

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE PAR :

DALLO Ibrahim

ANNEE 1994-1995

SECHAGE AVEC DESHUMIDIFICATION
PREALABLE DE L'AIR :
APPLICATION A LA MANGUE

Mention :

E. I. E. R.
Inregistré à l'Arrivée le 03 JUIN 1995, N° 249/95

Encadrement

Y. COULIBALY



A
MON CHER
AMI
LE REGRETTE
MONSIEUR BATHIONO BELI MIKHAEL

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	
RESUME.....	1
I. - INTRODUCTION.....	2
II. - GENERALITES SUR LE SECHAGE SOLAIRE.....	5
II.1. - Le séchage solaire.....	5
II.2. - But du séchage.....	6
II.3. - Description du séchage.....	6
II.4. - Classification des séchoirs solaires.....	7
II.5. - Etude comparative des différentes types de séchoirs solaires.....	9
III. - Présentation du CEAS et Annexes.....	10
III.1. - Présentation du CEAS.....	10
III.2. - Les objectifs du CEAS.....	11
IV. - Séchage de la mangue.....	12
IV.1. - Le séchage des mangues au Burkina Faso... 12	
IV.2. - Etudes des caractéristiques des systèmes existants et leurs inconvénients.....	12
V. - Conception et réalisation du séchoir.....	17
V.1. - Définition.....	17
V.2. - Principe.....	18
V.3. - Conception et réalisation.....	19
V.4. - L'air humide.....	20
V.5. - Appareil de mesure.....	21
V.6. - Préparation du produit.....	24
VI. - Les Expérimentations.....	26
VI.1. - Essai 1.....	29
VI.2. - Essai 2.....	30
VI.3. - Essai 3.....	50
VI.4. - Essai 4.....	55
VII. - Etude Economique.....	65
VII.1. - Etude de rentabilité du séchoir à déshumidification.....	65
VII.2. - Etude de rentabilité du séchoir mixte... 68	
VIII. - Insuffisance et recommandations.....	72
IX - Proposition d'amélioration.....	74
X. - <u>Conclusion</u>	75
Sigles.....	77
Annexes.....	78
Bibliographie.....	79

REMERCIEMENT

Je remercie très sincèrement tous ceux qui ont permis le bon déroulement de ce mémoire et en particulier :

- Monsieur Y. COULIBALY pour son encadrement, les moyens matériel mis à ma disposition, de son appui technique et sa bonne humeur.
- Monsieur Y. KOCHER, Directeur du CEAS pour ses conseils son encadrement et sa disponibilité.

Toute l'équipe CEAS-ATESTA en particulier Monsieur P. GUISSOU.

A tout le corps enseignant de l'E.I.E.R.

- Toute l'équipe KOALBA en particulier Monsieur et Madame OUEDRAOGO.

En fin à tous mes collaborateurs de travail

RESUME

Cette étude a été proposée par l'ONG CEAS-ATESTA à Ouagadougou au Burkina Faso. Elle a pour but de faire une étude prospective d'un nouveau type de séchoir basé sur la déshumidification préalable de l'air destiné au séchage des produits.

Pour ce faire, différents essais ont été réalisés sur le séchoir. Ils ont permis de diagnostiquer, d'interpréter les résultats obtenus, afin d'améliorer l'efficacité, la rentabilité du séchoir.

Une étude technico-économique permettra aussi de proposer des solutions afin d'améliorer ses performances techniques et financières.

L'ensemble de cette étude doit mener à la définition, à la conception et à la réalisation d'un nouveau type de séchoir à moindre coût, pour mieux valoriser les produits séchés.

Mots clés : Séchage, mangues, produits alimentaires, ONG, déshumidification, conditionnement, ou humide.

I. - INTRODUCTION

Le séchage est un moyen longtemps utilisé pour conserver les produits alimentaires ou leur donner de nouvelles qualités organoleptiques. C'est pour cette raison que plusieurs ONG ont initié cette activité dans beaucoup de pays par l'intermédiaire de groupement de séchage solaire. Les problèmes rencontrés par ces groupements se résument surtout à la maintenance, au suivi, à la rentabilité et à la formation des agents. Les études qui seront faites pour la recherche de solution a ces problèmes seront réalisées en deux phases :

- Une première phase qui consiste à faire des enquêtes auprès des ONG de fabrications et de diffusion de séchoirs pour recueillir des informations ;
- Une deuxième phase d'expérimentation sur le séchoir a deshumidification.

L'ensemble de ses études doit permettre d'améliorer les efficacités, rentabilités des différents types de séchoirs. Une étude technico-économique pourra permettre de proposer des solutions judicieuses pour améliorer les séchoirs.

Dans le soucis d'aider les groupements villageois à disposer de moyen matériel plus performant, efficace et rentable que l'ONG ATESTA a proposé un sujet qui s'intitule "séchage avec déshumidification préalable de l'air" : "Application à la mangue". Il sera question d'une étude technico-économique de ce procédé de séchage avec une comparaison avec les systèmes éprouvés et utilisés par l'ONG.

Le présent rapport sera constitué de quatre parties :

- Une première partie sur les généralités des séchoirs solaires ;

- Une deuxième partie sur les études réalisées :
expérimentation et interprétation ;
- Une troisième partie sur les recommandations et les
insuffisances.
- et enfin une conclusion.

DEFINITION ET FORMULATION DU SUJET

Après avoir attentivement lu le sujet qui nous a été proposé à savoir : "séchage solaire avec deshumidification préalable de l'air" ; nous avons compris qu'il était question pour nous de faire une étude sur un séchoir à deshumidification sans rayonnement solaire. Après mûr réflexion, nous nous sommes rendus compte qu'il s'agissait d'un séchoir avec deshumidification préalable de l'air. Ce que nous appelons simplement séchoir à deshumidification.

II. - GENERALITES SUR LE SECHAGE

II.1. - Le séchage solaire

Le séchage constitue une opération appliquée depuis la plus haute antiquité à une très grande variété de matériaux et de cas. On distingue :

- le séchage des produits alimentaires, qui est surtout pratiqué en tant que méthode de conservation de certaines denrées. De nombreux fruits et légumes, le poisson, la viande, se prêtent à ce traitement et les produits obtenus peuvent alors se conserver plusieurs mois, ce qui permet leur transport et leur commercialisation, ou même d'assurer la "soudure" entre deux récoltes annuelles.
- le séchage des matériaux, en tant que méthode préparatoire, est appliqué à grande échelle à certains produits : bois, minerais (phosphates par exemple), produits d'argile et céramiques.

Un peu à la frontière de ces deux cas, le séchage de grandes catégories des produits agricoles, comme les céréales, le cacao, le café, etc, apparaît à la fois comme un processus de préparation industrielle et un moyen indispensable d'assurer des conditions correctes d'enlissage et de stockage des produits. Le stockage des grains incorrectement séchés, conduit invariablement à des pertes au cours du stockage, dont les conséquences peuvent devenir catastrophiques lorsqu'il s'agit d'un denrée alimentaire de base à récolte annuelle.

II.2. - But du séchage

Le but du séchage est d'éliminer la teneur en eau d'un produit de façon à l'amener en dessous d'une certaine valeur, permettant ainsi sa conservation sans aucune autre précaution. L'élimination d'eau par séchage se fait par voie thermique.

Cette opération est divisée en quatre parties :

- transfert de chaleur de la source de chaleur vers la surface du produit ;
- transfert de la chaleur de la surface du produit vers le coeur du produit ;
- transfert de masse du produit vers la surface du produit ;
- transfert de masse de la surface du produit vers le milieu extérieur.

III.3. - Description du séchage

III.3.1. - Principe :

Pour sécher un produit, il faut un apport d'énergie et une circulation d'air pour entrainer la vapeur d'eau issue du produit. L'eau des produits existe sous plusieurs formes définie par un nombre additionnel appelé activité de l'eau

$$a_w = \frac{P_S}{P}$$

où

P_S = pression de vapeur d'eau d'une substance (Pa)

P = pression de vapeur d'eau pure à la même température
 θ (Pa)

Le point de conservation optimale des produits biologiques, sans additifs de conservation ni réfrigération se situe généralement entre $a_w = 0,25$ et $a_w = 0,35$

III.3.2. - Température du séchage

La température du produit a intérêt à être la plus élevée possible pour obtenir une vitesse de séchage importante. Cependant, la température du produit doit être inférieure à une certaine valeur pour éviter sa détérioration.

