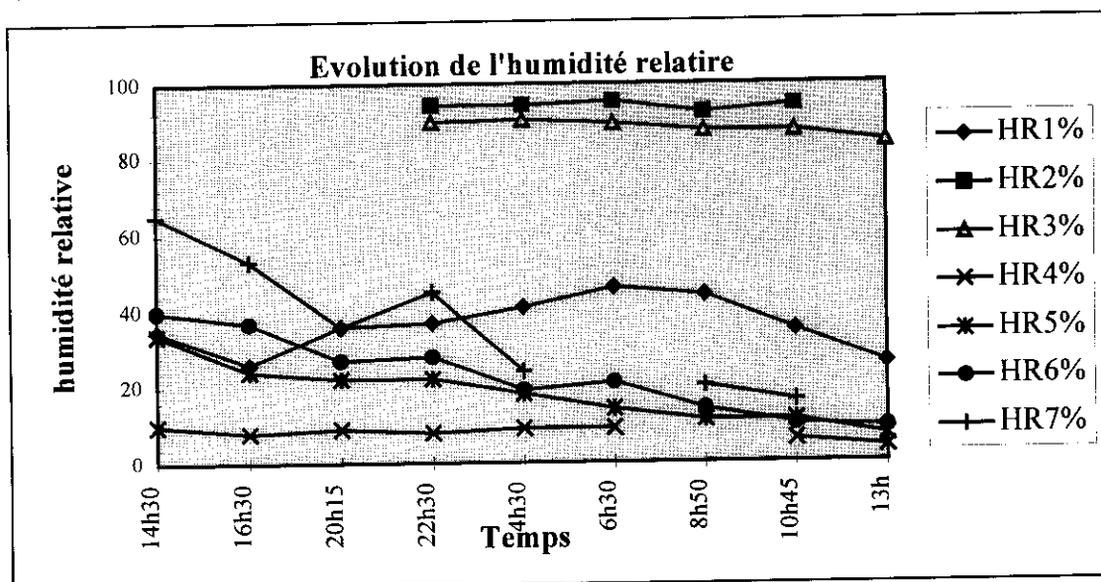


Figure 7-c: ESSAI N°4 Variation de l'humidité relative

#### • Fonctionnement du séchoir: comportement de l'air

La variation de température et de l'humidité relative entre l'entrée et la sortie du séchoir n'est pas très importante, surtout lors des deux premiers essais; l'écart de température se situe entre 10 et 15°C et l'humidité relative à la sortie n'excède pas 40% et diminuent progressivement avec le temps. Au cours des deux derniers essais où nous avons chargé les deux compartiments, les variations de la température et de l'humidité relative entre l'entrée et la sortie ont beaucoup augmenté par rapport aux essais précédents. Ce qui nous paraît normal, le circuit de l'air étant prolongé, elle a plus de temps de se charger de la vapeur d'eau avant de ressortir. L'écart de température atteint 20°C et plus; l'humidité relative quant à elle atteint 60% en début de séchage et diminue avec le temps pour se stabiliser entre 15 et 20% en fin de séchage. On voit ainsi l'intérêt de charger les deux compartiments.

Le fonctionnement ainsi constaté n'est pas en désaccord avec la théorie du séchage, sauf que l'air à la sortie du séchoir est loin de la saturation en début de séchage alors que selon la théorie l'air devrait ressortir presque à saturation. La raison est que le temps de séjour de l'air dans le séchoir est limité pour permettre la saturation de l'air; les essais N°3 et N°4 le démontrent bien par rapport aux deux autres.

#### • Contrôle des résultats

Afin de vérifier les mesures de températures, l'humidité relative et le débit d'air nous avons comparé le volume d'eau théorique et le volume réellement extrait de l'air en utilisant le diagramme de l'air humide. Cette vérification a été faite pour le premier essai. Les résultats obtenus sont:

- Débit d'air à la sortie de l'évaporateur  $Q = 712.8 \text{ m}^3/\text{h}$
- Masse d'eau extraite  $91.2 \text{ m}^3/\text{h}$
- Masse d'eau calculée 118.6 kg

- Débit d'air à la sortie du condenseur  $Q_2 = 912 \text{ m}^3/\text{h}$

Comme la température et l'humidité relative de l'air varient très peu dans le temps surtout à l'entrée et à la sortie du condenseur nous avons calculé la moyenne temporelle pour ces caractéristiques et évalué la masse correspondante, nous avons trouvé 109.17 kg.

Le rapport entre masse réelle et masse théorique est de  $118.6/91.2 = 1.3$  et l'écart relative est de 30% et de 19.5% pour la moyenne ce qui justifie nos résultats. Les tableaux suivants montrent les calculs effectués.

Nbre d'heure	$S \cdot V/v_2 \cdot (x_1 - x_2) \cdot Dt$	cumule
0	0,56	0,56
1	1,03	1,59
2	4,16	5,75
5	3,08	8,83
6	5,37	14,20
8	7,89	22,09
10,5	19,66	41,75
12,5	11,91	53,66
14,5	10,89	64,55
17	14,17	78,72
19	12,30	91,02
22	19,18	110,19
24	8,40	118,60
24,5		118,60

Débit Q=	712,8000 m <sup>3</sup> /h
masse d'eau en kg=	118,60
masse moyenne=	109,17

### b) Evolution du séchage

Lors des 4 essais, nous avons obtenu une bonne homogénéité de séchage au niveau de toutes les claies en fin de séchage. Nous présentons ici les courbes de quelques claies ainsi que celle de la somme. Le tableau suivant montre l'évolution de la masse des mangue ramenée à l'unité de masse (1 kg) sur chaque claie.. Ces valeurs permettent d'apprécier l'effet des permutations effectuées et l'homogénéité atteint pour les claies.

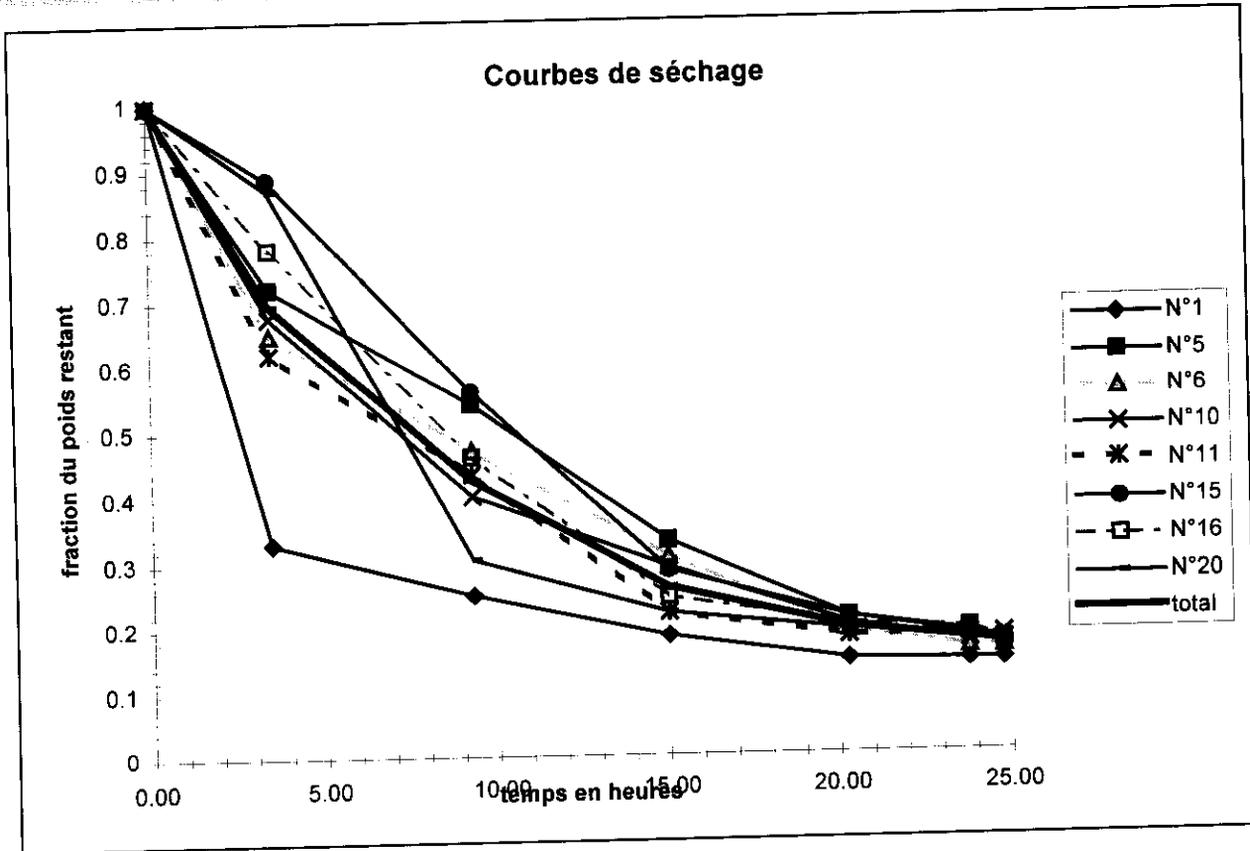


Figure 7-c: courbes de séchage de quelques claies, ESSAI N°4

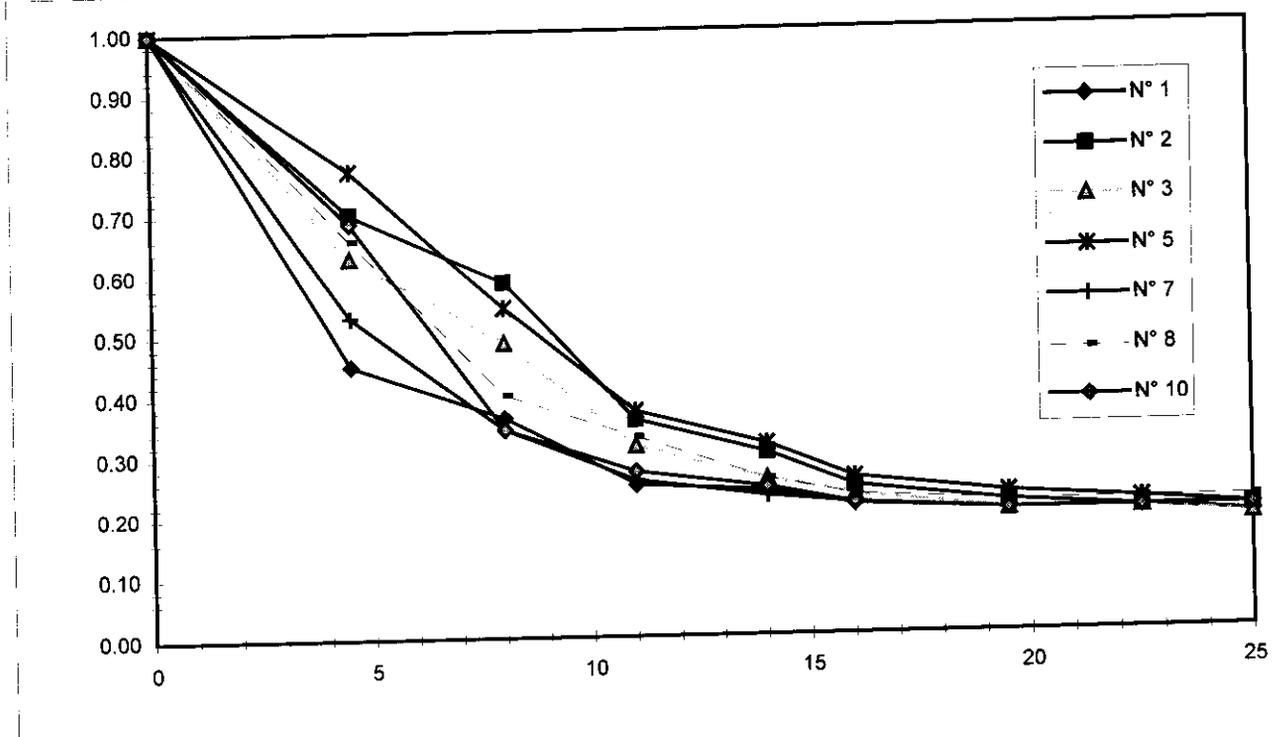


Figure 4: ESSAI N°1 courbe de séchage

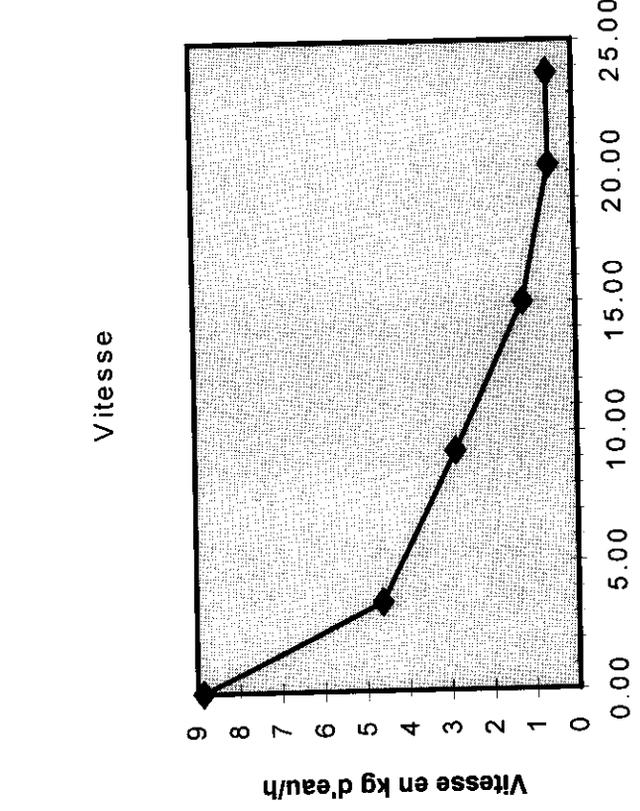
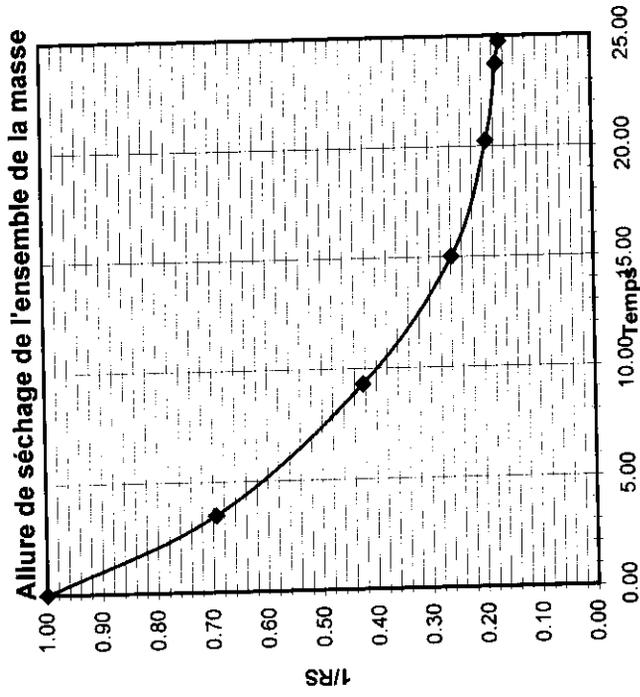
temps	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10	N°11	N°12	N°13	N°14	N°15	N°16	N°17	N°18	N°19	N°20	total	Vitesse	
0.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	8.86
3.45	0.33	0.46	0.53	0.51	0.72	0.65	0.6	0.64	0.73	0.68	0.62	0.77	0.84	0.86	0.89	0.78	0.71	0.85	0.85	0.87	0.87	0.69	4.63
9.28	0.25	0.36	0.39	0.35	0.54	0.47	0.41	0.45	0.49	0.4	0.43	0.53	0.55	0.46	0.56	0.46	0.34	0.4	0.34	0.3	0.42	2.89	
15.00	0.18	0.24	0.24	0.24	0.33	0.31	0.28	0.31	0.34	0.29	0.22	0.24	0.27	0.25	0.29	0.24	0.21	0.26	0.22	0.22	0.22	0.26	1.25
20.25	0.14	0.18	0.18	0.19	0.21	0.19	0.19	0.21	0.22	0.2	0.18	0.2	0.21	0.2	0.21	0.2	0.19	0.2	0.18	0.19	0.19	0.59	
23.75	0.14	0.18	0.17	0.17	0.18	0.16	0.15	0.17	0.17	0.17	0.18	0.17	0.19	0.18	0.18	0.19	0.17	0.19	0.17	0.18	0.17	0.6	
24.75	0.14	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	0.18	0.18	0.16	0.17	0.16	0.18	0.16	0.17	0.17	0.17	
rapport	7.14	6.1	6.25	5.88	6.25	5.88	6.25	5.88	5.88	5.56	5.88	5.88	5.56	5.56	6.25	5.88	6.25	5.56	6.25	5.88	5.88	5.98	

Tableau 8-a: Evolution de la masse unitaire par claie et rapport de séchage Essai N°4

Nbre heures	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	total
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.25	0.32	0.41	0.51	0.43	0.69	0.57	0.58	0.64	0.78	0.63	0.56
6.25	0.26	0.33	0.37	0.31	0.51	0.43	0.39	0.41	0.48	0.36	0.38
8.25	0.22	0.27	0.29	0.22	0.31	0.29	0.29	0.29	0.34	0.28	0.28
10.25	0.21	0.22	0.23	0.19	0.23	0.21	0.24	0.21	0.26	0.22	0.22
13.25	0.19	0.20	0.20	0.18	0.21	0.17	0.21	0.18	0.22	0.20	0.20
15.5	0.17	0.19	0.18	0.16	0.19	0.16	0.18	0.16	0.18	0.18	0.17
18.5	0.16	0.16	0.15	0.13	0.17	0.13	0.17	0.13	0.16	0.14	0.15
19.5	0.14	0.16	0.16	0.13	0.17	0.13	0.16	0.13	0.16	0.13	0.15
rapport	6.9	6.4	6.4	7.5	6.0	7.5	6.4	7.5	6.2	7.5	6.8

Tableau 8-b: Essai N°2 évolution de la masse unitaire pour chaque claie

les graphiques suivants montrent la courbe de séchage et l'évolution de la vitesse de séchage pour l'ensemble de la masse



Essai N°4 Evolution du rapport de séchage et vitesse moyenne de séchage

Le taux de séchage obtenu serait supérieur à celui obtenu avec le séchoir à gaz en 18 heures de séchage. Le rapport généralement obtenu est de 46/8 à 46/9, soit un rapport de 5.11 à 5.75. Si nous nous référons à ce taux, notre expérience a été trop prolongée et donc les coefficients calculés précédemment seront modifiés favorablement.

Les taux de séchage obtenus sont de l'ordre de 6/1 et plus ce qui est conforme aux recommandations.

Par rapport à l'essai N° 2 et N°4 lors de l'essai N°3 le séchage a été moins homogène et le taux de séchage plus faible

Lors des essais les taux de séchage maximum et minimum sont regroupés dans le tableau suivant:

	Masse fraîche (kg)	Masse finale (kg)	Rapport de séchage	Rapport minimum	Rapport maximum
Essai N°1	35	7	5	4.7	5.4
Essai N°2	45	6.65	6.8	6	7.5
Essai N°3	95	17.2	5.52	4.6	6.67
Essai N°4	100	16.72	5.98	5.88	7.14

Les permutations réalisées lors de l'essai N 4 seraient à l'origine de cette homogénéité.

#### • Consommation électrique:

L'utilisation du compteur nous permet d'estimer la consommation totale. Cependant les pannes survenues n'ont pas permis son utilisation continue.

Ainsi pour évaluer la consommation totale, nous évaluerons la consommation moyenne à partir de l'index du compteur aux différents instants. Le tableau suivant indique les puissances moyennes pour les essais (précision de lecture 1kwh par défaut)

	ESSAI 1	ESSAI 2	ESSAI 3	ESSAI 4
période	de 13h à 16h	22h40 à 7h07	12h48 à 5h40	12h à 14h30 le lendemain
nbre d'heures	3	8h27'	17h08	26h30
consommation(kwh)	10	30	55	85
consommation moyenne(kwh/h)	3.33	3.55	3.21	3.21
durée de fonctionnement ou de séchage	24h30	20h25	30h57	36h30
consommation totale (kwh)	82.25	72.5	97	85

La durée de fonctionnement comprend la durée de séchage et la préchauffage de l'enceinte.

### C.III.3.SYNTHESE DES RESULTATS

Essai	Quantité séchée en kg	Quantité finale en kg	Durée en heures	Rapport de séchage	Consommation en kwh	Débit produit en kg/h
N°1	35	7	24.5	5	82.25	0.286
N°2	45	6.6	19.5	6.77	72.5	0.34
N°3	100	17.21	28H45	5.81	97	0.6
N°4	100	16.72	24.5	5.98	85	0.68

L'essai N°2 a duré moins que le 1<sup>er</sup> essai, même avec un chargement supérieur. Le taux de séchage également atteint est plus grand. Il y a deux raisons:

- conditions météorologiques: il a plu la nuit lors du 1<sup>er</sup> essai
- maîtrise de la disponibilité des claies.

Le 3<sup>e</sup> essai paraît très intéressant. En effet il permet d'obtenir un débit séché de 0.6 kg/H contre 0.34 pour le 1<sup>er</sup> et une consommation moyenne de 5.64 à 5.08 contre 10.9 pour le 2<sup>ème</sup>. pour pratiquement le même taux de séchage atteint.

	Essai I	Essai II	Essai III	Essai V
Masse d'eau extraite (kg)	28	38.35	82.79	83.28
Consommation spécifique Cs (kWh/kg d'eau extrait)	2.94	1.89	1.17	1.02
REG(%)	22	35	55	63.72

## D. ANALYSE COMPARATIVE AVEC LE SECHOIR A GAZ

Dans cette partie, nous allons déterminer, sur la base des résultats obtenus lors des essais de mesure, les charges de fonctionnement et le coût d'investissement de ce séchoir et ensuite une évaluation du prix de revient du kg de mangues séchées. La comparaison de ce prix de revient avec celui d'un séchoir à gaz type ATESTA nous permettra de juger la rentabilité de cette technologie. Mais avant d'aborder cette étude nous allons faire un aperçu rapide du séchoir à gaz conçu par ATESTA.

### I. DESCRIPTION GENERALE DU SECHOIR A GAZ

Depuis 1992 le CEAS mène des expériences sur des séchoirs utilisant le gaz comme combustible pour le chauffage de l'air, qu'on désigne par "séchoir à gaz". En 1994 on comptait déjà une trentaine de séchoirs à gaz diffusés.

#### D.I.1. CARACTERISTIQUES DU SECHOIR

Les caractéristiques de ses séchoirs sont en m:

- bâti en briques de dimensions  $(L \times l \times h) = (2.3 \times 1.1 \times 2.2)$
- deux cellules de séchage concomitantes pourvues chacune d'une entrée d'air, d'un brûleur et une gaine de séchage conçue pour recevoir dix claies de 0.7 m<sup>2</sup> et trois chicanes chacune

Le chauffage de l'air est assuré par un brûleur domestique à rampes et le système d'aération se fait par le bas, à l'avant du séchoir. Le débit d'air est ajustable et peut atteindre 250 m<sup>3</sup>/h.

La capacité de chargement est de 6.5 kg de produits frais par m<sup>2</sup> de claies, soit 46 kg de produits frais par cellule. Le chargement se fait à travers la porte d'accès à la gaine à partir des claies constituées d'un cadre grillagé sur lequel on place un tissu moustiquaire.

La durée de séchage varie de 18 à 22 heures selon les conditions locales et les paramètres de séchage.

Ce modèle de séchoir a été conçu pour permettre le séchage des fruits et légumes. C'est un séchoir à convection naturelle. Il est conçu pour être utilisé en un ensemble de un à plusieurs séchoirs de façon artisanale ou sémi-industrielle même dans des conditions rudimentaires.

Son entretien se limite au renouvellement des claies et au nettoyage/surveillance des brûleurs et du circuit de gaz. Sa durée de vie est estimée à 5 ans.

### D.I.2. PRINCIPE DE SECHAGE A GAZ.

Les brûleurs réchauffent l'air qui entre dans le séchoir. Il s'établit un courant d'air chaud par convection naturelle entre l'entrée d'air frais et la cheminée.

Les ventilateurs peuvent également être utilisés pour résoudre quelques problèmes, augmenter le débit d'air ou la vitesse d'air par exemple.

## II. ANALYSE ECONOMIQUE

Cette évaluation se fera en s'appuyant sur les résultats obtenus avec l'unité de Bobo-Dioulasso, et les résultats d'exploitation d'une entreprise de séchage basée à Orodara au Burkina Faso (dont le compte de résultats de 1995 sont présentés dans le livre ("Séchoir des produits alimentaires" collection le Point sûr)

### D.II.1. LE COUT D'INVESTISSEMENT

Il sera calculé en se référant au devis estimatif du séchoir à gaz réalisé par ATESTA étant donné que l'enceinte de séchage sera pratiquement identique pour les deux types de séchoirs. Au niveau du séchoir par déshumidification la chambre de chauffe et son dispositif est remplacés par le split et le bac d'isolation

A cet effet voici en récapitulatif le devis de fabrication du séchoir à gaz réalisé à ATESTA.

code	désignation	prix total
A	Semelle	70970
B	Boxe/Socle	287776
C	Casque + semelle de cheminée + tamis	152655
D	Cheminée + portes look+ diffuseur + brûleur	148995
E	Claies et thermomètres	158260
F	Bouteille de gaz + détendeur	27500
T	total	846156

Pour le séchoir par déshumidification, nous faisons les approximations suivantes pour évaluer le coût de l'enceinte de séchage.

- Le point D du tableau précédant n'intervient dans le coût de l'enceinte que pour la cheminée, qui est envisageable. Dans l'état actuel, nous ne l'envisageons pas; de même que le point F. Le point C quant à lui n'intervient que pour le tamis que nous évaluons à 40% de C.
- Pour le point E, étant donné les faibles températures qui y règnent le contrôle de température n'est pas très exigeant et donc un seul thermomètre suffit, deux au maximum.

L'enceinte est donc évaluée à:  $A+B+0.4*C+128260$  48068 f cfa soit 550000f  
sa durée de vie est de 5 ans

Le coût du split est de 1500000f et sa durée de vie est de 5 ans

Désignation	Coût d'investissement	Durée de vie	Amortissement
Séchoir déshumidificateur	2050000		410000
split	1500000	5	300000
séchoir	550000	5	110000
Séchoir à gaz	850000	5	170000

### D.II.2.LES CHARGES D'EXPLOITATION

Des résultats du 3<sup>e</sup> et du 4<sup>e</sup> essai on retient une moyenne de consommation énergétique CEM entre 5 et 5.6 Kwh/kg de mangue séchée. Nous retenons 5.3 kwh/kg en moyenne pour la suite de nos calculs. La consommation spécifique  $C_s$  est de 1 à 1.2 kwh/kg d'eau extraite. Pour le séchoir à gaz, elles sont de 1.8 à 2.2 kwh/kg d'eau pour le  $C_s$  et de 0.6 kg de gaz par kg de mangues séchées.

Les charges d'exploitation sont évaluées dans l'hypothèse que toute la production est vendue à l'étranger.

#### a) Données économiques

- La durée de campagne de séchage (correspondant à la période de maturité des mangues au Burkina Faso ) est de 6 mois et en moyenne on sèche 20 jours par mois, soit 120 jours ou 2880 heures de séchage par an .

- Le prix d'achat des mangues est de 25 F/Kg et le transport est de 8F/Kg soit 33F/Kg à Ouagadougou .

Le rendement de production est de 15/1 en moyenne c'est-à-dire qu'il faut 15 Kg de mangues fraîches pour 1 Kg de mangues séchées .

On suppose qu'ils ont le même taux de déchets estimé à 13% . En réalité , le séchoir par déshumidification permet d'avoir un taux de déchets de plus faible du fait de la température à l'entrée lorsque les permutations sont bien faites ).

Pour l'activité de séchage , 10 personnes suffisent et nous évaluons le coût de la main d'oeuvre à 250 F/Kg de mangues séchées . Les intrants (cartons et sachets pour emballage) sont estimés à 300 F/kg de mangues.

Les mangues séchées sont exportées et vendues à 4000 F/kg

Hypothèses spécifiques

	Séchoir à gaz	séchoir déshumidificateur
Durée du cycle	18h à 20 h	23h à 24h
Nombre de cycles par an	2880/18= 160	120 à 125
Quantité produite par cycle	46 kg de mangue fraîche par cellule =92 kg par séchoir	50 kg de mangue fraîche par cellule ;= 100 kg par séchoir
Mangues sèches	16 kg	17 kg
Production annuelle	<b>2560 kg</b>	<b>2125 kg (pour 23h/cycle)</b>

Entretien	<ul style="list-style-type: none"> <li>remplacement des claies =30 claies par an</li> <li>remplacement des brûleurs et des diffuseurs =50%*D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>remplacement des claies =20 claies par an</li> <li>entretien du split = 5% de l'investissement</li> </ul>
Consommation d'énergie	0.6 kg de gaz/kg séchée soit <b>1536 kg de gaz /an</b>	3.2 kwh/h 4.33 à 4.5 kwh/kg séché soit <b>9201 kwh/an</b>

Pour un branchement de 15 ampères, l'électricité coûte 86 F/kWh et les primes fixes sont de 3696 F par mois avec une redevance de 317 F. A cela il faut ajouter la TVA de 18% dès que la facture dépasse 15000 F, ce qui est le cas ici. Pour une année les frais de primes et redevances sont de  $3696*12+317*12=48156$ F par an. Le coût du kwh tenant compte de la TVA est de  $86*(1+0.18)=101.48$  FCFA

### b) Charge d'exploitation

Désignation	Séchoir à gaz				Séchoir déshumidificateur d'air			
	Quantité	Unité	P. Unit	Total	Quantité	Unité	P. Unit	Total
Matièresières	38400	kg	33	1267200	31875	kg	33	1051900
Intrants	2560	kg	300	768000	2125	kg	300	637500
Energie gaz électricité - prime et redevance Total	1536	kg	333	511500	9201	kwh	101.48	933720 48156 <b>938532</b>
Entretien claies brûleur + diffuseur + détendeur	30	u	4913	147400 77000	20	u	4913	98260
main d'oeuvre	2560	kg	250	640000	2125	kg	240	550000
Frais généraux	Forfait			175000	Forfait			175000
Amortissement				170000				410000
Transport export	2227.2	kg	300	668160	1848.75	kg	300	554600
Impôts et taxes				190000				180000
Total				<b>4614260</b>				<b>4596790</b>
Prix de revient au kg				<b>1802.4</b>				<b>2163.19</b>

### c) Compte de résultat prévisionnel

Nous allons présenter le compte de résultat prévisionnel de l'activité de séchage sur 5 ans

Recettes annuelles = prix de vente du kg \* production annuelle de mangues séchées \* 0.87 13% de déchets

	Année 0	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5
Recette		7395000	7395000	7395000	7395000	7395000
Dépenses	2050000	4596790	4596790	4596790	4596790	4596790
RBE	(2050000)	2798210	2798210	2798210	2798210	2798210
RBE cumulé	(2050000)	748210	3546420	6344630	9142840	11941050

RBE = Résultat brute d'exploitation

Le prix de revient est donc estimé à 1802 F/Kg de mangue séchée pour le séchoir à gaz et de **2163.2 F/Kg** pour le séchoir déshumidificateur, soit 1.2 fois celui du séchoir à gaz. On voit donc que le séchoir à gaz est préférable à celui par déshumidification pour deux raisons :

- 1- Prix de revient plus cher
- 2- Durée de cycle plus long donc capacité de production ou débit de production faible par rapport à celui de gaz .

Cependant il garantit très bien la qualité du produit séché et la facilité de fonctionnement: pas de réglage de flamme à faire, pas de chargement à faire comme pour le gaz . Le fonctionnement peut facilement être programmé et la seule surveillance est la permutation régulière des claies afin de permettre un séchage homogène.

Analyse du prix de revient par rapport au prix de KWh d'électricité

A présent analysons l'effet de variation du prix de l'électricité sur le prix de revient . Dans le tableau des dépenses on voit que c'est le port de consommation en énergie qui est plus important et présente un grand écart .Ramené à la même production de 2125 Kg de mangues séchées, le séchoir à gaz consomme 424575 F en gaz contre 938530 F pour le séchoir humidificateur soit un rapport de 1/2.21. Ce rapport peut être atténué voire même inversé dans les pays à faible coût d'énergie électrique.

Dans l'hypothèse du prix de gaz constant,

$$\text{coût de gaz/Kg} = 0.6 * 333 = 199.8 \text{ F/Kg}$$

$$\text{coût d'électricité} = 90 * 4.33 = 389.1 \text{ F/Kg}$$

Le séchoir déshumidificateur devient donc plus économique pour un prix d KWh inférieur à 46 F

Remarque

Avec la conception de nouveaux séchoirs, l'adaptation de ces séchoirs au système de déshumidification permettra d'obtenir un rendement meilleur : moins de fuites, diminution de la durée du cycle et donc du coût de consommation en énergie, poste très important dans les dépenses et enfin augmentation de la capacité de production.

### III. CONCLUSION PARTIELLE

Le séchoir tel que présenté, présente peu d'intérêts au Burkina Faso.

Plusieurs paramètres le démontrent:

Le temps de séchage par cycle est trop long; même avec les séchoirs solaires à convection naturelle on arrive à sécher en 22 heures. Avec ce séchoir en convection forcée, on devrait pouvoir sécher en moins de 20 heures, ce qui n'est pas le cas.

Par rapport à la qualité du produit séché les séchoirs à gaz donnent des produits d'une bonne qualité, avec un temps plus court (18 à 20 heures). A cela il faut ajouter le coût élevé d'électricité et le coût des investissements.

## **E. SUGGESTIONS ET RECOMMANDATIONS**

Au vu du fonctionnement du séchoir, nous proposons certaines modifications pour améliorer le fonctionnement. Ces modifications portent essentiellement sur le dispositif.

- **Amélioration du circuit de l'air dans le séchoir**

Pour faciliter le mouvement de l'air dans le séchoir il faudra aménager le trou donnant sur le second compartiment en y plaçant deux coudes en contre-plaqué, l'un dans le 1<sup>er</sup> compartiment et l'autre dans le second compartiment formant ainsi demi-cercle. Ceci évitera que l'air aille buter directement sur le toit du 1<sup>er</sup> compartiment avant de passer dans le second. .

Afin d'éviter les fuites et les infiltrations, l'ensemble compresseur condenseur et l'évaporateur doivent être bien isolés; le bois et le polystyrène pourront servir à cet effet. Une courte conduite permettra de raccorder l'ensemble contenant le split et l'enceinte de séchage proprement dite.