II.4. - Classification des séchoirs solaires

Les séchoirs, selon la façon dont ils utilisent l'énergie solaire peuvent être classés en cinq grandes catégories : les séchoirs naturels, les séchoirs solaires directs, les séchoirs solaires indirects, les séchoirs mixtes et les séchoirs hybrides.

II.4.1. - Les séchoirs naturels

Ce sont les séchoirs traditionnels qui consistent en l'étalage à l'air libre (et au soleil) des produits à sécher sur des nattes, des claies, des toitures ou autres.

II.4.2. - Les séchoirs solaires directs

Ce sont des appareils constitués d'un châssis vitré, sous lequel les produits à sécher sont installés sur des clayettes. Les rayons solaires frappent donc directement le produit et le tirage de l'air se fait naturellement par réchauffement ou par action du vent sur les ouvertures.

II.4.3. - Les séchoirs indirects

Dans ce type de séchoirs, les produits ne sont pas directement exposés au rayonnement solaire. Ils sont entreposés à l'intérieur d'une enceinte où le déplacement de l'air se fait mécaniquement (séchoirs à convection forcée ou convection naturelle).

II.4.4. - Les séchoirs mixtes

Ce type de séchoirs utilise simultanément de l'air préchauffé dans des capteurs et le rayonnement solaire frappant directement le produit.

II.4.5. - Les séchoirs hybrides

En plus de l'énergie solaire, une énergie d'appoint (fuel, bois, électricité biogaz etc..) est utilisé pour élever le niveau de chauffage de l'air ou pour assurer la ventilation.

II.5. - Etude comparative des différents types de séchoirs solaires

	Avantages	Inconvénients
Séchoir naturel	<p>Très faible coût</p> <p>Très facile à utiliser</p>	<ul style="list-style-type: none"> produits non protégés contre les intempéries atmosphériques et les insectes pertes de produits mal séchés destruction des vitamines A et C l'aspect des produits changé (ils jaunissent) séchage moins rapide que le séchage direct
Séchoir direct	<p>produits protégés contre les intempéries atmosphériques et les insectes.</p> <p>Amélioration des échanges grâce à l'effet de . séchage rapide</p> <p>Très invariable et construction assez simple</p>	<ul style="list-style-type: none"> coût relativement cher. Destruction de la vitamine C par photooxydation des produits l'aspect des produits change. Destruction de la vitamine A température élevée en fin de séchage
Séchoir indirect	<p>produits protégés des intempéries atmosphériques et des insectes</p> <p>protection contre les rayons U.V. venant du soleil</p> <p>les produits conservent leur couleur naturelle</p> <p>température des produits limitée</p>	<p>cher par rapport au séchoir naturel</p> <p>Fabrication complexe séchage souvent un peu moins rapide que le séchage direct</p>
Séchoir mixte	<p>séchoir rapide produits protégés contre toute source de contamination</p>	<ul style="list-style-type: none"> Transfert de chaleur et d'eau complexe et mal connu les inconvénients sont les mêmes que ceux des séchoirs directs cher par rapport aux séchoirs directs et naturels
Séchoir hybride	<p>la qualité et le débit des produits sont indépendants des conditions climatiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> Très coûteux fabrication complexe

III. - PRESENTATION DU CEAS ET ANNEXES

III.1. - Présentation du CEAS

Le Centre Ecologique Albert Schweitzer (CEAS) est constitué en 1978 sous la forme d'une fondation à Neuchâtel par François Gerbes pasteur Maurice Lack, architecte du nouvel hôpital Albert Schweitzer à l'initiative de Willy Raudin, directeur fondateur de "Nouvelle Planète" organisation dont la périodique l'Avenir est entre vos mains informe sur les activités du CEAS.

Le siège du CEAS est à Neuchâtel (Suisse) ; il assure l'organisation et l'administration de l'ensemble des activités. Le bureau pour le sahel est à Ouagadougou Burkina Faso, il assure le relais du CEAS avec le terrain ; gestion et suivi des projets, relation avec les partenaires et identification de leurs besoins, accueil et formation des stagiaires, expérimentation des nouvelles techniques et des prototypes, supervision des trois services d'ATESTA.

L'Atelier d'Energie Solaire et de Technologies appropriées du CEAS à Ouagadougou Burkina Faso depuis 1980, sert d'exemple pour la création ou l'amélioration d'autres ateliers. Il développe et améliore les produits actuels et futurs destinés à préserver le milieu sahélien (eau chaude, cuisson, séchage et lumière solaires, exhaure de l'eau, protection des cultures). ATESTA organise la formation et le perfectionnement des artisans intéressés à créer ou améliorer leur atelier de technologies appropriées. Cette formation est technique et/ou gestion.

III.2. - Les objectifs du CEAS sont :

court terme :

- lutter contre la famine en contribuant à l'extension et à l'amélioration des jardins maraichers irrigués, moins dépendants des pluies que les grandes cultures ; et en assurant toutes les récoltes par le compost.

à moyen terme :

- utilisation de l'énergie solaire et des autres énergies renouvelables en remplacement des combustibles traditionnels (bois) ou importés (hydrocarbures) ;
- Fabrication locale d'équipement à usage villageois et agricole (pompe manuelles, machines à grillage, séchoirs et chauffe-eau solaires) ;
- Vulgarisation de techniques agro-écologiques (compost au lieu des engrais chimiques, lutte anti-érosive, reboisement).

à long terme :

- lutter contre la désertification en encourageant la sauvegarde et la restauration du couvert végétal et de la fertilité de sols. Promouvoir un développement en faveur de l'être humain et en harmonie avec son environnement.

Pour réaliser ses objectifs, avec l'appui du CEAS les artisans spécialisés mettent en place leurs ateliers ; les groupements de paysans ou paysannes organisent leur programmes de cultures et de protection des récoltes.

IV. - SECHAGE DE LA MANGUE

IV.1. - Le séchage des mangues au Burkina Faso

Le Burkina Faso est un grand producteur de mangues. Les estimations pour l'année 1993 dépassent 15 000 tonnes. Les 3/4 des mangues proviennent des régions Ouest et Sud-Ouest du pays. La plupart des mangues sont consommées dans le pays, environ 20 % sont exportées vers les pays voisins (Niger, Cote d'Ivoire). Plus de 1000 tonnes sont exportées vers l'Europe.

Cette situation est regrettable et même dramatique dans un pays comme le Burkina Faso dont la balance commerciale est très déficitaire.

Le séchage permet donc de valoriser une production excédentaire et par là dévaloriser l'arbre, élément clé de l'écosystème sahelien très fragile. Il permet de redresser la balance commerciale par l'entrée de devises étrangères, et enfin de consommer des mangues pendant une période de l'année plus étendue.

IV.2. - Etude des caractéristiques des systèmes existants et leurs inconvénients

Les enquêtes effectuées auprès des concepteurs ont permis de recueillir des informations sur les séchoirs solaires.

IV.2.1. - Les séchoirs solaires

Au Burkina Faso, il y a plusieurs ONG d'exploitation d'énergie solaire parmi lesquelles nous avons celles qui s'occupent de la conception et de la diffusion des séchoirs solaires qui sont : l'I.B.E., l'ABAC, l'ATESTA.

IV.1.1.1. - Au niveau de l'IBE

C'est au centre de recherche sur les Energies renouvelables. Elle est située à Kossodo dans la zone industrielle. Il y a plusieurs types de séchoirs solaires parmi lesquels :

Le séchoir tente est utilisé par le groupement de séchage de Banfora (SOCABE) et les problèmes rencontrés par les femmes sont :

- obstruction partielle ou totale de couvertures inférieures et supérieures donnant une mauvaise aération ;
- augmentation de la température dans le séchoir par effet de cuisson et altération de la qualité du produit.

C'est un séchoir solaire direct à convection naturelle assurée par les deux ouvertures. Toutes les faces sont en film plastique transparent traité contre les rayons ultra-violet (U.V.) à l'exception du plancher en film plastique noir. Les claies sont en grillage du type moustiquaire. La charpente est en bois blanc (le bois rouge se déforme sur l'effet de l'humidité). ce séchoir n'est pas adapté a une petite production (surtout en fruits et légumes) car des manipulations trop fréquentes le détruisent vite (polythylène). Une pris au vent assez important entraine un rendement amoindri.