Toutes ces précautions étant prises nous pensons que les performances du séchoir pourront s'améliorer, permettant ainsi de réduire la durée de séchage et par suite le prix de revient au kg.

- **Période d'utilisation optimale**

Il a été remarqué lors des essais que l'humidité relative de l'air à la sortie du condenseur varie peu avec l'humidité relative de l'air ambiant; l'amplitude des variations n'excède pas 10%. il serait peut-être intéressant que le séchoir déshumidificateur soit utilisé surtout en saison pluvieuse où l'humidité relative est élevée; le reste du temps, le séchoir à gaz peut être utilisé en cas de besoin.

Une étude économique permettra de voir si il est bénéfique d'installer les deux pour fonctionner le premier en saison des pluies et le second en saison sèche.

Dans les régions humides ce séchoir peut être utilisé toute l'année.

- **Utilisation du séchoir**

La température dans le séchoir étant modérée il convient pour le séchage d'aliments séchant vite ou découpés en tranches de faible épaisseur afin de faciliter le séchage. Il peut donc être utilisé pour sécher l'oignon, la tomate la pomme de terre etc... Mais les investissements et les charges de fonctionnement étant élevés, son utilisation peut être réservée aux produits ayant une grande importance.

- **Quelques observations**

Par rapport au prix de revient que nous avons évalué à 2163.2 F il faut remarquer que les investissements sont aussi importants: amortissement de 410000F par an contre 170000F pour le séchoir à gaz. A cela il faut ajouter les frais de branchement, dont nous n'avons pas tenu compte dans l'évaluation du

prix de revient. En conclusion on voit que le prix de revient du kg de mangues séchées par un séchoir déshumidificateur est beaucoup plus élevé que celui du séchoir à gaz et ceci n'est pas étonnant.

L'investissement élevé du séchoir par déshumidificateur est un facteur limitant à sa vulgarisation en dehors de son coût en énergie. Ceci est d'autant plus vrai dans le cas d'une production industrielle. De plus le gaz offre une dépendance énergétique plus importante que l'électricité.

Cependant il faut surtout remarquer qu'un split n'est pas destiné au séchage. Cette utilisation ne serait sans doute pas adaptée pour le bon fonctionnement de l'appareil. La puissance enregistrée lors de ses essais en dit quelque chose. La puissance nominale étant de 2.7 kWh la puissance électrique consommée est de 3.2 kWh en moyenne, soit 1.19 fois la puissance nominale ce qui n'est pas négligeable.

Dans les pays humides où l'humidité de l'air est naturellement élevée, il peut être intéressant de déshumidifier préalablement l'air avant de le chauffer. Cette technique dans ce cas s'avère plus intéressante et plus rentable que le gaz.

De plus dans les pays où l'électricité est moins chère, cette technique peut être plus intéressante que le gaz surtout lorsqu'on considère une production industrielle pour laquelle les performances du séchoir pourraient être meilleures.

Dans l'option d'une production de grande capacité, la fabrication d'une pompe à chaleur destinée au séchage peut permettre d'obtenir de bons résultats à un prix de revient acceptable.

Le développement de séchoirs solaire-gaz est à encourager au Sahel où l'énergie solaire est abondante et presque toute l'année. Ceci permettra de faire une économie d'énergie surtout en cette période de crise.

## CONCLUSION

Cette étude nous a permis de comprendre le fonctionnement du séchoir déshumidificateur d'air et de déterminer certaines de ses caractéristiques essentielles. Les essais réalisés nous ont permis de connaître le séchoir et les caractéristiques de l'air à l'entrée du séchoir. La capacité atteinte est de 100 kg de tranches de mangues fraîches pour les deux compartiments. Avec cette le séchoir permet d'atteindre un rapport de séchage de 6 en 24 heures de séchage, ce qui est largement suffisant pour une conservation pendant plusieurs mois.

La température et l'humidité relative à l'entrée du séchoir varient respectivement entre 50 et 60°C et 5 à 12%; la puissance électrique consommée est de 3.2 kW en moyenne.

Malgré quelques difficultés techniques liées au fonctionnement du système de déshumidification et de chauffage de l'air, les essais se sont bien déroulés. Les produits obtenus sont d'une très bonne qualité. Comparé au séchoir à gaz, le séchage par déshumidification offre une qualité meilleure.

Le séchoir déshumidificateur d'air offre une grande capacité de production et une qualité meilleure. Cependant son prix de revient de 2153.8F est beaucoup plus élevé que celui du séchoir à gaz qui est de 1802 francs par kg de mangues séchées.

Malgré les avantages que le séchoir déshumidificateur offre, sa durée du cycle de séchage, son coût d'investissement et son prix de revient élevé limitent sa diffusion dans les pays sahéliens dont le Burkina Faso. Le système, tel que utilisé n'est pas rentable.

Cette technique serait plus intéressante dans le cadre d'une production industrielle où un dispositif plus adapté permettrait d'obtenir des performances meilleures. Dans le cas présent, il nous semblerait que ce système coûte plus cher que celui à gaz; il conviendrait mieux aux pays humide et surtout dans un cadre industrielle ou semi-industrielle beaucoup plus grand.

## **F. ANNEXES**

- **Activité de l'eau dans le produits**
- **Représentation de l'évolution de l'air dans le séchoir sur un diagramme de l'air humide**
- **Composition biologique de quelques fruits**
- **Plan du séchoir à gag CEAS-ATESTA**
- **Mesures et résultats des essais**

**BIBLIOGRAPHIE**

- Sécher des produits alimentaires  
Techniques, procédés, équipement  
Guide technique  
Collection le point sur : GRET, Ministère de la coopération, CTA
- Séchage solaire des produits alimentaires  
Dossier N°8  
Collection le point sur . 1986 GRET, GERES.
- Manuel de conditionnement de l'air  
Tome II Techniques du conditionnement du froid  
Pyc Edition Desforges
- Les applications du froid en pays tropicaux: Colloque International d'Abidjan  
1964  
Edition Institut International du froid.
- Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes  
Expériences et procédés, Guide pratique  
Auteur: Phillipe Dudez  
Edition GRET, Ministère de la coopération
- Technologie de séchage des fruits et légumes: Document de formation Centre  
Ecologique Albert Schweitzer (CEAS): SAPE, 1997  
auteur : Fogué KOUDUAHOU
- Mémoires de fin d'étude (E.I.E.R.)
- Séchage solaire en Afrique  
compte rendu du colloque tenu à Dakar, SENEGAL du 21 au 24  
juillet 1986.
- Pompes à chaleur et circulation de l'air dans les locaux climatisés.  
Science et technique du froid.
- Manuel de conservation des produits agricoles tropicaux  
Technique rural en Afrique
- Expérimentation d'un séchoir solaire: applications aux produits de la mer  
dans l'Océan Indien.

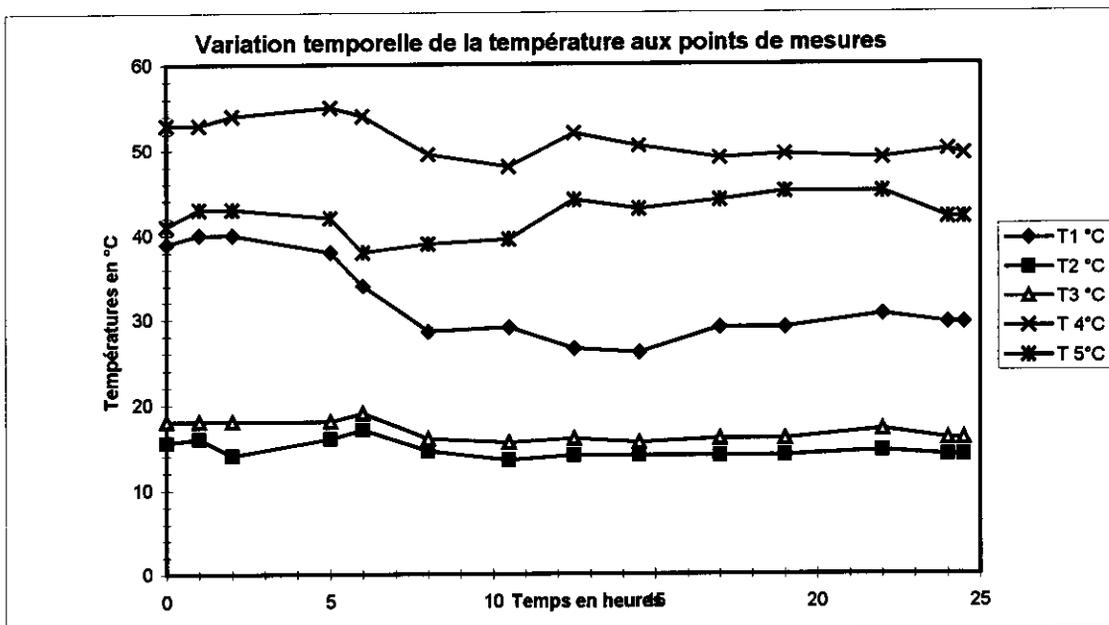
## **Mesures et résultats des essais**

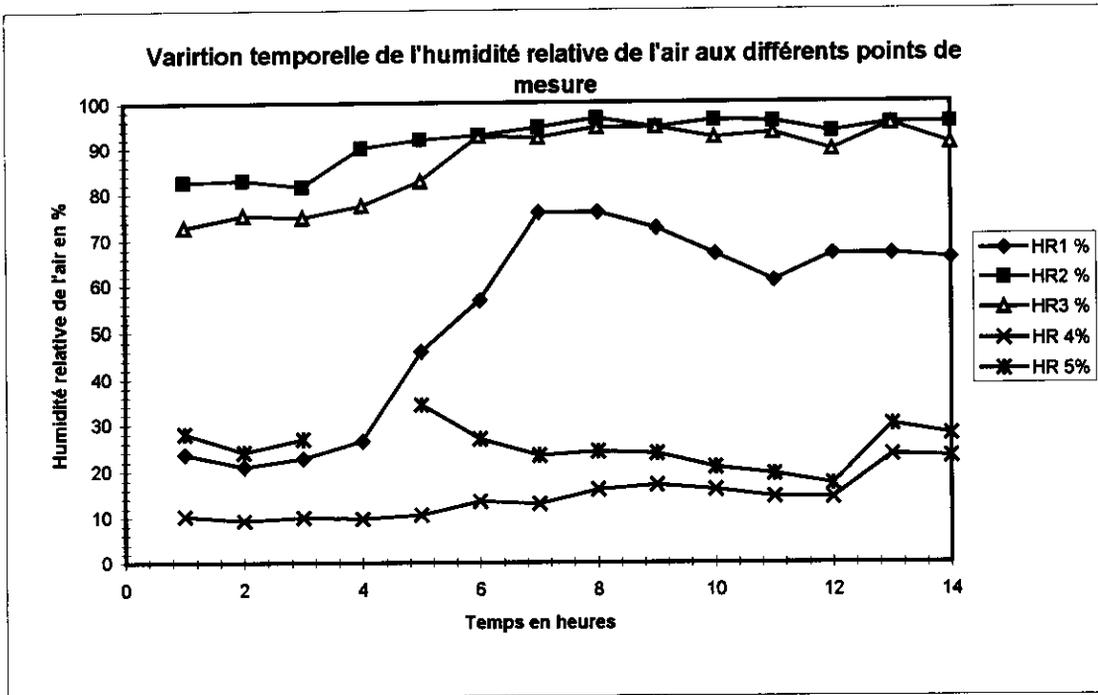
date: du 29 au 30-04-1998

Heures	Evaporateur						Condenseur						mass d'eau en kg	Sortie du séchoir		
	Entrée			Sortie			Entrée			Sortie				T °C	T h °	HR %
	T °C	Th °C	HR %	T °C	Th °C	HR %	T °C	Th °C	HR %	T °C	Th °C	HR %				
13h10	39	23	23,6	15,5	14	82,5	18	16	72,8	53	27	10,2		41	26	28
14h10	40	23	21	16	14	83	18	16	75,4	53	26	9,3	2,7	43	26	24
15h10	40	23	22,8	14	13	81,6	18	16	75	54	24	10	6,5	43	28	26,8
18h	38	23	26,4	16	15	90	18	16	77,5	55	25	9,7	8,8	42		
22h40	34		46	17		91,8	19		82,7	54		10,6		38		34,3
24h30	28,5		56,8	14,5		92,8	16		92,5	49,5		13,5	24,1	39		26,8
3h	29		76	13,5		94,5	15,5		92,2	48		13	32,8	39,5		23,3
5h	26,5		76	14		96,5	16		94,5	52		16	44,8	44		24,2
7h	26		72,6	14		94,5	15,5		94,5	50,5		17	57,1	43		23,8
9h30	29		67	14		96	16		92,3	49		16	65	44		20,8
11h30	29		61	14		95,8	16		93,3	49,5		14,5	69,8	45		19,4
14h30	30,5		67	14,5		93,5	17		89,5	49		14,3	79,2	45		17,3
16h30	29,5		67	14		95,3	16		95,2	50		23,5		42		30
17h	29,5		66	14		95,5	16		90,8	49,5		23	91,4	42		27,8
			53,5			91,7			87			14,3				25,1

Heure	Tem	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T5 °C
13h1	0	39	15,5	18	53	41
14h1	1	40	16	18	53	43
15h1	2	40	14	18	54	43
18h	5	38	16	18	55	42
22h4	6	34	17	19	54	38
24h3	8	28,5	14,5	16	49,5	39
3h	10,5	29	13,5	15,5	48	39,5
5h	12,5	26,5	14	16	52	44
7h	14,5	26	14	15,5	50,5	43
9h30	17	29	14	16	49	44
11h3	19	29	14	16	49,5	45
14h3	22	30,5	14,5	17	49	45
16h3	24	29,5	14	16	50	42
17h	24,5	29,5	14	16	49,5	42
Moyen		32	14,6	16,8	51,1	42,2

Tem	R1	R2	R3	R4	HR 5%
13h1	23,6	82,5	72,8	10,2	28
14h1	21	83	75,4	9,3	24
15h1	22,8	81,6	75	10	26,8
18h	26,4	90	77,5	9,7	
22h4	46	91,8	82,7	10,6	34,3
24h3	56,8	92,8	92,5	13,5	26,8
3h	76	94,5	92,2	13	23,3
5h	76	96,5	94,5	16	24,2
7h	72,6	94,5	94,5	17	23,8
9h30	67	96	92,3	16	20,8
11h3	61	95,8	93,3	14,5	19,4
14h3	67	93,5	89,5	14,3	17,3
16h3	67	95,3	95,2	23,5	30
17h	66	95,5	90,8	23	27,8
Moye	53,5	91,7	87	14,3	25,1





Evolutin spaciale de la température et de l'humidité relative

Entée évaporate		Sortie évaporate		Entrée condense		Sortie condense		Sortie Séchoir		temps		
h	x	v	h	x	v	h	x	v	h	x	v	
16	10	0,9	9,4	9	0,8	18	9	0,9	18	14	0,91	13h
17	11	0,9	9,5	9,5	0,8	18	8,7	0,9	18	13	0,9	14h
16	11	0,9	8,4	8,3	0,8	19	9,3	0,9	19	14	0,92	15h
16	12	0,9	10	10	0,8	19	9,4	0,9	18			18h
18	15	0,9	11	11	0,8	19	9,9	0,9	18	14	0,9	22h30
15	14	0,9	9,4	9,7	0,8	18	10	0,9	17	12	0,9	24h40
19	19	0,9	9,8	9,3	0,8	17	8,8	0,9	16	10	0,92	3h
17	17	0,9	9,3	9,7	0,8	21	14	0,9	19	14	0,92	5h
16	15	0,9	9,3	9,6	0,8	21	14	0,9	18	13	0,92	7h
17	17	0,9	9,3	9,7	0,8	19	12	0,9	18	12	0,92	9h30
16	15	0,9	9,3	9,7	0,8	19	11	0,9	19	12	0,91	11h30
19	19	0,9	9,3	9,7	0,8	19	10	0,9	17	10	0,91	14h
18	18	0,9	9,3	9,7	0,8	23	18	0,9	20	16	0,91	16h30
17	15	0,9	9,5	9,6	0,8	19	11	0,9	18	13	0,91	Moyenne

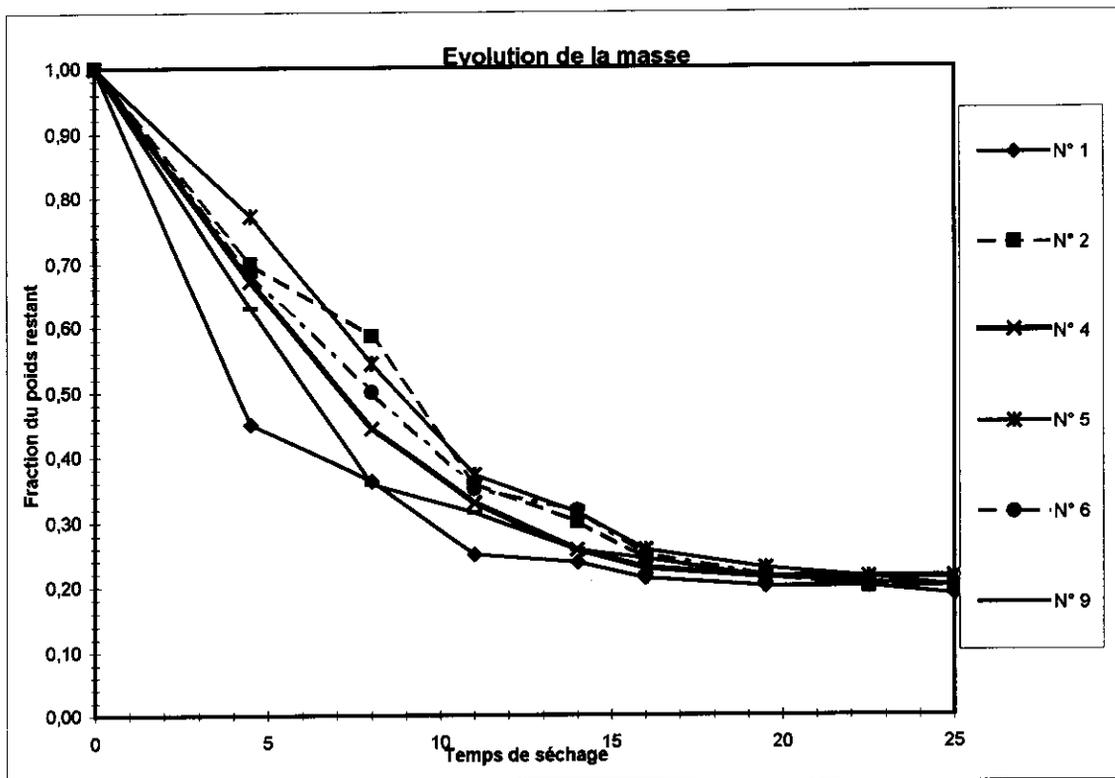
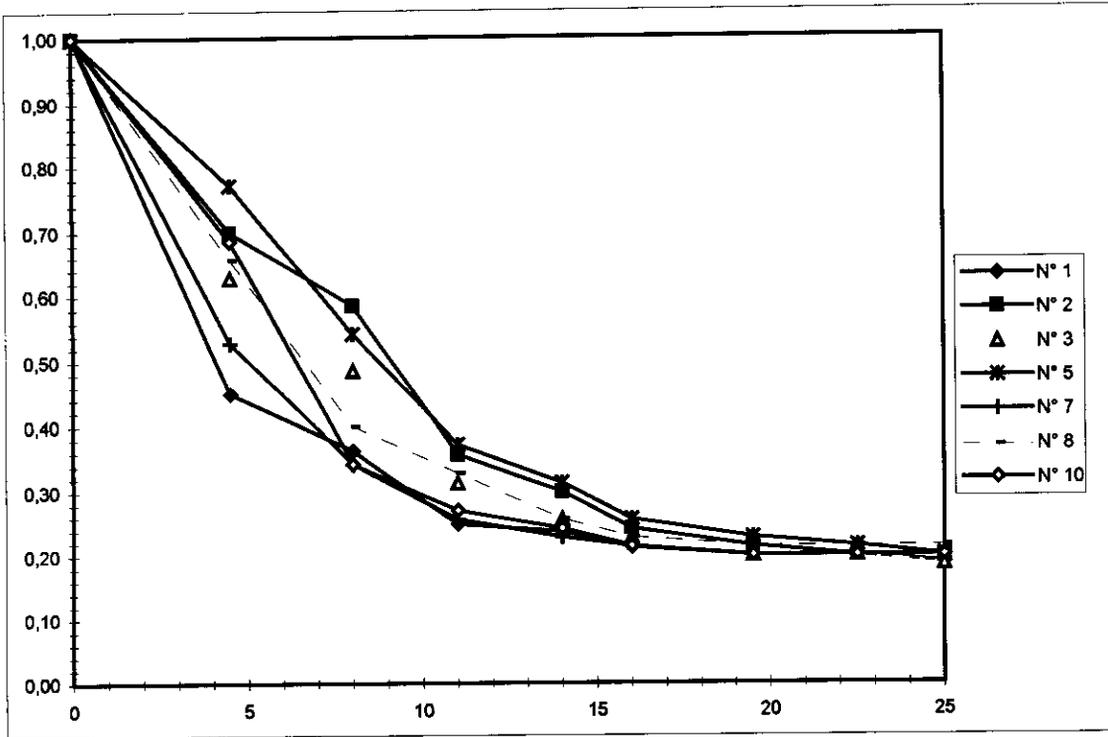
h= enthalpie en kcal/kg as  
x= teneur en eau en g/kg as

v= volume massique en m3/kg as

V= 5,5 m/s  
S= 0,04 m2

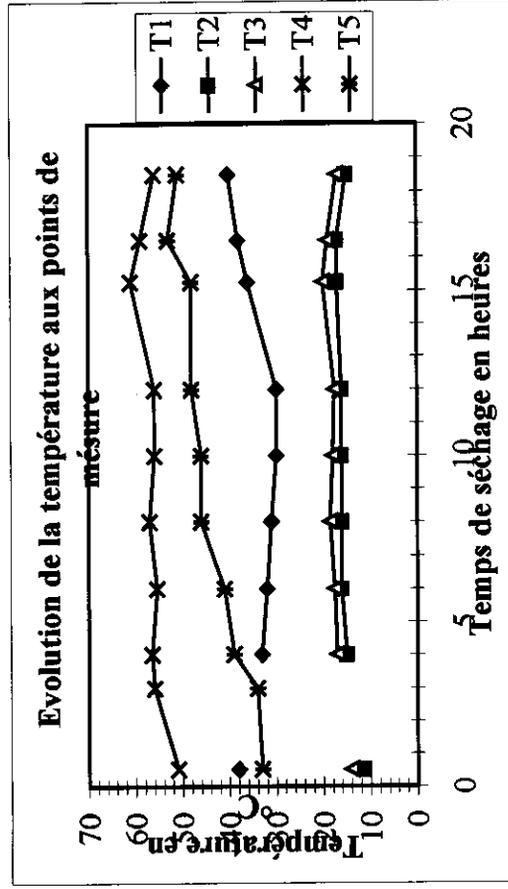
Nbre d'heu	S*V/2*(x)	cumule
0	0,56	0,56
1	1,03	1,59
2	4,16	5,75
5	3,08	8,83
6	5,37	14,20
8	7,89	22,09
10,5	19,66	41,75
12,5	11,91	53,66
14,5	10,89	64,55
17	14,17	78,72
19	12,30	91,02
22	19,18	110,19
24	8,40	118,60
24,5		118,60

Debit Q=	712,80 m3/h
masse d'ea	118,60
masse moyenne=	109,17

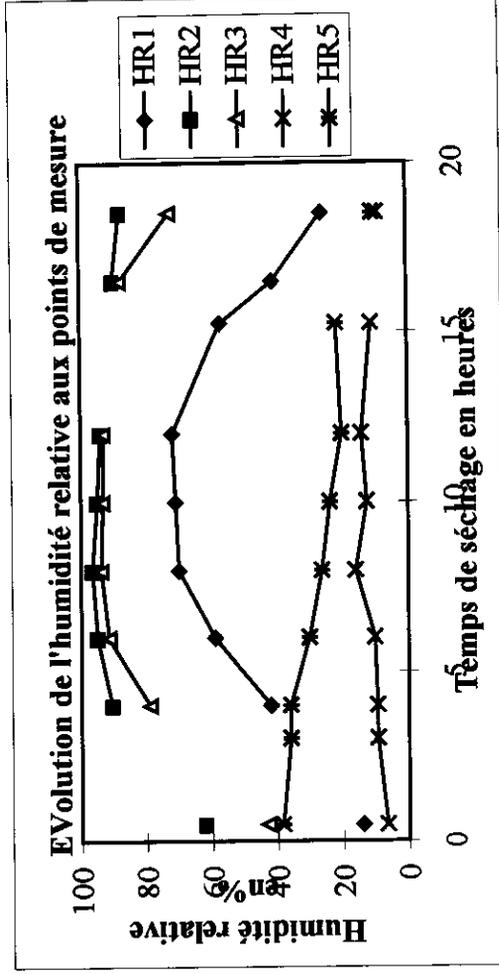




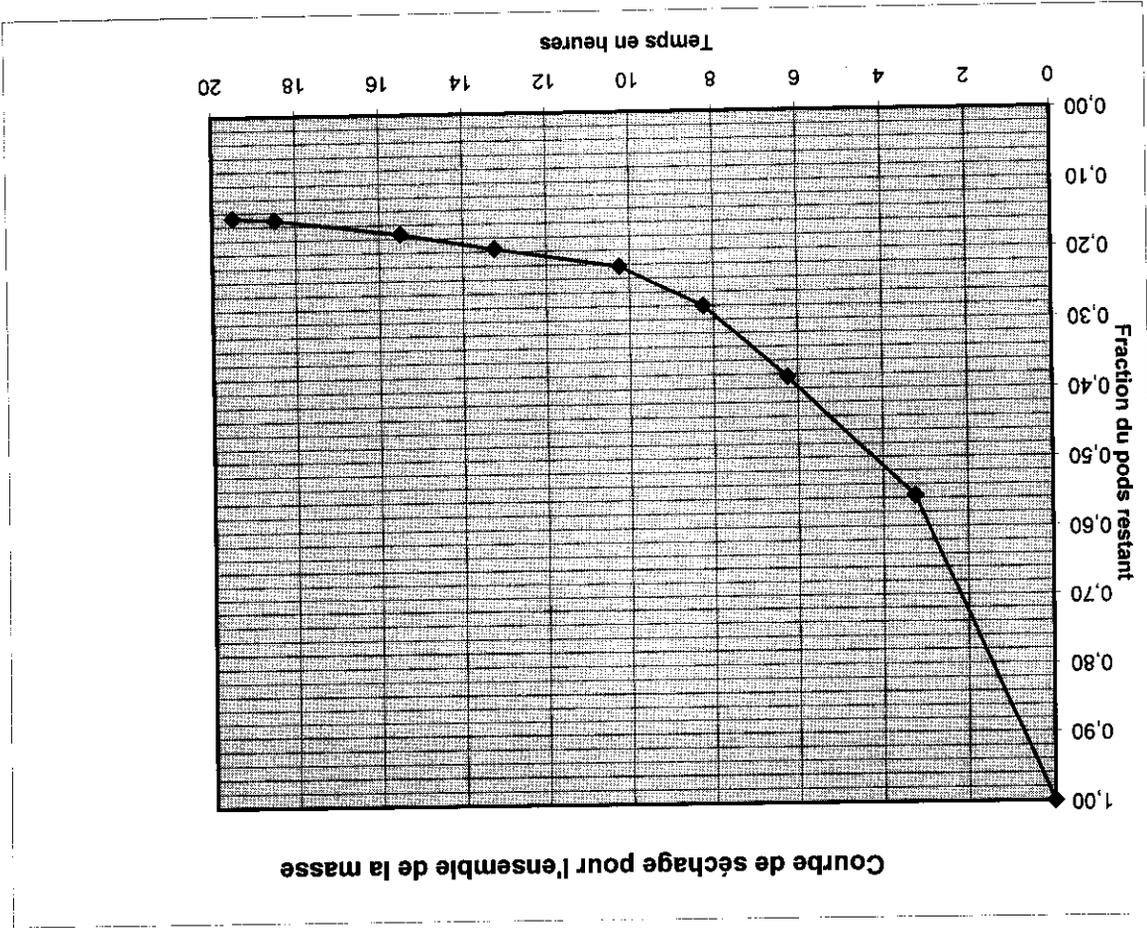
Nombre d'he	Evolution de la température aux points de mesure					Evolution de l'humidité relative aux points de mesure				
	T1	T2	T3	T4	T5	HR1	HR2	HR3	HR4	HR5
0,5	38	11,5	14	51	33	14	62	43	6,5	38,5
3				56	34				9,5	35,9
4	33	15	17	56,5	39	42	90,6	79	9,5	35,9
6	32	16	17,5	55,5	41	59	94,9	91,5	10,3	30,1
8	31	16	18,5	57	46	70	96,6	93,9	16	26,4
10	30	16	18	56	46	71	95	93,3	12,6	23,8
12	30	16	17,5	56	48	72	94	93	14,2	20,1
15,25	36	17	20	61	48	57			11	21,7
16,5	38	17	19	59	53	41	90	87,8		
18,5	40	15	17	56	51	26	87,7	72,6	9,1	10,5
Moyenn	34,22	15,5	17,31	56,4	43,9	50,22	88,85	81,76	10,97	26,99



1=entrée évapérateur    2= sortie évapérateur  
 4= sortie condenseur,entrée séchoir

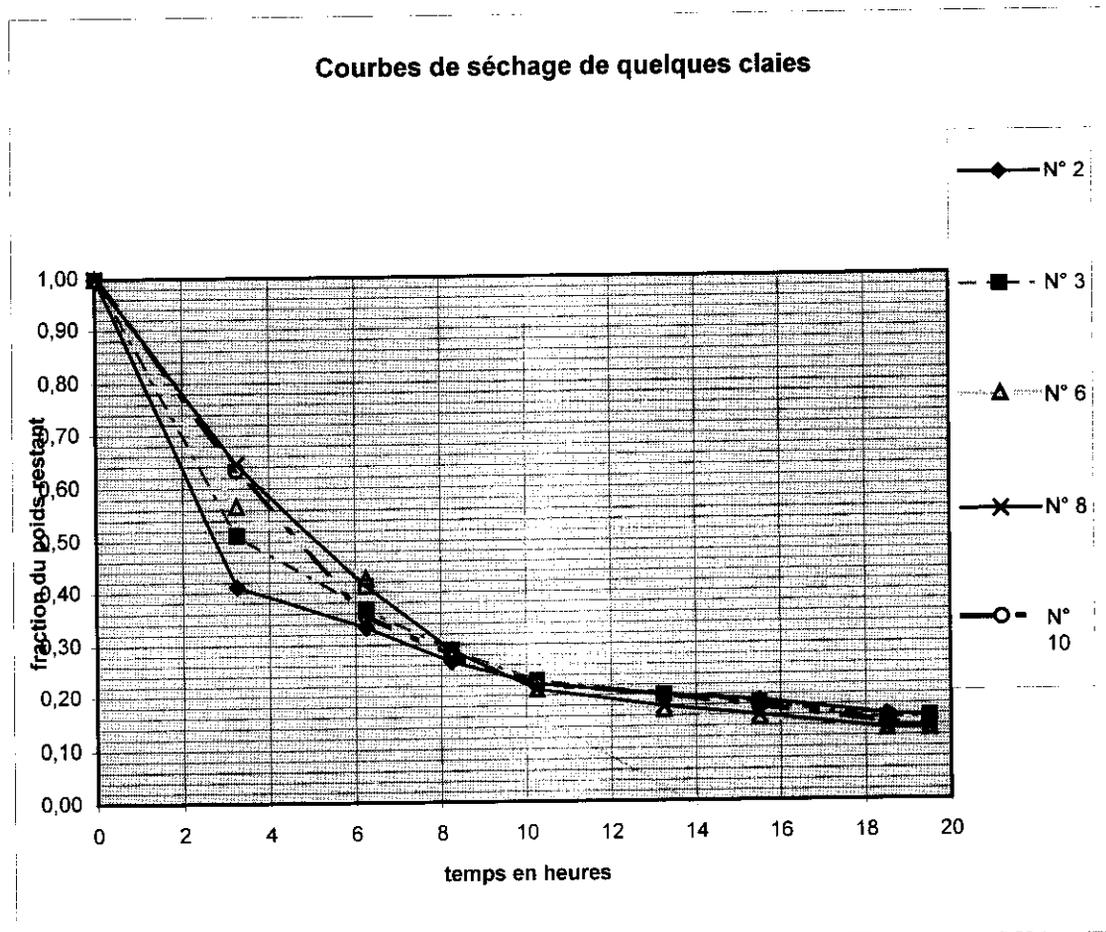
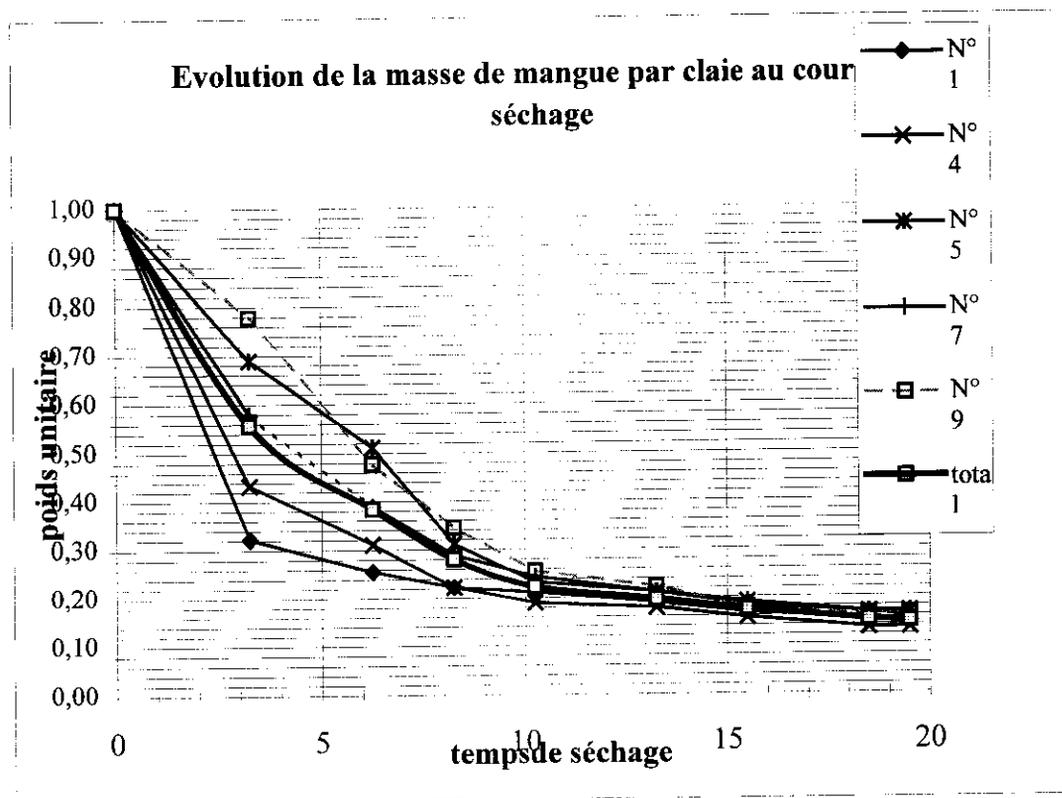