Il est facilement endommageable par les animaux, et facilement sali à l'intérieur. Le contrôle de la température pour le séchage du poisson est difficile. Le coût est assez élevé.

IV.1.1.2. - ABAC-GERES

C'est une ONG de fabrication et de diffusion de technologies adaptées, notamment de séchoirs solaires, située au 1200 logements. Le type de séchoirs disponibles actuellement est le séchoir du type coquillage qui existe sous trois modèles différents : petit, moyen, grand. C'est un séchoir solaire indirect à convection naturelle assurée par des trous d'aération supérieurs et inférieurs. Le séchoir est réalisé en tôle peint en noir (utilisé l'effet du corps noir), c'est un séchoir sans orientation préférentielle. Les claies sont en grillage du type moustiquaire et sont au nombre de trois dont deux claies principales et une claie de finition.

Il est utilisé par les paysans pour auto-consommation et petite commercialisation. Après la conception, les séchoirs sont destinés aux utilisateurs et les groupements de séchage solaire.

Les inconvénients sont surtout la petitesse de la surface de séchage et de sa capacité.

Avantages :

Le séchoir est résistant et se construit assez facilement, il sert de garde-manger lors des périodes de séchage, il n'est pas nécessaire de l'ouvrir pendant le séchage. Le coût est relativement modéré.

IV.1.1.3. - ATESTA

Il existe plusieurs types de séchoirs

- séchoirs solaires simples
- séchoirs à gaz
- et des séchoirs mixtes

Ils sont des séchoirs à convection naturelle assurée par des ouvertures inférieures et latérales (caisson) et les ouvertures latérales (tunnel).

Séchoir tunnel : Il est constitué par une couverture en film plastique transparent et l'ossature est en tôle plate norcie. Les portes (3) sont disposées sur les côtés principaux pour assurer les chargements des produits et les travaux. Les claies (9) sont en nylon tissé sur lequel est disposé du grillage plastique.

Séchoir caisson : Il est aussi constitué en film plastique transparent, incliné de 12° environ (pour tenir compte tenu de la latitude du lieu). Le caisson est en bois peint en noir. Les claies (4) sont de même type que celles du séchoir tunnel.

Séchoir mixte solaire-gaz

Il est constitué d'une colonne de séchage en maçonnerie raccordé a un capteur pouvant servir de séchoir solaire a rayonnement. Le séchoir mixte peut fonctionner toute l'année, ce qui est intéressant pour une entreprise. Il utilise au mieux l'énergie solaire. Son fonctionnement est indépendant les conditions climatiques avec une qualité du produit exportable vers l'europe. Le séchoir mixte est un outil conçu pour des entreprises, celles-ci doivent être gerées comme tel car le coût des intrants énergétiques notamment oblige l'entrepreneur à une certaine rigueur pour maitriser ces charges de production.

Avantages

- réalisables en matériaux locaux
- faible coût de fabrication et d'entretien
- régulation séchage à deux niveaux : entrée d'air, brûleur, température, utilisation combinée ou exclusive du soleil et du gaz consomme un peu moins du gaz.

Utilisation pour une vaste gamme de produits végétaux (fruits et légume), qualité des produits satisfaisantes : pas de poussière, ni d'insectes rongeurs, qualité exportable.

Facteurs défavorable

Consomme du gaz qui n'est pas disponible partout et qui augmente le coût du séchage. Permutation des claies pour homogénéiser le séchage, gaz de CO₂ dangereux pour l'organisme.

IV.1.2. - Quelques proposition de solution

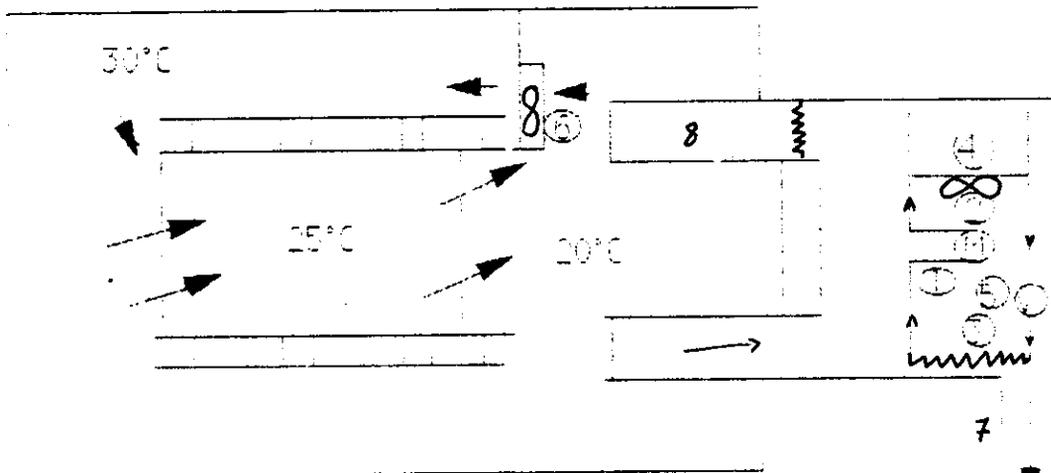
Les séchoirs doivent être améliorés par les organismes constructeurs en faisant un suivi, une maintenance et une formation des utilisateurs. Parmi les séchoirs, le plus rentable est le séchoir mixte. Il a été amélioré mais c'est compte tenu de certains inconvénients (brûlure, noircissement etc) constatés par les utilisateurs, que l'ONG ATESTA a proposé l'étude d'un prototype de séchoir à déshumidification pour essayer d'améliorer les rendements, l'efficacité et la rentabilité. Il est prévu une étude technico économique comparée au séchoir mixte pour avoir une idée sur la rentabilité et la performance.

V. - CONCEPTION ET REALISATION DU SECHOIR

V.I. - Définition

Le séchage par déshumidification se fait dans une cellule thermiquement isolée et étanche. L'élément actif est constitué par un appareil de déshumidification qui, suivant le cas, est soit à l'intérieur, soit à l'extérieur de cette cellule. (voir schéma).

Schéma de principe d'un séchoir à bois par deshumidification de l'air.



DESCRIPTION DU SCHEMA

- 1- Compresseur du fluide frigorigène
- 2- Ventilateur de circulation d'air à l'intérieur de l'appareil de déshumidification
- 3- Evaporateur (élément froid de l'appareil): refroidissement de l'air chaud et humide et condensation de l'eau qu'il contient
- 4- Condensateur (élément chaud de l'appareil): refroidissement de l'air chaud et sec
- 5- Détendeur du fluide frigorigène
- 6- Ventilateur de reprise et de circulation d'air dans la cellule de séchage
- 7- Ecoulement de l'eau extraite
- 8- Résistance électrique au chauffage utilisée si nécessaire

L'appareil comprend :

- Un groupe frigorifique, constitué par un compresseur de fluide réfrigérant ;
- Un évaporateur, élément froid, qui refroidit l'air chaud et humide après un passage sur la mangue, et provoque la condensation de l'eau de cet air ;
- Un condenseur qui rechauffe l'air refroidi et asséché après son passage sur l'évaporateur ;
- un détendeur du fluide réfrigérant ;
- Un écoulement de l'eau extraite de l'air au niveau de l'évaporateur ;
- Un ventilateur ;
- Une résistance pour chauffer l'air si nécessaire.

La déshumidification a toujours lieu lorsque l'air entre en contact avec une batterie sèche ou humide dont la température superficielle est inférieure au point de rosée de l'air. Chaque fois qu'il y a des humidification, il y a refroidissement.

V.2. - Principe

Le principe de séchage est le suivant :

L'air est d'abord refroidi jusqu'à la saturation (point de rosée) par un système de climatisation. Les conduisats qui se forment ont évacués, puis on chauffe, cet air devient sec à l'entrée de la chambre de stockage. L'air sec traverse les claies ou sont stockées les mangues. A la

sortie de la chambre de stockage nous obtenons un air chaud chargé de vapeur d'eau. A la traversée de la batterie froide, l'air se refroidi la vapeur d'eau se condense et les condensats sont séparés de l'air et son évacués vers l'extérieur.

Le procédé peut être fait en circuit fermé, semi fermé c'est à dire avec un rejet partiel de l'air cyclé ou en circuit ouvert.

V.3. - Conception et Réalisation

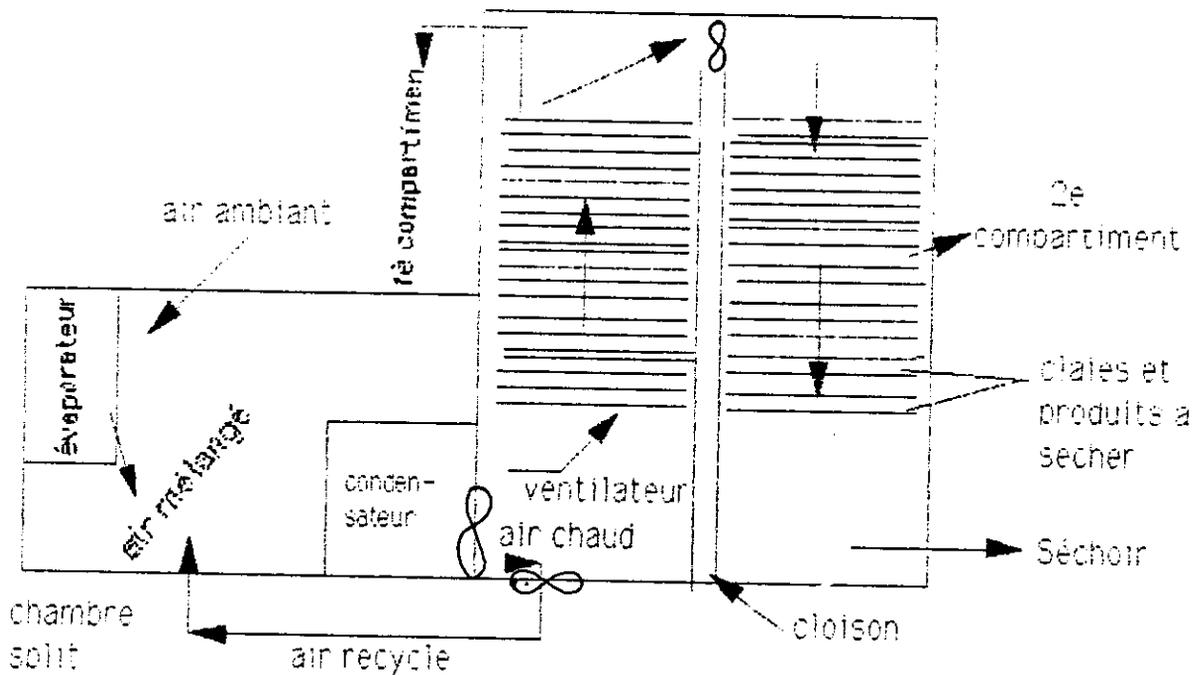
Le séchoir a été conçu dans les ateliers d'ATESTA. Il est fabriqué en bois (contre-plaqué) et peint en blanc. Il est divisé en deux compartiments comportant chacun 13 claies. Les caractéristiques de la chambre de stockage sont :

longueur = 1,5 m
largeur = 1,35 m
hauteur = 2,80 m

Il faut noter que nous ne sommes pas acteur dans la conception et la réalisation du prototype de séchoir. Par ailleurs, nous avons conçu une chambre pour le split. Après les études préliminaires, nous avons étudié les formes à donner aux différentes pièces pour favoriser une bonne stabilité de l'appareil et un bon agencement des pièces en contact. Toute la structure porteuse est en bois, il s'avère nécessaire pour minimiser les risques d'erreur, de tracer avec précision les plans et de les suivre. Il ne reste plus que les travaux de menuiserie pour fabriquer la structure porteuse.

Nous allons faire schématiquement un dispositif de principe du séchoir : voir le schéma qui suit. Les structures porteuse ne changent pas mais a chaque essai, on modifie le retour de l'air chaud. Pour plus d'informations voir les schémas de principe des différents essais.

Schéma de principe du séchoir à deshumification



Avant d'attaquer les études et les interprétations des résultats nous allons essayer de définir quelques notions théoriques et pratiques indispensables.

V.4. - L'air humide

Il est constitué par l'air sec et de la vapeur d'eau (en suspension, puisque qu'il s'agit d'un mélange).

Les principaux paramètres de l'air humide sont :

- Humidité absolue (ou teneur absolue en vapeur d'eau) : elle se définit comme étant la masse des vapeurs d'eau contenues dans une unité de masse ou de volume d'air sec ;

- Humidité relative : Elle est définie par le rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air P_v à la pression de saturation de la vapeur de l'air saturé à la même température sèche.

$$\theta = \frac{P_r(t)}{P_s(t)}$$

- Teneur de l'air en humidité : la teneur en humidité de l'air est une grandeur usuelle qui est utilisée dans la théorie et dans la pratique. Elle est définie par le rapport :

de la masse de la vapeur d'eau qui est contenue dans l'air à la masse de l'air sec

$$x = \frac{m_v}{m_s}$$

A ces paramètres principaux, il faudra ajouter d'autres :

- l'enthalpie spécifique : c'est le rapport de l'air humide à celle de la masse d'air sec qui s'y trouve contenue.

$$h(x + 1) = h_a + x h_v \quad \frac{\text{KJ}}{(1 + x) \text{ kg}}$$

- enthalpie de la vapeur d'eau

$$h_v = r + C_{p_v} t \quad \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

- enthalpie de l'air humide

$$\begin{aligned} h(1 + x) &= C_{p_a} t + x(C_{p_v} t + r) \\ &= 1,006 t + 1,86 x.t + 2500 x \frac{\text{KJ}}{(1 + x) \text{ kg}} \end{aligned}$$

avec $C_{p_a} = 1,006 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}}$: chaleur massique de l'air (-50 à 50° C)

$C_{p_v} = 1,86 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}}$: chaleur massique de la vapeur d'eau (-50 à 50° C)

$r = 2500 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}}$: chaleur massique de l'eau à 0°C

Toutes ces grandeurs sont lues sur le diagramme de l'air humide.

- Diagramme de l'air humide

En assimilant l'air a un gaz parfait, ce qui est une bonne approximation pour le domaine de température dans lequel on travaille en séchage solaire, on obtient cinq relations avec sept variables pour caractériser l'air humide.

Il nous reste pour cela deux variables indépendantes pour caractériser l'air. L'idée de la construction du diagramme de l'air humide est qu'à partir des mesures faites sur deux grandeurs, on déduit les cinq autres grandeurs sur des abaques.

V.5. Appareils de mesure

Pour obtenir des informations sur les caractéristiques de la mangue, il faut des outils qui permettent de quantifier les grandeurs.

- a) Températures : On mesure la température à l'aide d'un thermomètres. Les mesures sont faites aux endroits suivants :

- à la paroi froide de l'évaporateur, pour déterminer la température ;
- sur les ailettes du condenseur
- à la sortie du condenseur pour avoir la température de l'air chaud soufflé.

b) Humidité : Il existe plusieurs moyens pour mesurer l'humidité de l'air. Ces appareils s'appellent des hygromètres. Les mesures sont faits :

- à la sortie de chaque compartiment.

On effectue aussi d'autres mesures qui sont : l'humidité et la température de l'air ambiant, l'humidité et la température de l'air mélangé ;

c) Vitesse : On mesure la vitesse de l'air au moyen d'un anémomètre numérique.

En faisant le tour des splits de l'EIER nous avons pu estimer la vitesse moyenne à l'aide d'un anémomètre à environ 4,2 m/s. Connaissant la section, on peut déterminer le débit d'air.

d) Pouvoir évaporatoire de l'air

Le pouvoir évaporatoire de l'air est la capacité à absorber de l'humidité. Plus il est important, plus le séchage des produits est rapide. Il dépend donc de la différence entre l'humidité absolue de l'air et l'humidité absolue de l'air à saturation.

Cela depend donc de :

- la différence entre l'humidité relative de l'air et l'humidité relative à la saturation, plus cette différence est élevée, plus le pouvoir évaporatoire est élevé ;
- la température de l'air : plus elle est élevée, plus le pouvoir évaporatoire est important ;
- la pression du système : plus la pression est faible, plus le pouvoir évaporatoire est élevé.

e) Tracé sur le diagramme de l'air humide

Toutes les valeurs obtenues sont des valeurs moyennes. Cela s'explique par le fait que les mesures effectuées n'étaient pas très fiables dues aux erreurs et imperfections des appareils de mesures.