3= entrée condenseur  
 5= sortie séchoir



Nbre he	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	total	vitesse
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,1385
3,25	0,32	0,41	0,51	0,43	0,69	0,57	0,58	0,64	0,78	0,63	0,56	2,5933
6,25	0,26	0,33	0,37	0,31	0,51	0,43	0,39	0,41	0,48	0,36	0,38	2,335
8,25	0,22	0,27	0,29	0,22	0,31	0,29	0,29	0,29	0,34	0,28	0,28	1,285
10,25	0,21	0,22	0,23	0,19	0,23	0,21	0,24	0,21	0,26	0,22	0,22	0,4033
13,25	0,19	0,20	0,20	0,18	0,21	0,17	0,21	0,18	0,16	0,18	0,17	0,4489
15,5	0,17	0,19	0,18	0,16	0,19	0,16	0,18	0,16	0,16	0,18	0,17	0,3433
18,5	0,16	0,16	0,15	0,13	0,17	0,13	0,17	0,13	0,16	0,14	0,15	0,15
19,5	0,14	0,14	0,16	0,13	0,17	0,13	0,16	0,13	0,16	0,13	0,15	6,8
rapport	6,9	6,4	6,4	7,5	6,0	7,5	6,4	7,5	6,2	7,5	7,5	

Nbre he	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	total
0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
3,25	1,45	1,85	2,3	1,95	3,1	2,55	2,6	2,9	3,5	2,85	25,05
6,25	1,15	1,5	1,65	1,4	2,3	1,92	1,75	1,85	2,15	1,6	17,27
8,25	1	1,2	1,3	1	1,4	1,3	1,3	1,3	1,55	1,25	12,6
10,25	0,95	1	1,03	0,85	1,05	0,95	1,1	0,95	1,15	1	10,03
13,25	0,85	0,9	0,9	0,8	0,95	0,77	0,95	0,8	1	0,9	8,82
15,5	0,75	0,85	0,82	0,7	0,85	0,7	0,82	0,72	0,8	0,8	7,81
18,5	0,7	0,72	0,68	0,6	0,75	0,6	0,75	0,6	0,73	0,65	6,78
19,5	0,65	0,7	0,7	0,6	0,75	0,6	0,7	0,6	0,73	0,6	6,63



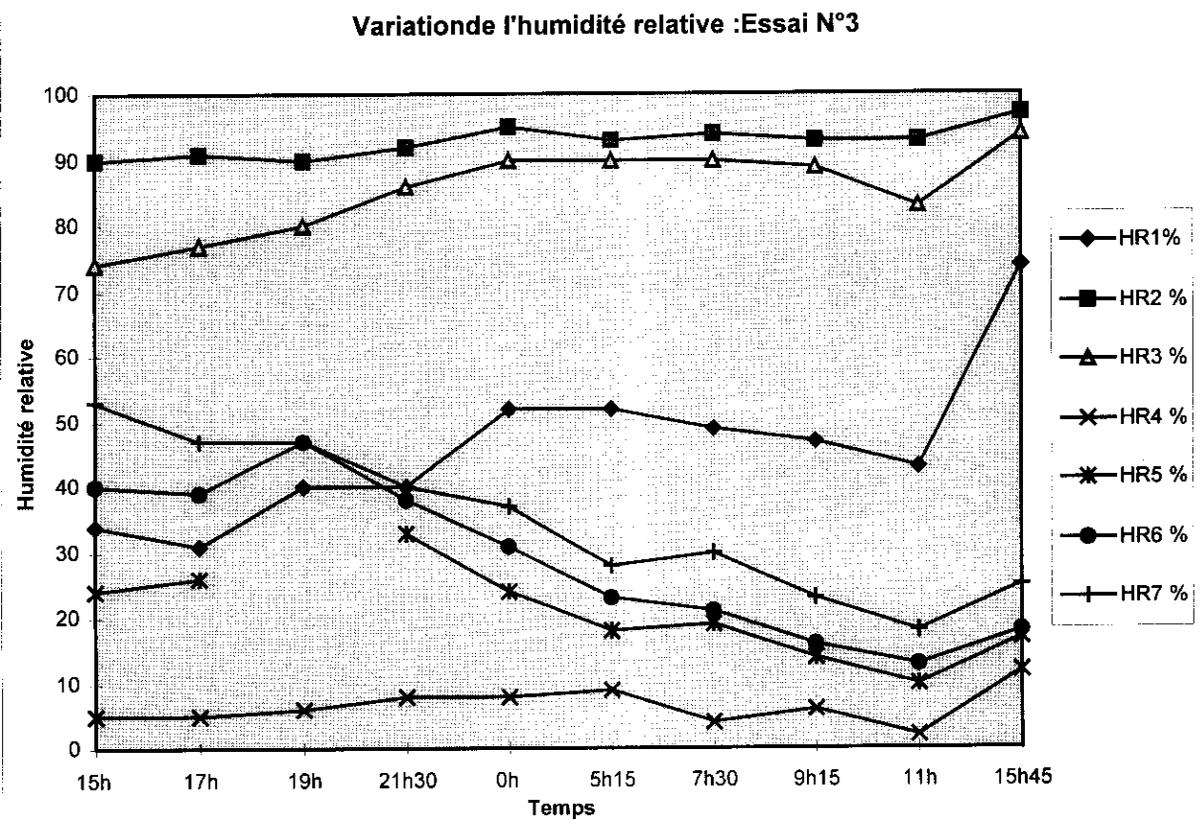
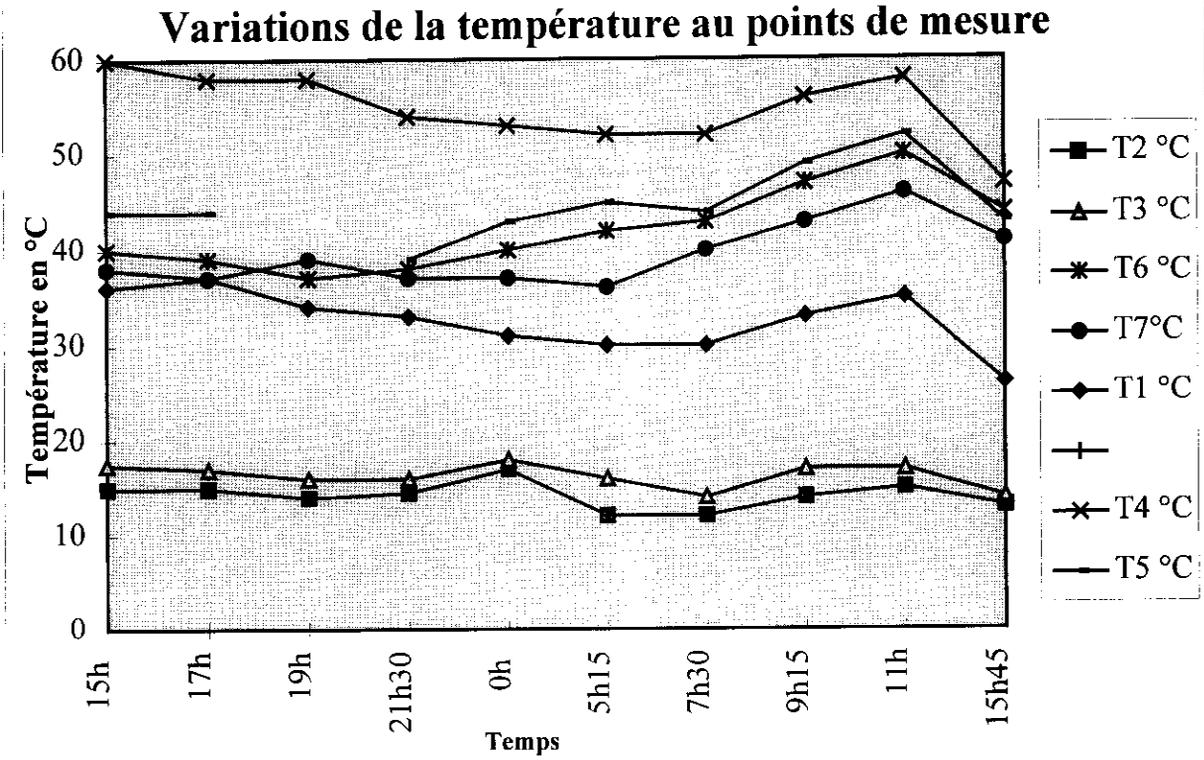
Date de l'essai: 12 au 13 /05/98

Heure	Evaporateur				Condenseur				Sortie du 1er compartiment				2ème compartiment			
	Entrée		Sortie		Entrée		Sortie		compartiment		Sortie		Entrée		Sortie	
	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %	T °C	HR %
12h48																
14h54																
Fin de chargement																
15h	36	34	15	90	17,5	74,2	60	5	44	24	40	40	38	53		
17h	37	31	15	91	17	77	58	5	44	26	39	39	37	47		
19h	34	40	14	90	16	80	58	6			37	47	39	47		
21h30	33	40	14,5	92	16	86	54	8	39	33	38	38	37	40		
0h	31	52	17	95	18	90	53	8	43	24	40	31	37	37		
5h15	30	52	12	93	16	90	52	9	45	18	42	23	36	28		
7h30	30	49	12	94	14	90	52	4	44	19	43	21	40	30		
9h15	33	47	14	93	17	89	56	6	49	14	47	16	43	23		
11h	35	43	15	93	17	83	58	2	52	10	50	13	46	18		
15h45	26	74	13	97	14	94	47	12	43	17	44	18	41	25		
17h10																
20h20																

heure	index comp
12h48	69
15h	76
16h45	82
19h15	91
21h57	100
0h15	108
2h	113
5h40	124
9h15	133
11h17	142
14h	151
18h45	162
20h20	166
consol	97

KWh

Nb d'h	T1 °C	HR1%	T2 °C	HR2	T3 °C	HR3	T4 °C	HR4	T5 °C	HR5	T6 °C	HR6	T7 °C	HR7 %
15h	36	34	15	90	17,5	74,2	60	5	44	24	40	40	38	53
17h	37	31	15	91	17	77	58	5	44	26	39	39	37	47
19h	34	40	14	90	16	80	58	6			37	47	39	47
21h30	33	40	14,5	92	16	86	54	8	39	33	38	38	37	40
0h	31	52	17	95	18	90	53	8	43	24	40	31	37	37
5h15	30	52	12	93	16	90	52	9	45	18	42	23	36	28
7h30	30	49	12	94	14	90	52	4	44	19	43	21	40	30
9h15	33	47	14	93	17	89	56	6	49	14	47	16	43	23
11h	35	43	15	93	17	83	58	2	52	10	50	13	46	18
15h45	26	74	13	97	14	94	47	12	43	17	44	18	41	25



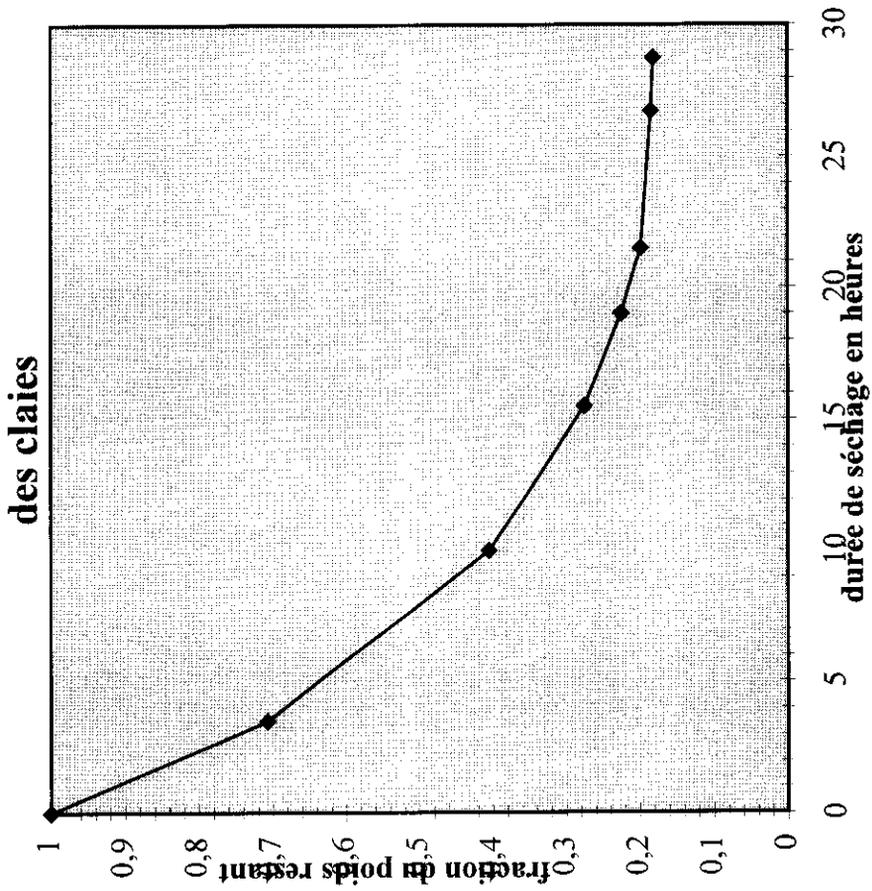
Date 12-13/05/98

Nombre de claies:10

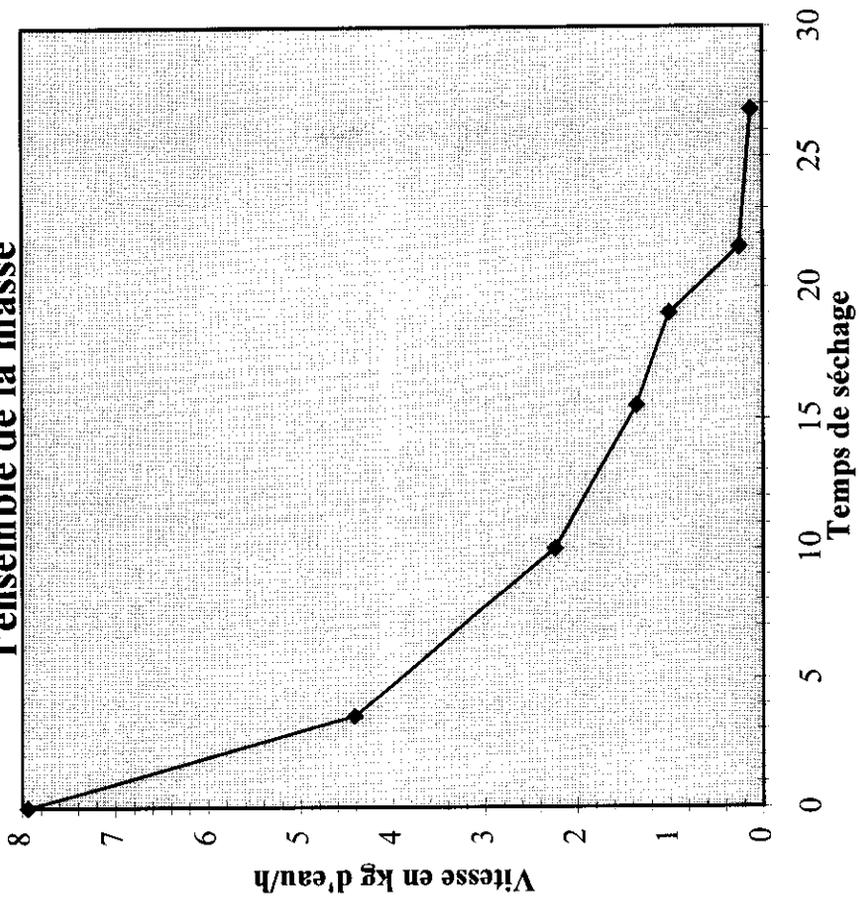
N° de la claie

heure	Nbre	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	total/c	N° 11	N° 12	N° 13	N° 14	N° 15	N° 16	N° 17	N° 18	N° 19	N° 20	total	
m claies		2,25	2,6	2,4	2,55	2,6	2,65	1,9	2	2,75	2,5	24,2	2,45	2,5	2,8	2,6	2,55	2,6	2,5	1,95	2,4	2,4	22,35	
mangues		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
total		7,25	7,6	7,4	7,55	7,6	7,65	6,9	7	7,75	7,5	74,2	7,45	7,5	7,8	7,6	7,55	7,6	7,5	6,95	7,4	7,4	67,35	
14h54	0	chargement des 2 compartiments																						
18h	3,5	3,95	5,8	4,95	4,9	5,85	5,5	4,5	6,05	6,55	5,9	53,95	6,45	6,55	6,8	6,65	6,65	6,9	6,9	6,15	6,75	6,8	0	
24h30	10	3,5	4,2	4,15	4,45	5	4,65	3,7	4,6	4,9	4,6	43,75	5,25	5,1	4,8	4,87	4,92	4,45	4,4	3,7	3,8		113,8	
6h	15,5	3,25	3,85	3,55	3,8	4,05	3,9	3	3,43	3,9	4	36,73	4,1	4,33	4,25	4,25	4,25	4,05	3,9	3,3	3,55		85,04	
9h30	19	3,15	3,6	3,45	3,65	3,8	3,62	2,85	3,22	3,78	3,6	34,72	3,85	3,85	4,1	3,78	3,7	3,65	3,7	3,15	3,45		72,71	
12h30	21,5	3,15	3,6	3,4	3,5	3,65	3,45	2,78	3,05	3,65	3,5	33,73	3,65	3,55	3,8	3,6	3,55	3,6	3,5	3,05	3,4		67,95	
17h10	26							2,75				6,05											6,05	
18h30	26,75	3,1	3,5	3,3	3,5	3,55	3,4	2,75	3	3,6	3,4	33,1	3,55	3,45	3,75	3,55	3,5	3,55	3,4	2,9	3,35		64,1	
20h20	28,75	Fin de séchage																						
8h		3,1	3,5		3,5	3,45	3,4		2,95	3,6	3,3	26,8	3,58	3,45	3,8	3,5	3,48	3,5	3,35	2,9	3,35		57,71	
masse sèche		0,85	0,9	0,9	0,95	0,85	0,75	0,85	0,95	0,85	0,8	8,65	1,13	0,95	1	0,9	0,93	0,9	0,85	0,95	0,95		8,65	