Le diagramme permet de caractériser l'air et l'eau qu'il contient. Il met en relation la température, l'humidité absolue et relative de l'air et l'enthalpie pour une pression atmosphérique standard. Toutes ces variables tracées sur le diagramme permettent d'interpréter nos expériences faites sur le séchage.

V.6. - Préparation du produit

a) Conduite du séchage

C'est un ensemble d'opérations à exécuter rigoureusement lors du séchage pour assurer la fiabilité des résultats obtenus. Ces opérations permettent de suivre le séchage

et sont menées avant, pendant et après le séchage. Elles débutent par le choix des produits et finissent avec la conservation des produits séchés. Ces opérations sont :

- choix du produit,
- préparation du produit,
- suivi du séchage,
- conservation des produits séchés.

b) Choix du produit : cas de la mangue

Le choix du produit est très déterminant dans la qualité du produit séché car il conditionne le goût et la couleur. Pour le cas de la mangue, il faut choisir celles qui sont bien mûres (pas trop mûres ni moins mûres). Les mangues cueillies directement de l'arbre sont conseillées. Dans le cas contraire, il faut faire un choix qui tient compte de la durée de conservation du produit avant le séchage. Ce qui nécessite quelques fois un local pour conserver les produits frais.

c) Préparation du produit : cas de la mangue :

Après le choix de la mangue, il faut procéder au lavage et au nettoyage du produit. ensuite viennent l'épluchage de la mangue et le découpage de la pulpe en tranches de 7 à 8 mm d'épaisseur. Par la suite, on fait l'étalage de produit sur des claies. Enfin pour lutter contre les contaminations par les insectes, des larves, les bactéries et le noircissement du produit, on fait un prétraitement au soufre SO_2 et au métabisulfite.

d) Suivi du séchage

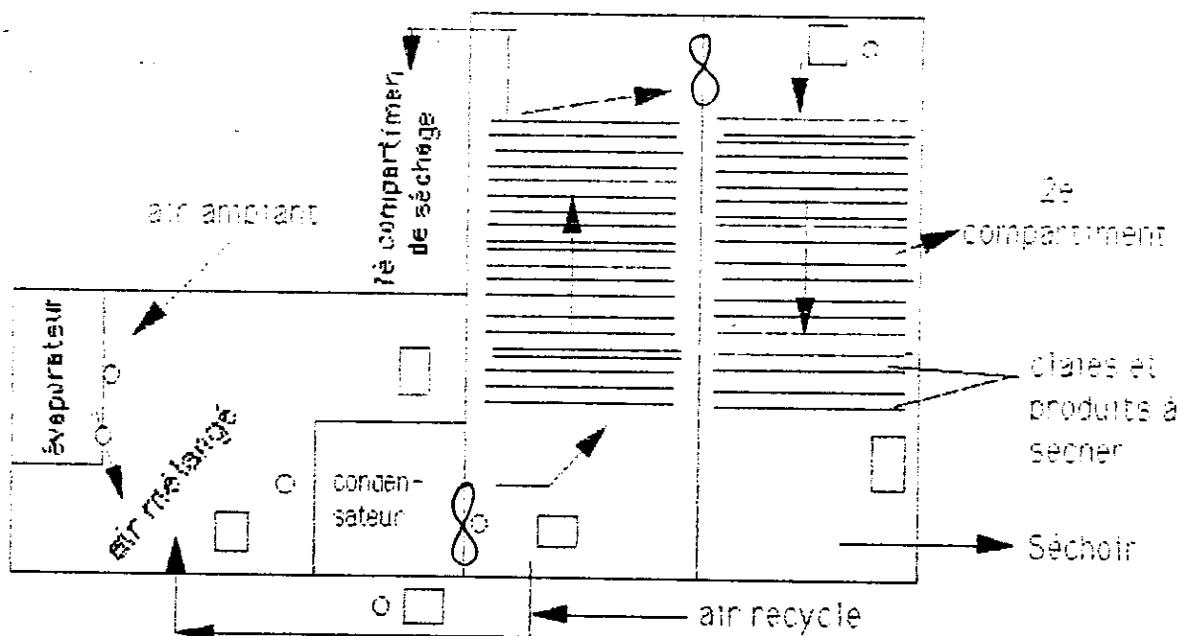
Cette opération consiste à vérifier de temps en temps la température dans le séchoir et la température maximale admissible pour le produit T_m , la température sèche et humide de l'air ambiant et à la sortie du séchoir. Ces mesures permettront

de vérifier le degré d'humidité relative de l'air ambiant et à la sortie du séchoir. La mesure de poids du produit permet de connaître le rapport de séchage et comparer avec le rapport de séchage conseillé (cf. fiche produit document, GRET-GERES : le séchage solaire des produits alimentaires).

VI. - LES EXPÉRIMENTATIONS

Les essais se sont déroulés à ATESTA, nous avons mis dans le séchoir des feuilles de journaux mouillés pour tester la vitesse et le temps de séchage.

Le schéma qui suit donne l'emplacement des thermocouples et des thermohygromètres.



○ thermocouples

□ thermohygromètres

Figures n° 1 : Schéma d'emplacement des thermocouples et hygromètre.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau n° 1

Heure	text	Hext	tm	H2	T condenseur		entrée séchoir		Sortie séchoir		eau (e)
					aillettes	sortie	t	H2	t	H2	
9H50	36	43 %	38	28	55	47	47	25 %	36	54	22/8

Tableau n° 1 : Valeurs moyennes obtenues lors du séchage des feuilles de journaux.

Sur le diagramme de l'air humide fig. 2, l'air extérieur se condense jusqu'à la saturation. A la sortie de l'évaporateur, la paroi froide se trouve à 15°C. Le mélange d'air obtenu est 38°C, HR = 28 %. A la sortie du séchoir, l'humidité a augmenté tandis que la température a chuté à 36°C.

Le séchage est presque isenthalpique. La teneur en eaux éliminée s'élève environ à 0,004 g/KgAs et la variation d'enthalpie sera de 9,5 KJ/KgAs.

Il est plutôt facile d'amener l'air extérieur à la courbe de saturation que l'air sortie des produits (dépenses de frigorifiques). Avec la suite des essais, nous proposons qu'il faut utiliser l'air extérieur ou faire un recyclage d'air.

VI.1. - Essai 1 : Il s'est déroulé du 11 au 12 Mai 1995. Le circuit est semi-fermé, nous utilisons l'air ambiant. Le schéma de réalisation des essais est le suivant :

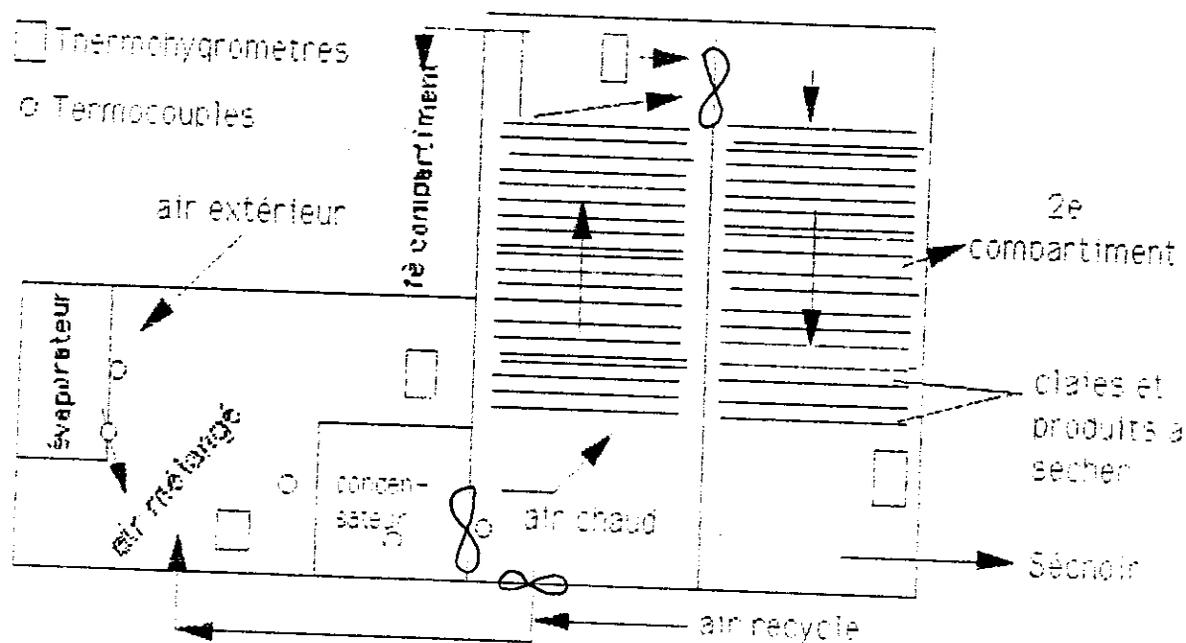


Figure n° 3

Les valeurs relevés au cours de l'expérimentation sont dans le tableau n° 2. Les données du tableau n° 2 sont relevées en fonction des périodes de la journée.