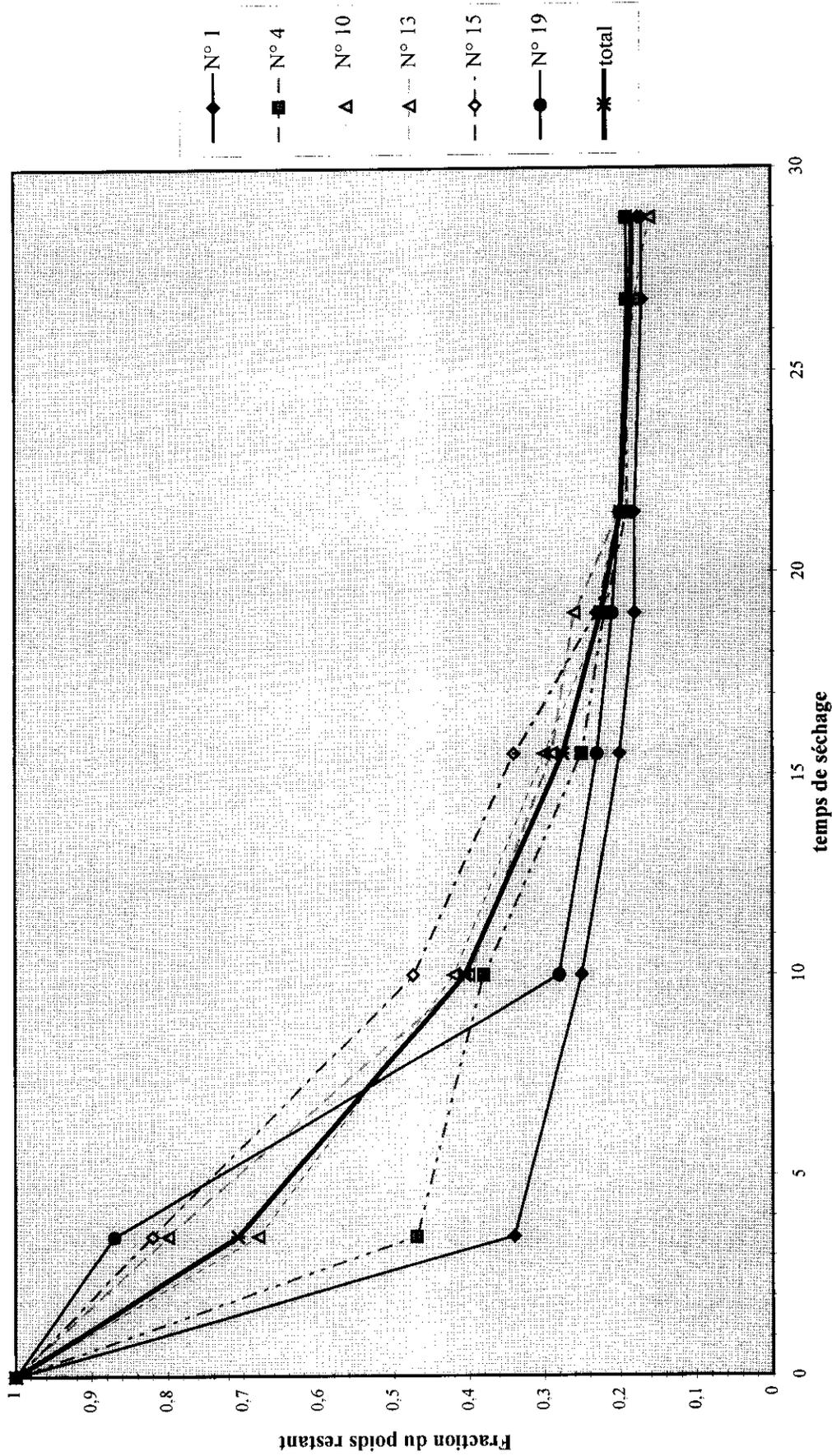
**Courbe de séchage pour l'ensemble  
des claies**



**Courbe de vitesse de séchage pour  
l'ensemble de la masse**



### courbes de séchage de quelques claies:influence de la permutation



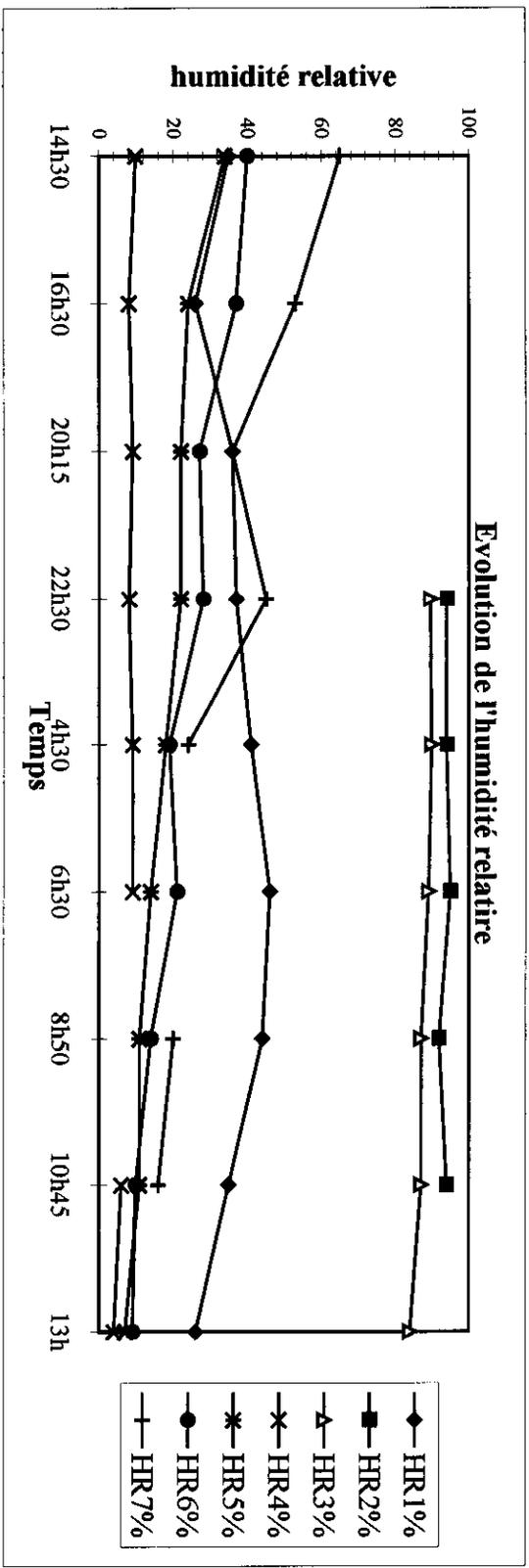
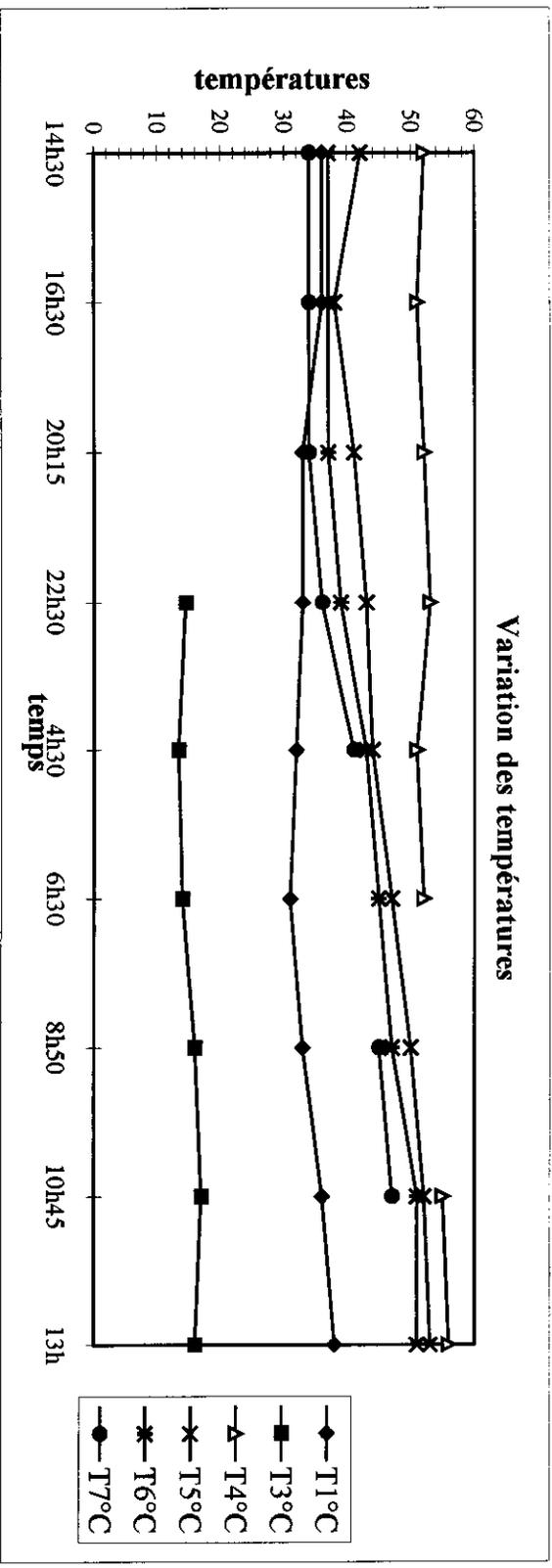
## Mémoire de fin d'étude

Date de l'essai : 19-20/05/98

heures	Evaporateur		Condenseur				Sortie du 1er compartiment		2ème compartiment	
	Entrée T1°C HR1	Sortie T2°C HR2	Entrée T3°C HR3	Sortie T4°C HR4	Entrée T6°C HR6	Sortie T7°C HR7%	Entrée T5°C HR5	Sortie T7°C HR7%		
14h30	36	35		52	37	40	34	34	65	
16h30	36	26		51	37	37	24	34	53	
20h15	33	36		52	37	27	22	34	36	
22h30	33	37	14,5	53	39	28	22	36	45	
4h30	32	41	13,5	51	43	19	18	41	24	
6h30	31	46	14	52	45	21	14			
8h50	33	44	16	87	47	14	11	45	20	
10h45	36	35	17	87	52	10	11	47	16	
13h	38	26	16	84	53	9	7			

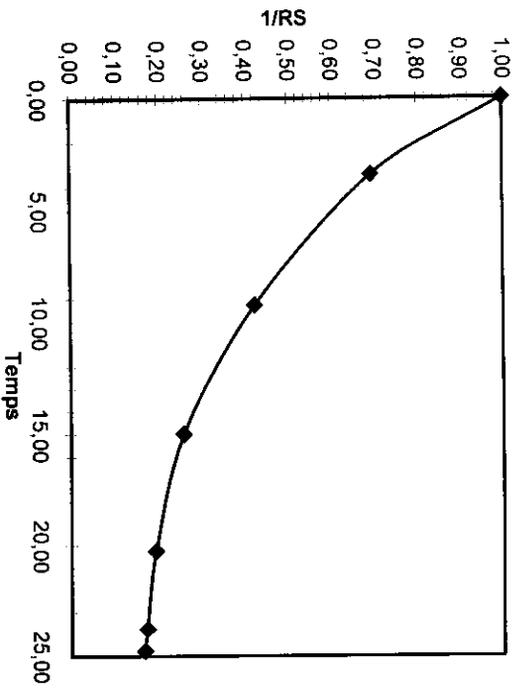
## Consommation électrique

heures	Index compteur
12h	166
14h10	175
19h33	190
5h	220
8h50	232
11h	239
13h14	247
14h30	251

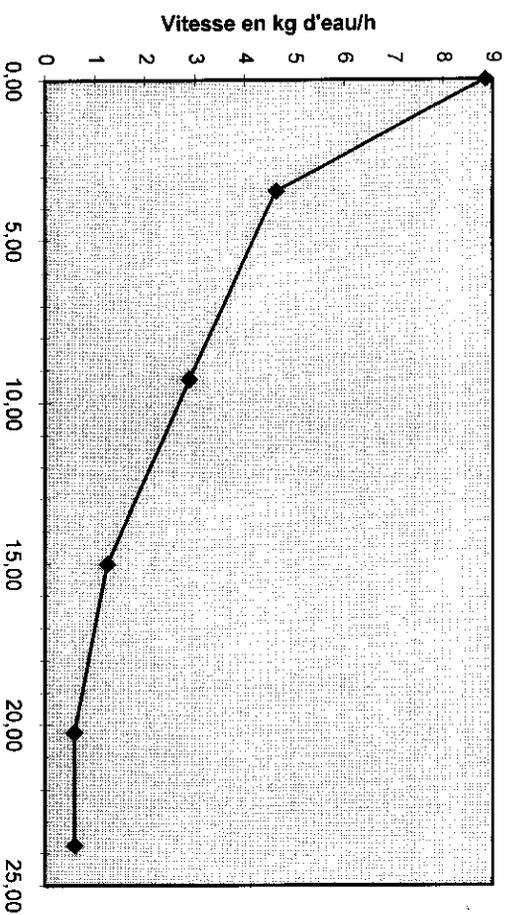


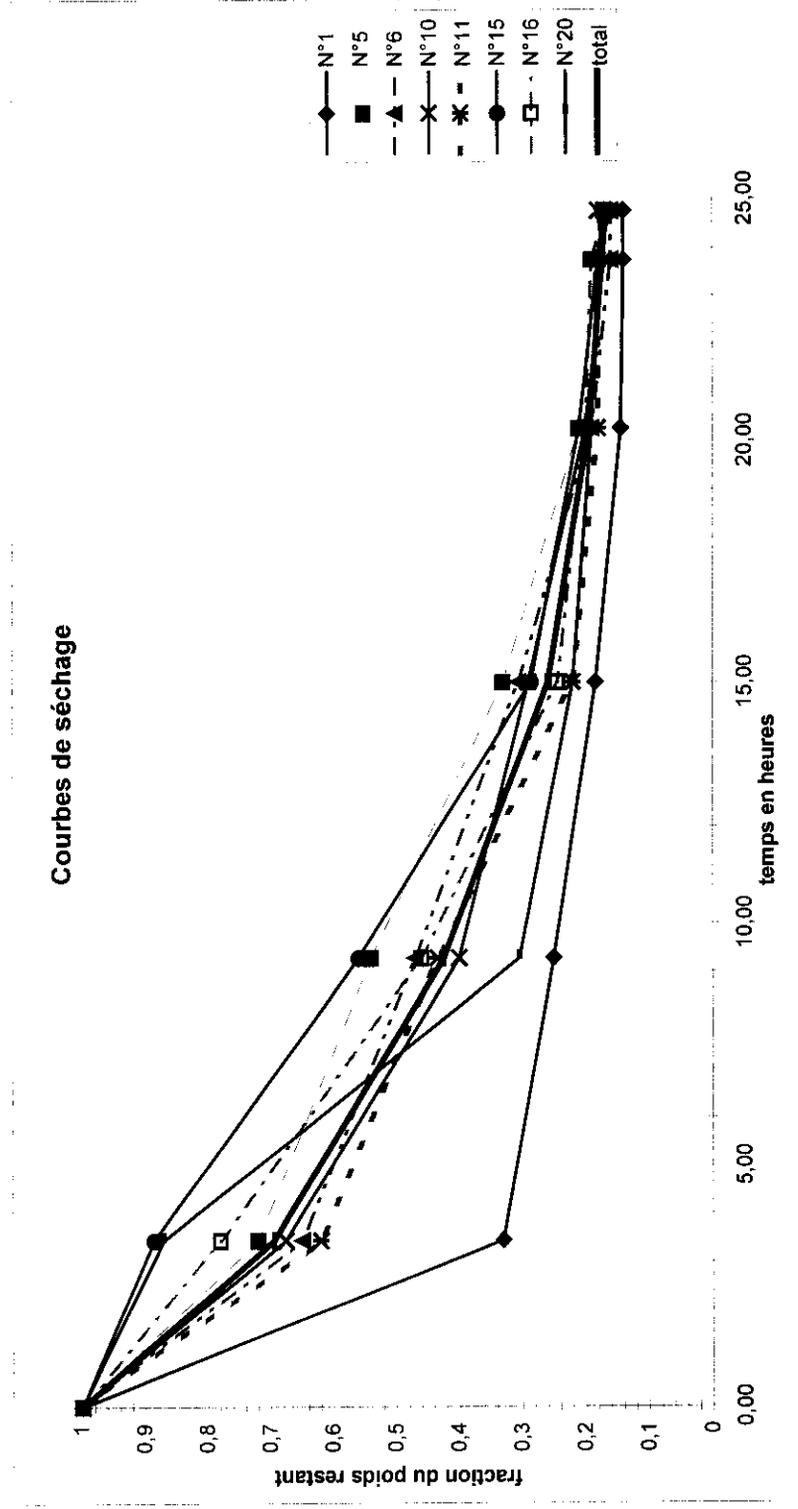
temp	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10	N°11	N°12	N°13	N°14	N°15	N°16	N°17	N°18	N°19	N°20	total	Vitesse	
0,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	8,861
3,45	0,33	0,464	0,53	0,514	0,72	0,65	0,6	0,64	0,726	0,676	0,62	0,77	0,84	0,86	0,886	0,78	0,71	0,85	0,85	0,87	0,69	4,63	4,63
9,28	0,25	0,36	0,39	0,35	0,54	0,47	0,41	0,45	0,486	0,4	0,434	0,53	0,55	0,46	0,56	0,46	0,34	0,4	0,34	0,304	0,42	2,886	2,886
15,00	0,184	0,236	0,244	0,236	0,33	0,306	0,28	0,314	0,34	0,29	0,22	0,244	0,27	0,25	0,286	0,244	0,21	0,26	0,22	0,22	0,26	1,248	1,248
20,25	0,144	0,18	0,18	0,19	0,21	0,19	0,19	0,21	0,22	0,2	0,18	0,2	0,21	0,196	0,21	0,2	0,19	0,204	0,18	0,19	0,19	0,586	0,586
23,75	0,14	0,18	0,17	0,174	0,184	0,16	0,15	0,17	0,17	0,17	0,18	0,17	0,186	0,18	0,18	0,19	0,17	0,19	0,17	0,18	0,17	0,6	0,6
24,75	0,14	0,164	0,16	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,18	0,18	0,16	0,17	0,16	0,18	0,16	0,17	0,17	0,6	0,6
rappo	7,143	6,098	6,25	5,882	5,882	6,25	6,25	5,882	5,882	5,556	5,882	5,882	5,556	5,556	6,25	5,882	6,25	5,556	6,25	5,882	5,981	5,981	5,981

Allure de séchage de l'ensemble de la masse



Vitesse de extraction d'eau





## **Composition biologique de quelques fruits**

- Mangue**
- Ananas**
- banane**

**Mangue; pulpe**

13025

Mango; pulp

*(Mangifera indica L.)*

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		0,64	0,6	0,77	17
Energie	Kcal/100g	58,0			
Energie	KJ/100g	246,0			
Eau	g/100g	83,0	74,6	87,0	70
Protéines	g/100g	0,6	0,3	1,0	69
Lipides totaux	g/100g	0,2	tr	0,7	69
Glucides disponibles	g/100g	14,3			
Fibre alimentaire	g/100g	1,9	1,6	2,6	11
Sodium	mg/100g	2,0	1,0	7,0	33
Potassium	mg/100g	150,0	139,0	215,0	34
Calcium	mg/100g	20,0	8,0	33,0	61
Magnésium	mg/100g	9,0	7,0	18,0	29
Fer	mg/100g	1,2	0,4	2,8	46
Cuivre	mg/100g	0,1	0,1	0,12	19
Zinc	mg/100g	0,11	0,04	0,3	7
Phosphore	mg/100g	22,0	9,0	34,0	46
Eq. $\beta$ carotène	$\mu$ g/100g	3130,0	355,0	12950,0	53
Vitamine E	mg/100g	1,8			2
Vitamine C	mg/100g	44,0	22,0	110,0	37
Thiamine	mg/100g	0,03	0,01	0,04	29
Riboflavine	mg/100g	0,05	0,04	0,06	30
Niacine	mg/100g	0,4	0,3	1,3	29
Acide Panthoténique	mg/100g	0,16			1
Vitamine B6	mg/100g	0,08	0,03	0,13	2
Folates totaux	$\mu$ g/100g	51,0	7,0	129,0	7
Isoleucine	mg/gN	217,0			3
Leucine	mg/gN	356,0			3
Lysine	mg/gN	526,0			18
Méthionine	mg/gN	61,0			18
Cystine	mg/gN	36,0			1
Phénylalanine	mg/gN	267,0			3
Tyrosine	mg/gN	138,0			3
Thréonine	mg/gN	233,0			3
Tryptophane	mg/gN	102,0			16
Valine	mg/gN	306,0			3
Arginine	mg/gN	273,0			3
Histidine	mg/gN	140,0			3
Alanine	mg/gN	613,0			3
Acide Aspartique	mg/gN	486,0			3
Acide Glutamique	mg/gN	726,0			3
Glycocolle	mg/gN	237,0			3
Proline	mg/gN	217,0			3
Sérine	mg/gN	289,0			3
Isoleucine	mg/100g	21,0			
Leucine	mg/100g	34,0			
Lysine	mg/100g	50,0			
Méthionine	mg/100g	6,0			
Cystine	mg/100g	3,0			

**Mangue; pulpe**

Mango, pulp

(Mangifera indica L.)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Phénylalanine	mg/100g	26,0			
Tyrosine	mg/100g	13,0			
Thréonine	mg/100g	22,0			
Tryptophane	mg/100g	10,0			
Valine	mg/100g	29,0			
Arginine	mg/100g	26,0			
Histidine	mg/100g	13,0			
Alanine	mg/100g	59,0			
Acide Aspartique	mg/100g	47,0			
Acide Glutamique	mg/100g	70,0			
Glycolle	mg/100g	23,0			
Proline	mg/100g	21,0			
Sérine	mg/100g	28,0			

13607

**Mangue; immature, pulpe**

Mango, immature, pulp

(Mangifera indica L.)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		0,54			4
Energie	Kcal/100g	52,0			
Energie	KJ/100g	220,0			4
Eau	g/100g	84,2			4
Protéines	g/100g	0,5			4
Lipides totaux	g/100g	0,1			
Glucides disponibles	g/100g	13,0			
Fibr alimentaire	g/100g	1,9			
Sodium	mg/100g	3,0			1
Potassium	mg/100g	170,0	125,0	215,0	2
Calcium	mg/100g	16,0	10,0	17,0	8
Phosphore	mg/100g	11,0	8,0	15,0	9
Eq. β carotène	µg/100g	465,0	60,0	1020,0	10
Vitamine C	mg/100g	111,0	62,0	128,0	8
Thiamine	mg/100g	0,02			4
Riboflavine	mg/100g	0,03			4
Niacine	mg/100g	0,2			4
Vitamine B6	mg/100g	0,1			1
Folates totaux	µg/100g	8,0	7,0	8,0	3

**Mangue; juice, canned**

(Mangifera indica L.)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		1,0			
Energie	Kcal/100g	55,0			
Energie	KJ/100g	234,0			
Eau	g/100g	85,5	83,3	87,8	2
Protéines	g/100g	0,2	0,1	0,3	2
Lipides totaux	g/100g	0,3	0,2	0,4	2
Glucides disponibles	g/100g	13,7			
Fibre brute	g/100g	0,2	0,1	0,2	2
Sodium	mg/100g	11,0			1
Potassium	mg/100g	21,0			1
Calcium	mg/100g	2,0	2,0	2,0	2
Fer	mg/100g	2,6	1,5	3,7	2
Phosphore	mg/100g	25,0	6,0	44,0	2
Eq. β carotène	µg/100g	248,0			2
Vitamine C	mg/100g	30,0			1
Thiamine	mg/100g	tr	tr	0,01	2
Riboflavine	mg/100g	0,01	tr	0,03	2
Niacine	mg/100g	0,6	0,2	0,9	2

13608

**Mangue; immature, pulpe et peau**

Mango, immature, pulp and skin

(Mangifera indica L.)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		0,56			
Energie	Kcal/100g	44,0			
Energie	KJ/100g	186,0			
Eau	g/100g	86,2			3
Protéines	g/100g	1,0			3
Lipides totaux	g/100g	0,1			3
Glucides disponibles	g/100g	10,3			
Fibre alimentaire	g/100g	1,9			
Calcium	mg/100g	57,0			3
Fer	mg/100g	1,3			3
Phosphore	mg/100g	35,0			3
Eq. β carotène	µg/100g	1000,0			3
Vitamine C	mg/100g	270,0			3
Thiamine	mg/100g	0,03			3
Riboflavine	mg/100g	0,06			3
Niacine	mg/100g	0,3			3

**Ananas; jus, en conserve**

18000

Pineapple; juice, canned

*(Ananas comosus (L.) Merr.)*

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		1,0			
Energie	Kcal/100g	53,0			
Energie	KJ/100g	227,0			
Eau	g/100g	86,2	85,2	86,8	21
Protéines	g/100g	0,4	0,31	0,4	79
Lipides totaux	g/100g	0,1	0,07	0,1	58
Glucides disponibles	g/100g	13,5			
Fructose	g/100g	3,7			
Glucose	g/100g	3,7			
Saccharose	g/100g	6,1			
Amidon	g/100g	0,0			
Fibre alimentaire	g/100g	0,1	tr	0,1	8
Sodium	mg/100g	1,0	tr	6,0	110
Potassium	mg/100g	127,0	86,0	138,0	93
Calcium	mg/100g	15,0	5,0	18,0	115
Magnésium	mg/100g	12,0	8,0	15,0	58
Fer	mg/100g	0,25	0,1	0,4	106
Cuivre	mg/100g	0,05	0,01	0,1	55
Zinc	mg/100g	0,09	0,02	0,13	55
Phosphore	mg/100g	7,0	4,0	9,0	56
Eq. β carotène	µg/100g	20,0	3,0	36,0	17
Vitamine C	mg/100g	11,0	10,0	20,0	53
Thiamine	mg/100g	0,05	0,05	0,06	64
Riboflavine	mg/100g	0,02	0,02	0,02	64
Niacine	mg/100g	0,25	0,18	0,27	64
Acide Panthoténique	mg/100g	0,1			
Vitamine B6	mg/100g	0,1			
Folates totaux	µg/100g	23,0	20,0	26,0	3

**Ananas; pulpe**

13002

Pineapple; pulp

*(Ananas comosus (L.) Merr.)*

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		0,6	0,43	0,85	28
Energie	Kcal/100g	47,0			
Energie	KJ/100g	200,0			
Eau	g/100g	86,5	75,0	92,7	76
Protéines	g/100g	0,4	0,15	0,6	50
Lipides totaux	g/100g	0,2	0,1	0,7	46
Glucides disponibles	g/100g	11,6			
Fructose	g/100g	2,6			
Glucose	g/100g	2,0			
Saccharose	g/100g	7,0			
Amidon	g/100g	0,0			
Fibre alimentaire	g/100g	1,4	0,9	2,1	20
Sodium	mg/100g	2,0	1,0	5,0	29
Potassium	mg/100g	146,0	97,0	250,0	32
Calcium	mg/100g	15,0	5,0	27,0	38
Magnésium	mg/100g	15,0	10,0	26,0	30
Fer	mg/100g	0,34	0,15	0,9	43
Cuivre	mg/100g	0,11	0,07	0,13	29
Zinc	mg/100g	0,09	0,06	0,11	28
Phosphore	mg/100g	11,0	6,0	21,0	39
Eq. β carotène	µg/100g	27,0	8,0	110,0	39
Vitamine E	mg/100g	0,1			
Vitamine C	mg/100g	18,0	3,0	44,0	30
Thiamine	mg/100g	0,08	0,04	0,11	28
Riboflavine	mg/100g	0,03	0,03	0,05	19
Niacine	mg/100g	0,3	0,1	0,5	27
Acide Panthoténique	mg/100g	0,16			3
Vitamine B6	mg/100g	0,09			3
Folates totaux	µg/100g	14,0	3,0	35,0	8

13006

**Banane douce; pulpe séchée**Banana, common; dried pulp  
(*Musa spp.*)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		1,0			
Energie	Kcal/100g	257,0			
Energie	KJ/100g	1096,0			
Eau	g/100g	28,0			
Protéines	g/100g	3,0			
Lipides totaux	g/100g	1,0			
Glucides disponibles	g/100g	63,0			
Fibre alimentaire	g/100g	5,5			
Sodium	mg/100g	8,0			
Potassium	mg/100g	1150,0			
Calcium	mg/100g	20,0			
Magnésium	mg/100g	90,0			
Fer	mg/100g	1,3			
Cuivre	mg/100g	0,4			
Zinc	mg/100g	0,5			
Phosphore	mg/100g	75,0			
Eq. β carotène	µg/100g	150,0			
Vitamine E	mg/100g	0,6			
Vitamine C	mg/100g	4,0			
Thiamine	mg/100g	0,1			
Riboflavine	mg/100g	0,18			
Niacine	mg/100g	2,0			

**Banane douce; pulpe déshydratée, en rondelles**Banana, common; desiccated pulp, chips or flour  
(*Musa spp.*)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Arginine	mg/100g	176,0			1
Histidine	mg/100g	333,0			1
Alanine	mg/100g	222,0			1
Acide Aspartique	mg/100g	503,0			1
Acide Glutamique	mg/100g	399,0			1
Glycocolle	mg/100g	190,0			1
Proline	mg/100g	229,0			1
Sérine	mg/100g	226,0			1

**Banane douce; pulpe déshydratée, en rondelles**

13089

Banana, common; desiccated pulp, chips or flour  
(*Musa spp.*)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		1,0			
Energie	Kcal/100g	340,0			
Energie	KJ/100g	1447,0			
Eau	g/100g	3,0			
Protéines	g/100g	3,9			
Lipides totaux	g/100g	1,8			
Glucides disponibles	g/100g	82,1			
Fibre alimentaire	g/100g	7,6			
Sodium	mg/100g	3,0			
Potassium	mg/100g	1491,0			
Calcium	mg/100g	22,0			
Magnésium	mg/100g	108,0			
Fer	mg/100g	1,15			
Cuivre	mg/100g	0,39			
Zinc	mg/100g	0,61			
Manganèse	mg/100g	0,57			
Phosphore	mg/100g	74,0			
Eq. β carotène	µg/100g	183,0			
Thiamine	mg/100g	0,18			
Riboflavine	mg/100g	0,24			
Niacine	mg/100g	2,8			
Isoleucine	mg/gN	268,0			
Leucine	mg/gN	575,0			
Lysine	mg/gN	260,0			
Méthionine	mg/gN	119,0			
Cystine	mg/gN	101,0			
Phénylalanine	mg/gN	322,0			
Tyrosine	mg/gN	194,0			
Thréonine	mg/gN	274,0			
Valine	mg/gN	452,0			
Arginine	mg/gN	282,0			
Histidine	mg/gN	534,0			
Alanine	mg/gN	356,0			
Acide Aspartique	mg/gN	806,0			
Acide Glutamique	mg/gN	639,0			
Glycocolle	mg/gN	304,0			
Proline	mg/gN	367,0			
Sérine	mg/gN	362,0			
Isoleucine	mg/100g	167,0			1
Leucine	mg/100g	359,0			1
Lysine	mg/100g	162,0			1
Méthionine	mg/100g	74,0			1
Cystine	mg/100g	63,0			1
Phénylalanine	mg/100g	201,0			1
Tyrosine	mg/100g	121,0			1
Thréonine	mg/100g	171,0			1
Valine	mg/100g	282,0			1

Banana, common; pulp  
(*Musa spp.*)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minimum	Maxim	Eff
Proportion comestible		0,68	0,6	0,79	14
Energie	Kcal/100g	89,0			
Energie	KJ/100g	379,0			
Eau	g/100g	74,0	64,0	85,0	149
Protéines	g/100g	1,1	0,9	1,7	137
Lipides totaux	g/100g	0,3	0,1	0,5	37
Glucides disponibles	g/100g	21,8	19,8	26,2	11
Fructose	g/100g	3,9*	2,6	7,8	5
Glucose	g/100g	4,6*	2,4	7,8	5
Saccharose	g/100g	8,2*	3,0	14,0	5
Amidon	g/100g	4,2*	2,1	9,9	5
Fibre alimentaire	g/100g	2,0	1,0	3,9	11
Sodium	mg/100g	1,0	0,0	10,0	97
Potassium	mg/100g	385,0	282,0	408,0	91
Calcium	mg/100g	8,0	5,6	13,0	55
Magnésium	mg/100g	30,0	27,0	36,0	137
Fer	mg/100g	0,42	0,15	1,1	156
Cuivre	mg/100g	0,11	0,09	0,13	140
Zinc	mg/100g	0,18	0,15	0,23	46
Manganèse	mg/100g	0,2	0,02	0,4	135
Phosphore	mg/100g	22,0	12,0	31,0	152
Iode	µg/100g	4,0	2,0	8,0	3
Eq. β carotène	µg/100g	68,0	21,0	200,0	9
Vitamine E	mg/100g	0,29	0,27	0,32	3
Vitamine C	mg/100g	11,7	7,0	23,0	33
Thiamine	mg/100g	0,04	0,03	0,07	17
Riboflavine	mg/100g	0,07	0,03	0,1	17
Niacine	mg/100g	0,61	0,4	0,8	17
Acide Pantholénique	mg/100g	0,28	0,18	0,36	3
Vitamine B6	mg/100g	0,47	0,2	0,7	8
Folates total <sup>Λ</sup>	µg/100g	23,0	10,0	43,0	21
Biotine	µg/100g	2,6			1
Isoleucine	mg/gN	196,0			5
Leucine	mg/gN	404,0			5
Lysine	mg/gN	284,0			5
Méthionine	mg/gN	79,0			5
Cystine	mg/gN	116,0			5
Phénylalanine	mg/gN	234,0			5
Tyrosine	mg/gN	149,0			5
Thréonine	mg/gN	207,0			5
Tryptophane	mg/gN	73,0			4
Valine	mg/gN	278,0			5
Arginine	mg/gN	322,0			5
Histidine	mg/gN	487,0			5
Alanine	mg/gN	245,0			5
Acide Aspartique	mg/gN	680,0			5
Acide Glutamique	mg/gN	654,0			5
Glycocolle	mg/gN	233,0			5

© Fruits Exotiques REGAL (Version 1993)

Banana, common; pulp  
(*Musa spp.*)

Constituants	Unité	Moy/Med	Minimum	Maxim	Eff
Proline	mg/gN	246,0			5
Sérine	mg/gN	277,0			5
Isoleucine	mg/100g	34,0			
Leucine	mg/100g	71,0			
Lysine	mg/100g	50,0			
Méthionine	mg/100g	14,0			
Cystine	mg/100g	20,0			
Phénylalanine	mg/100g	41,0			
Tyrosine	mg/100g	26,0			
Thréonine	mg/100g	36,0			
Tryptophane	mg/100g	13,0			
Valine	mg/100g	49,0			
Arginine	mg/100g	57,0			
Histidine	mg/100g	86,0			
Alanine	mg/100g	43,0			
Acide Aspartique	mg/100g	120,0			
Acide Glutamique	mg/100g	115,0			
Glycocolle	mg/100g	41,0			
Proline	mg/100g	43,0			
Sérine	mg/100g	49,0			
Dopamine	mg/100g	65,0			1
Sérotinine	mg/100g	3,3	1,4	7,7	8
Tyramine	mg/100g	0,7			1

\* Plus abondant dans la banane verte, l'amidon se transforme progressivement, au cours de la maturation, en oligosaccharides: saccharose, glucose, fructose.