On constate une certaine disparité des températures. L'air chaud du condenseur traverse les produits. A la sortie du séchoir, la température a chuté (exemple : ($t_{\text{entrée}} = 54^{\circ}\text{C}$ à $t_{\text{sortie}} = 34^{\circ}\text{C}$). L'humidité a augmenté de 16 % à 57 % en moyenne. Ces données ont été observées entre 18H et 23 H (voir tableau n° 2).

Au niveau de l'évaporateur, il y a une condensation et les condensats recueillis sont en moyenne 10,6 l/h.

Par ailleurs, pour effectuer les essais nous sommes partis des données suivantes :

masse à éplucher	= 165 kg
masse à sécher	= 92,38 kg
masse après séchage	= 19,8 kg
début du séchage	= 11/05/95 à 18 H 20
fin du séchage	= 12/05/95 à 23 H.

Nous sommes partis d'une quantité de mangue à sécher de 92,38 kg et à la fin du séchage on a obtenu 19,8 kg. La différence de masse correspond à la perte d'eau évaporée.

Sur la courbe n° 1, on constate que l'humidité des mangues a diminué. Les températures et les humidités extérieures sont en moyenne.

début	Text = 30°C	Hext = 88 %
Fin	Text = 32°C	Hext = 69 %

Voir tableau n° 2

Le cycle du séchage est bon. Il tourne autour de 40 Heures en moyenne. Cela permet d'avoir un rendement meilleur.

Par ailleurs on remarque que la condensation de l'air extérieur est assez longue (diag. 1). A la sortie de l'évaporateur, le mélange d'air augmente de température (47°C) dû au recyclage de l'air chaud. Au niveau du mélange d'air, il y a une augmentation de l'humidité (Hr = 17 %), il y a donc une anomalie dans les mesures où l'appareil de mesure n'est pas bon.

De la sortie du condenseur à la sortie du séchoir, la teneur en eau vaut = $0,019 - 0,015 = 0,004$ g/KgAs. (diag 1).

L'air sorti du séchoir est rejeté. Le séchage n'est pas isenthalpique.

Les deux diagramme ont presque les mêmes caractéristiques.

Sur les diagrammes 4 et 5, l'air extérieur n'est pas assez humide néanmoins pour le condenser nous effectuons les mêmes procédés. Mais ici la condensation n'est pas longue.

Après le point de rosée, le mélange d'air soufflé sur le condenseur a une température de 49°C (diag 4). L'humidité de l'air entre T_m et T_5 n'a pas augmenté comme sur le diagramme 1 et la température du condenseur a augmenté (54°C) diag. 4.

Enfin de séchage, la teneur en eau vaut environ 0,0026 g/KgAs. Dans ce cas, la perte de frigorie signifie, qu'il faut rejeter l'air sortie du produits et prendre l'air extérieur. On constate alors que le séchage n'est pas isenthalpique.

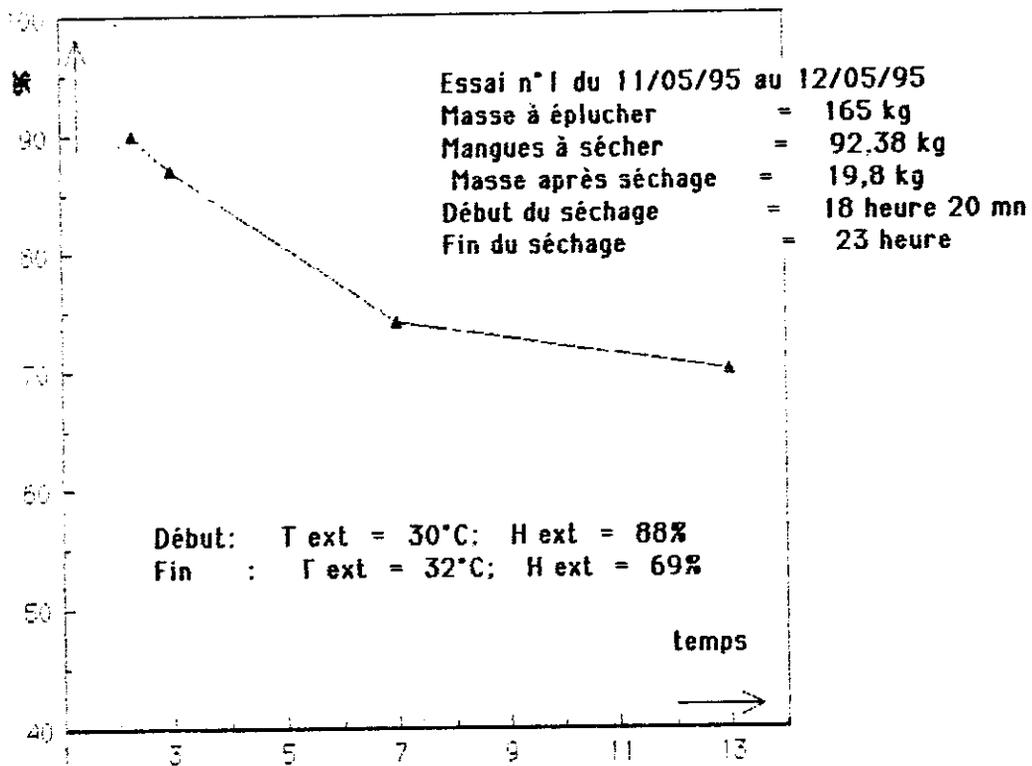
Sur les diagrammes 2 et 3, ayant eux aussi presque les mêmes caractéristiques, nous essayons de les interpréter. L'air extérieur est humide car les valeurs ayant été relevées au environ de 3 Heures et 07 Heures. Tableau n° 2. La condensation a été longue et importante. A partir de la paroi froide, le mélange d'air augmente de température 45 et 46°C dû au recyclage de l'air chaud du condenseur (diag 2,3). Ici aussi l'air sortie du condenseur a augmenté d'humidité (14 % à 16 %). Cela s'explique par un mauvais relevé des mesures.

De la sortie du condenseur à la sortie du séchoir, la température a passé de 53 à 36°C (diag 3) et on peut estimer la teneur en eau à 0,001 g/Kg As.

En ce diag 3, les gains de frigories seront estimées à $\Delta H = 3,5 \text{ KJ/KgAs}$. Dans ce cas, le gain de frigories signifie que la condensation sera moins importante donc le mélange obtenu aura une température élevée et par la suite celle du condenseur aussi. Ce qui n'est pas intéressant, car les produits seront détériorés. Nous proposons d'utiliser l'air extérieur malgré le gain en frigories (3,5 Kg/kgAs) car à la sortie du séchoir, il faudra fournir d'énergie pour condenser l'air sortie des produits = 19 KJ/KgAs diag 3.

Tableau n° 2 : Essai n° 1 du 11/05/95 au 12/05/95

Heures	Text	Hest	Hr mangues			Tp f	Tm	Hr entrée	T3	T4	T5 entrée	HR		T	HR	eau
			bas G	Haut G	Bas D							retour	sortie			
23	30	72	91	88	85	14	47	16	50	52	54	17	34	57	16	1
03	30	73	87	86	88	14	46	15	49	52	53	14	36	42	14	1
07	30	71	90	88	87	14	45	15	49	51	52	16	38	33	8	1
13	30	41	74	76	72	14	49	11	53	55	54	10	45	20	8	1
19	32	36	70	66	73	13	46	11	53	52	50	10	43	16	7	1



**Courbe n°1: humidité relative des mangues
en fonction du temps**

DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 + 55 °C

Altitude 0

Hr manques

91 - 85%^o

23H

①

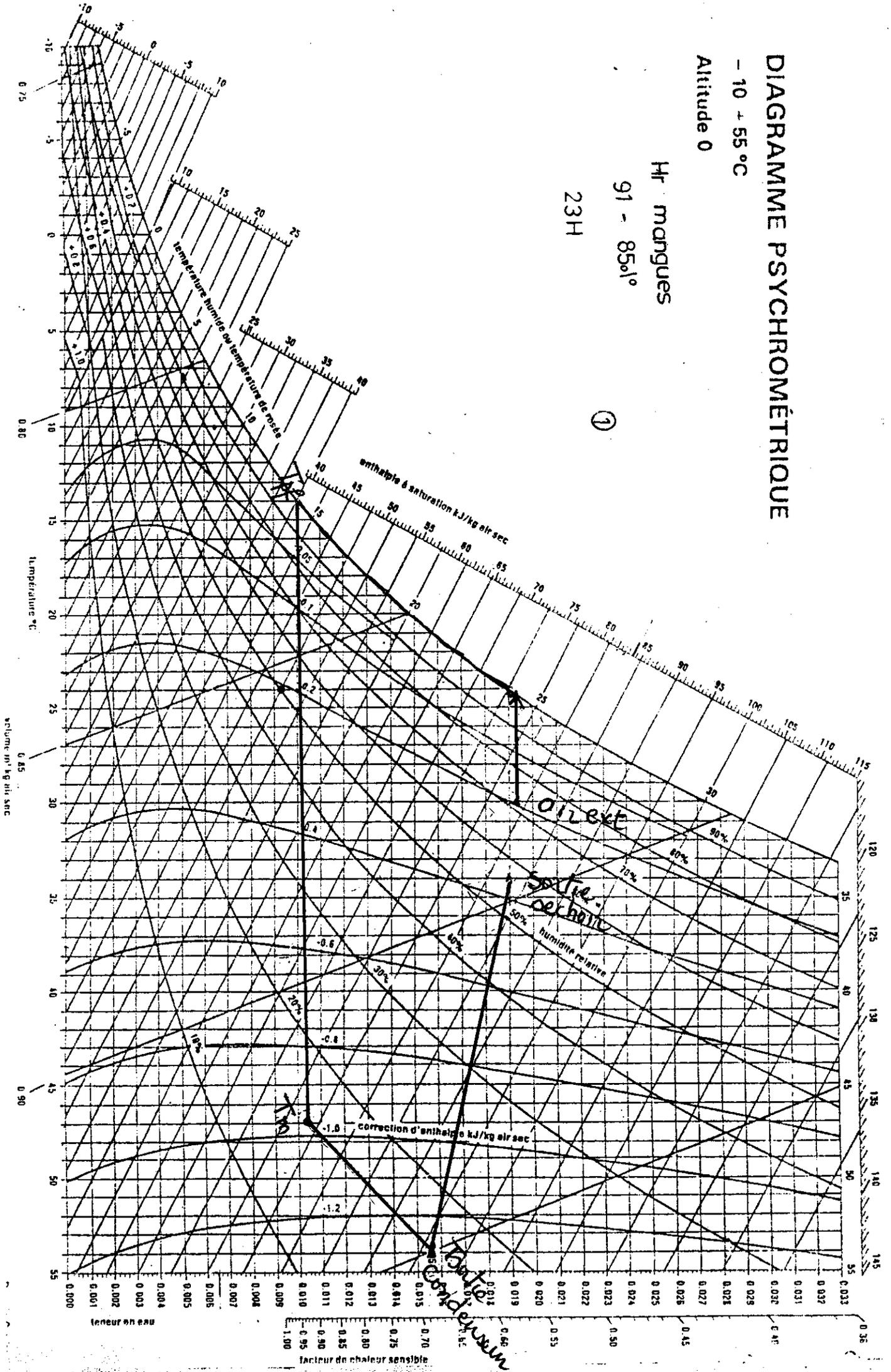


DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 ± 55 °C

Altitude 0

Hr manques

76% - 72%

13H

(4)

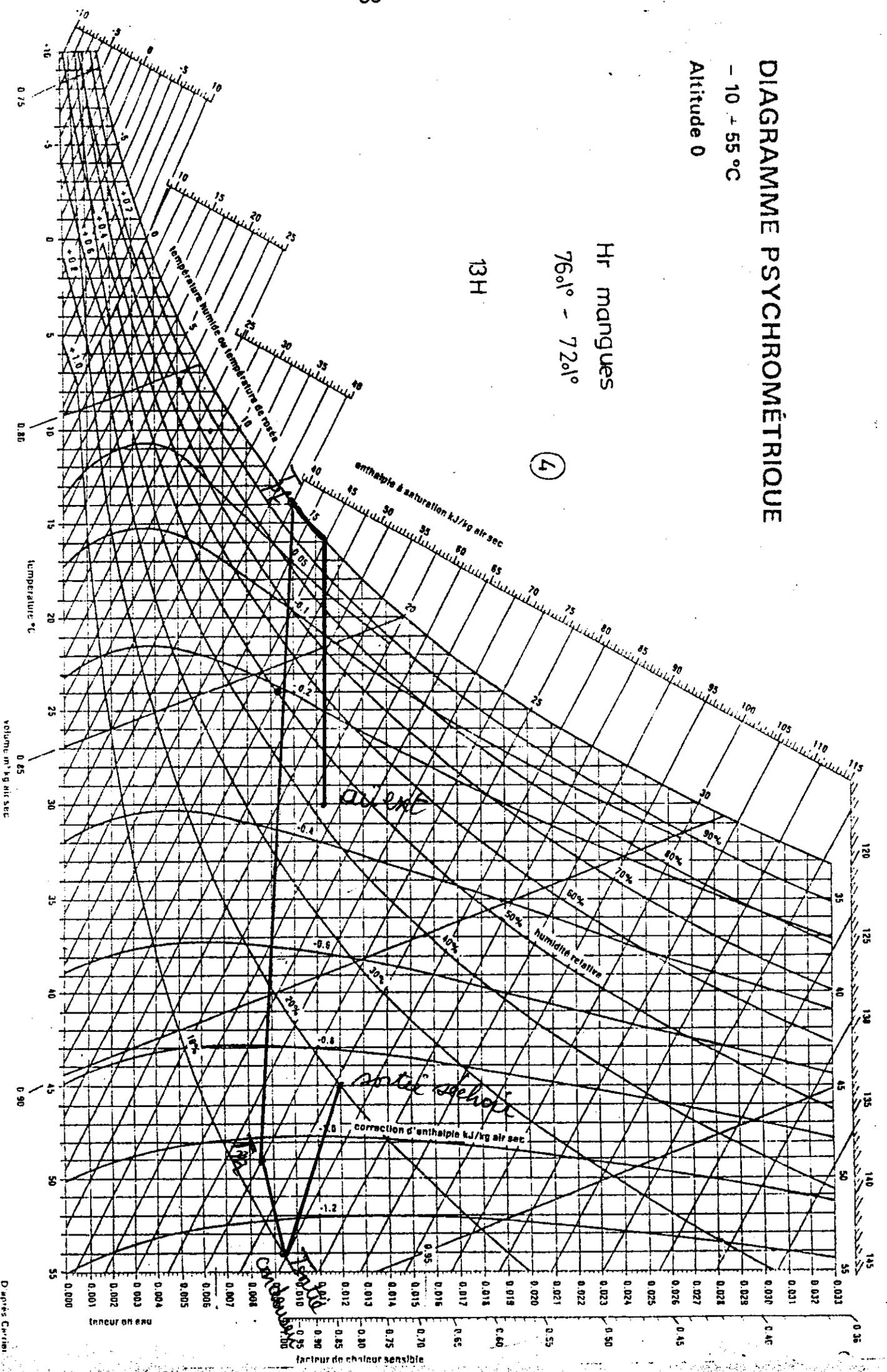


DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 ± 55 °C

Altitude 0

Hr manques

73° 10' 66° 10'