© Fruits Exotiques REGAL (Version 1993)

**Papaye; pulpe**  
 Papaya; pulp  
 (*Carica papaya L.*)

13035

Constituants	Unité	Moy/Med	Minim	Maxim	Eff
Proportion comestible		0,74	0,67	0,8	33
Energie	Kcal/100g	32,0			
Energie	KJ/100g	137,0			
Eau	g/100g	89,4	83,0	92,0	93
Protéines	g/100g	0,5	0,3	0,8	82
Lipides totaux	g/100g	0,1	0,1	0,3	61
Glucides disponibles	g/100g	7,8			
Fructose	g/100g	2,5			
Glucose	g/100g	2,5			
Saccharose	g/100g	2,8			
Amidon	g/100g	0,0			
Fibre alimentaire	g/100g	1,9	1,7	2,5	12
Sodium	mg/100g	3,0	2,0	7,0	24
Potassium	mg/100g	214,0	140,0	312,0	23
Calcium	mg/100g	20,0	8,0	42,0	58
Magnésium	mg/100g	13,0	6,0	41,0	29
Fer	mg/100g	0,4	0,1	2,5	70
Cuivre	mg/100g	0,02	0,01	0,1	20
Zinc	mg/100g	0,1	0,05	0,3	9
Phosphore	mg/100g	11,0	4,0	30,0	66
Eq. β carotène	µg/100g	948,0	117,0	1544,0	38
Vitamine C	mg/100g	64,0	22,0	130,0	31
Thiamine	mg/100g	0,03	0,02	0,06	39
Riboflavine	mg/100g	0,03	0,03	0,05	41
Niacine	mg/100g	0,4	0,2	0,6	35
Acide Panthoténique	mg/100g	0,22	0,22	0,22	2
Vitamine B6	mg/100g	0,02	0,02	0,03	3
Folates totaux	µg/100g	45,0	38,0	63,0	5
Isoleucine	mg/gN	82,0			1
Leucine	mg/gN	164,0			1
Lysine	mg/gN	400,0			1
Méthionine	mg/gN	25,0			1
Phénylalanine	mg/gN	92,0			1
Tyrosine	mg/gN	51,0			1
Thréonine	mg/gN	113,0			1
Tryptophane	mg/gN	125,0			1
Valine	mg/gN	102,0			1
Arginine	mg/gN	102,0			1
Histidine	mg/gN	51,0			1
Alanine	mg/gN	143,0			1
Acide Aspartique	mg/gN	502,0			1
Acide Glutamique	mg/gN	338,0			1
Glycocolle	mg/gN	184,0			1
Proline	mg/gN	102,0			1
Sérine	mg/gN	154,0			1
Isoleucine	mg/100g	6,0			
Leucine	mg/100g	12,0			
Lysine	mg/100g	30,0			

**Représentation de l'évolution de l'air dans le séchoir sur un diagramme de l'air humide**

## **Activité de l'eau dans le produits**

## ANNEXE IV.5

### Activité de l'eau de certains produits

Valeur de $a_w$	Germes inhibés à la limite inférieure de chaque intervalle	Exemples d'aliments se situant dans l'intervalle correspondant de $a_w$ .
1,00-0,95	Bacilles gram - spores bactériennes ; quelques levures.	Aliments contenant 40 % (en poids) de saccharose ; ou 7 % de sel, par ex., diverses saucisses cuites ; miettes de pain.
0,95-0,91	La plupart des coques ; lactobacille, forme végétatives de <i>Bacillaceae</i> ; quelques moisissures.	Aliments à 5 % de saccharose, ou à 12 % du NaCl, par ex., jambon cru sec, fromage type Hollande, mi-vieux.
0,91-0,87	La plupart des levures	Aliments à 65 % de saccharose (c'est-à-dire à saturation) ; ou à 15 % de NaCl par ex., saucisson sec ; fromage type Hollande vieux.
0,87-0,80	La plupart des moisissures ; <i>Staph. aureus</i>	Farine, riz, légumes sec, etc., renfermant 15 à 17 % d'humidité ; "cake", lait concentré sucré ( $a_w = 0,83$ env.)
0,80-0,75	La plupart des bactéries halophiles	Aliments à 26 % de NaCl (c'est-à-dire à saturation) ; pâte d'amandes, renfermant 15 à 17 % d'humidité, confitures et marmelades.
0,75-0,65	Moisissures xérophiles	Flacons d'avoines, renfermant env. 10 % d'humidité.
0,65-0,60	Levures osmophiles	Fruits désydratés, renfermant 15 à 20 % d'humidité ; caramels mous et bonbons renfermant env. 8 % d'humidité
0,50		Pâtes alimentaires, avec env. 12 % d'humidité ; épices, avec env. 10 % d'humidité.
0,40		Oeufs entiers en poudre, avec env. 5 % $H_2O$
0,30		Biscuits, chapelure, croûte de pain, etc., avec 3 à 5 % d'humidité.
0,20		Lait entier en poudre, 2-3 % $H_2O$ , légumes désydratés avec 5 % $H_2O$ Flacons de maïs avec 5 % $H_2O$ .

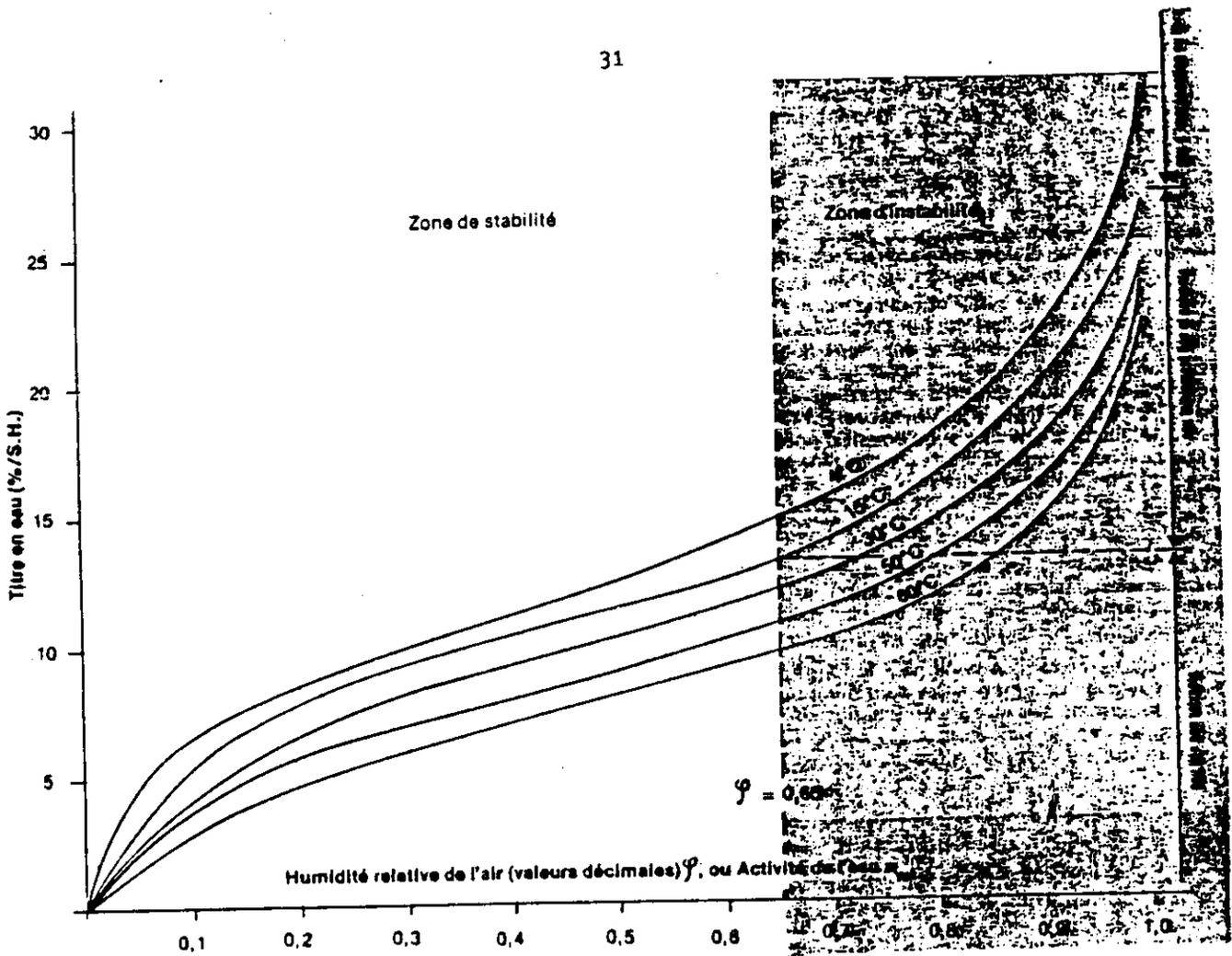
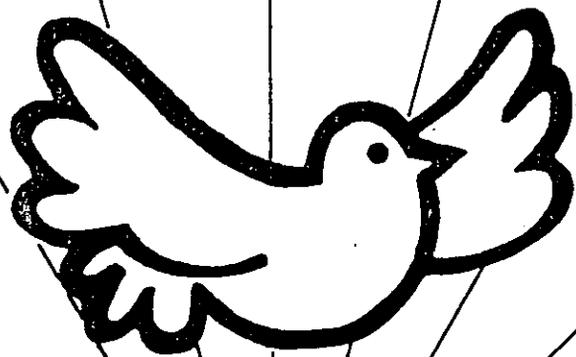


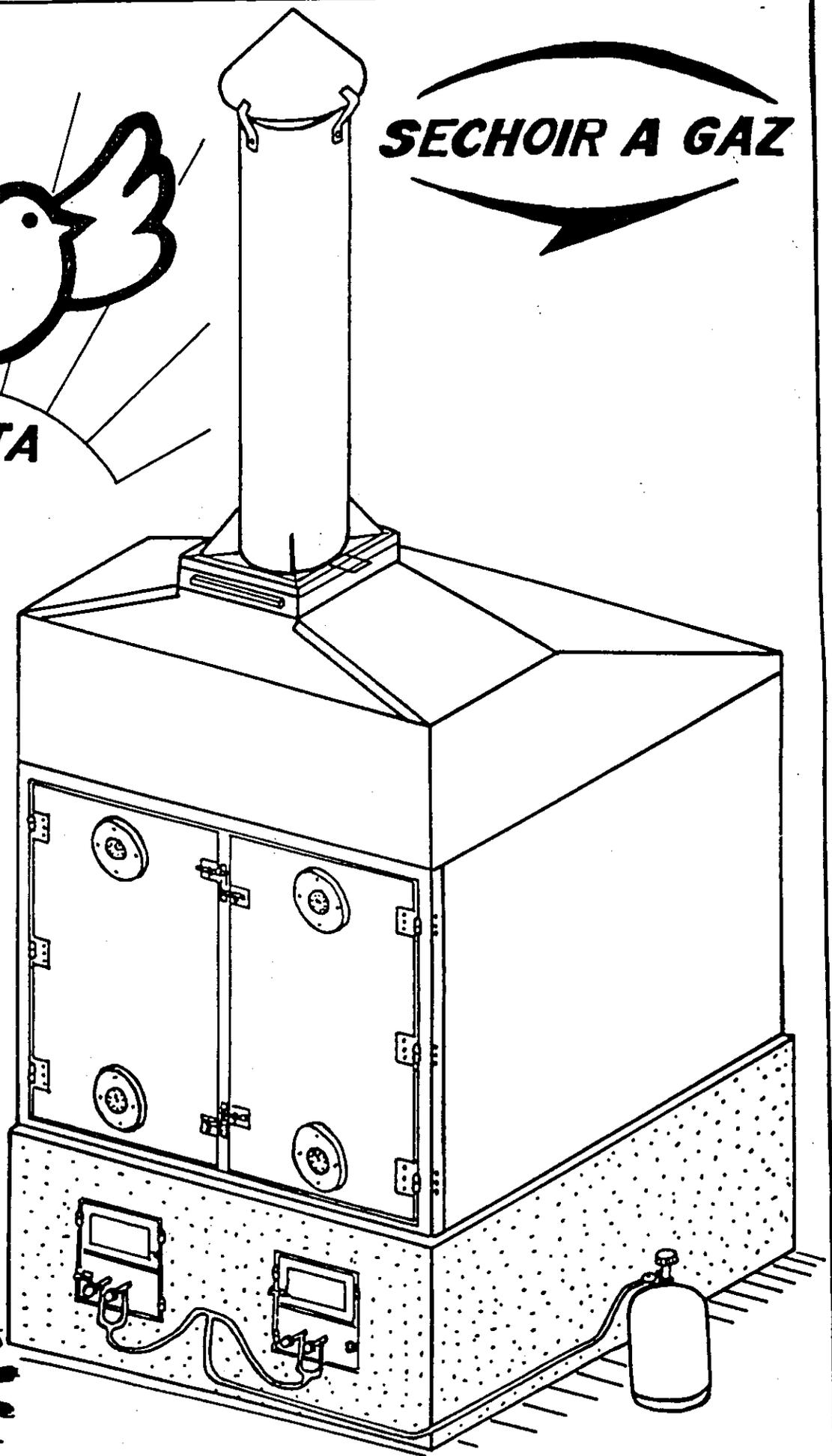
Figure 18: Isothermes de désorption du maïs (RODRIGEZ-ARIAS, USA 1956)

**Plan du séchoir à gag CEAS-ATESTA**



**ATESTA**

**SECHOIR A GAZ**



**Centre Ecologique  
Albert Schweitzer**

Février 1996 DT- N°001A  
Pierre GUSSOU

*Etude, Réalisation et Transfert de Techniques appropriables  
pour un développement durable :*

- énergies renouvelables, équipements solaires et agricoles*
- agroécologie et agro-transformation*

## BIBLIOGRAPHIE

Sécher des produits alimentaires  
Techniques, procédés, équipement  
Guide technique  
Collection le point sur : GRET, Ministère de la coopération, CTA

Séchage solaire des produits alimentaires  
Dossier N°8  
Collection le point sur . 1986 GRET, GERES.

Manuel de conditionnement de l'air  
Tome II Techniques du conditionnement du froid  
Pyc Edition Desforges

Les applications du froid en pays tropicaux: Colloque International d'Abidjan  
1964  
Edition Institut International du froid.

Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes  
Expériences et procédés, Guide pratique  
Auteur: Phillipe Dudez  
Edition GRET, Ministère de la coopération

Technologie de séchage des fruits et légumes: Document de formation Centre  
Ecologique Albert Schweitzer (CEAS): SAPE, 1997  
auteur : Fogué KOUDUAHOU

Mémoires de fin d'étude (E.I.E.R.)

Séchage solaire en Afrique  
compte rendu du colloque tenu à Dakar, SENEGAL du 21 au 24  
juillet 1986.

Pompes à chaleur et circulation de l'air dans les locaux climatisés.  
Science et technique du froid.

Manuel de conservation des produits agricoles tropicaux  
Technique rural en Afrique

Expérimentation d'un séchoir solaire: applications aux produits de la mer  
dans l'Océan Indien.