19H

(5)

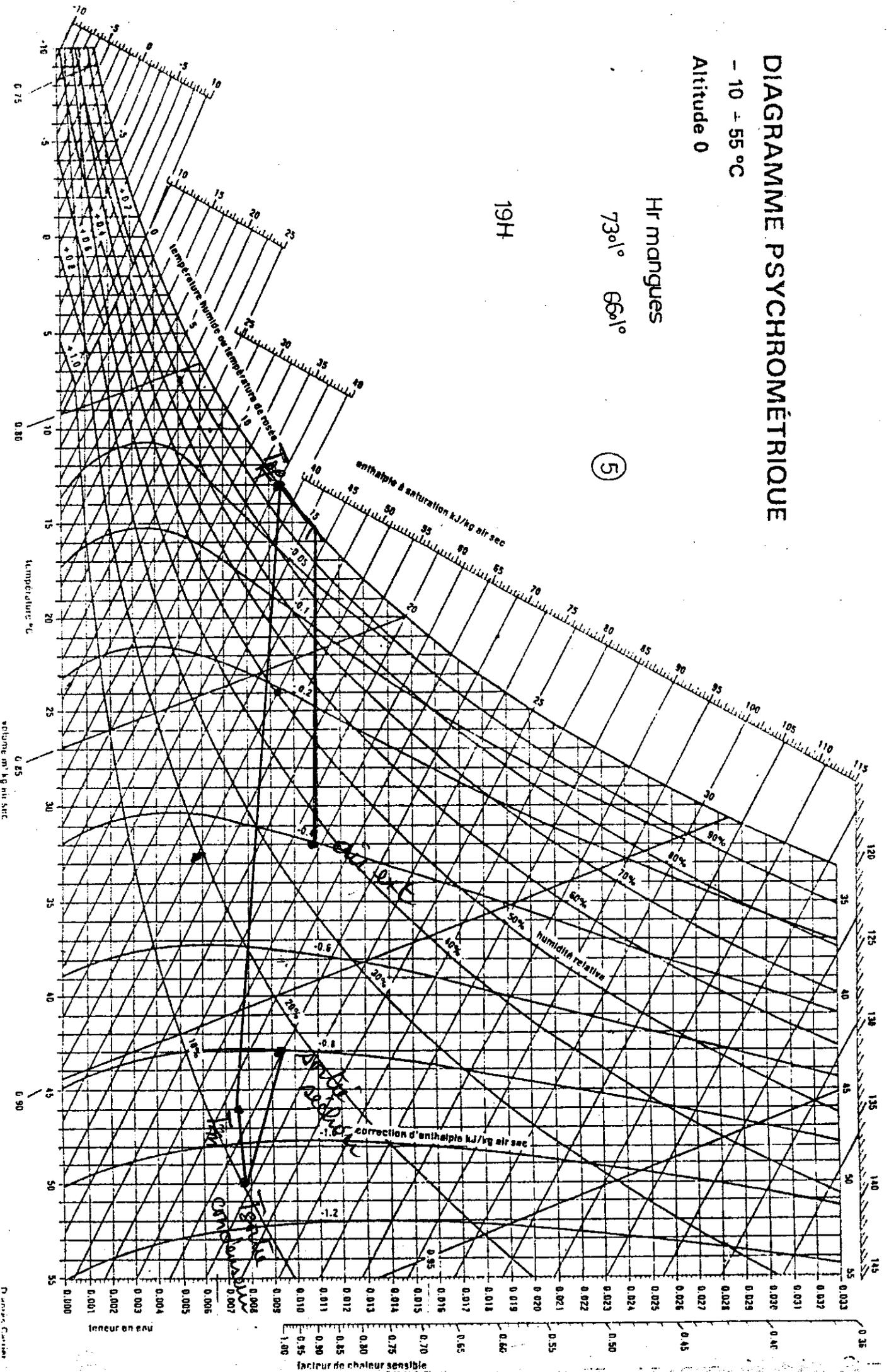


DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 ± 55 °C

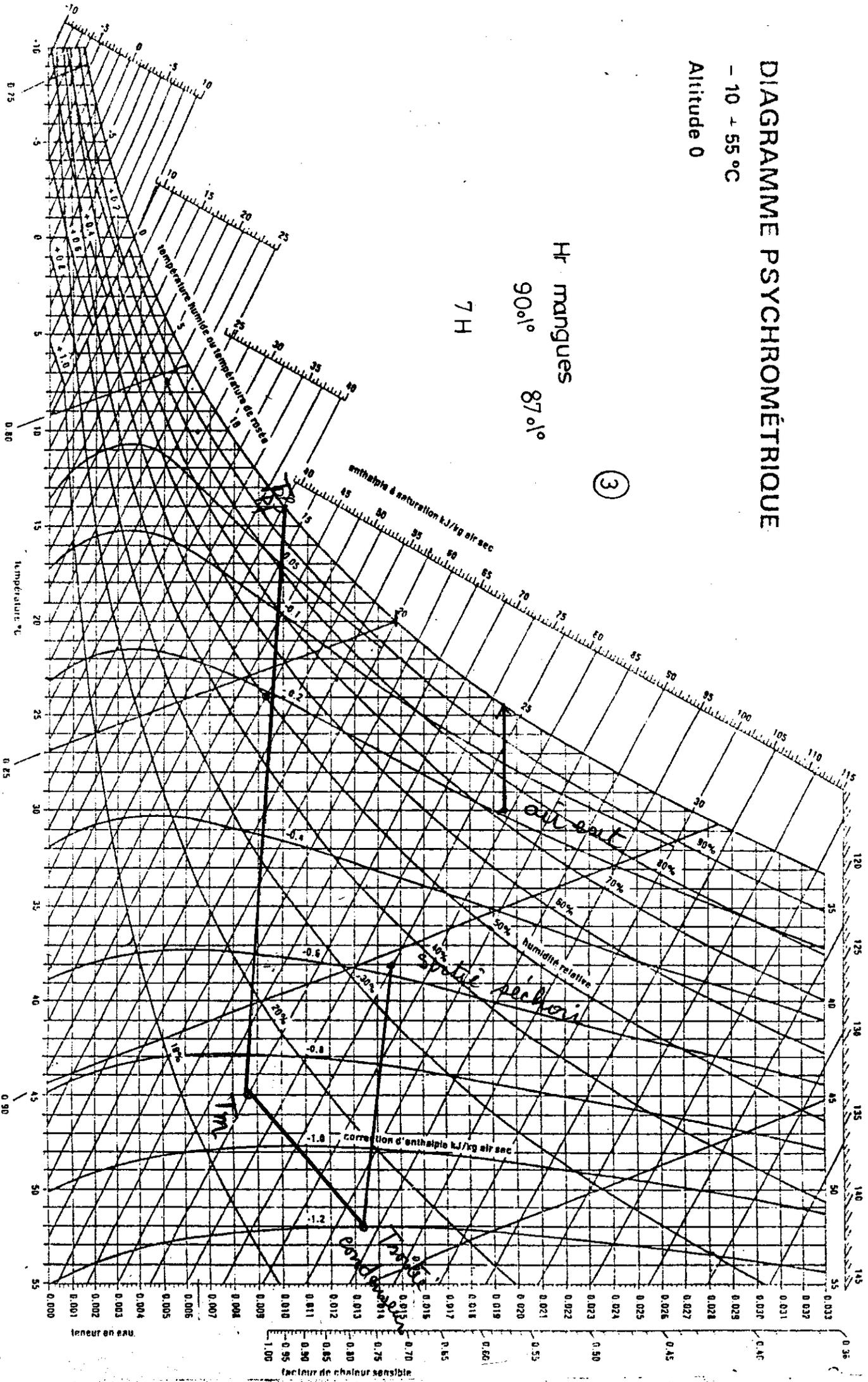
Altitude 0

Hr manques

90% 87%

7 H

(3)



VI.2. - Essai 2

Il est effectué du 15 au 17 Mai 1995. Il s'est déroulé dans les mêmes conditions que l'essai précédent sauf que l'air sortie des produits est rejeté. Le circuit est totalement ouvert le schéma utilisé sera le suivant :

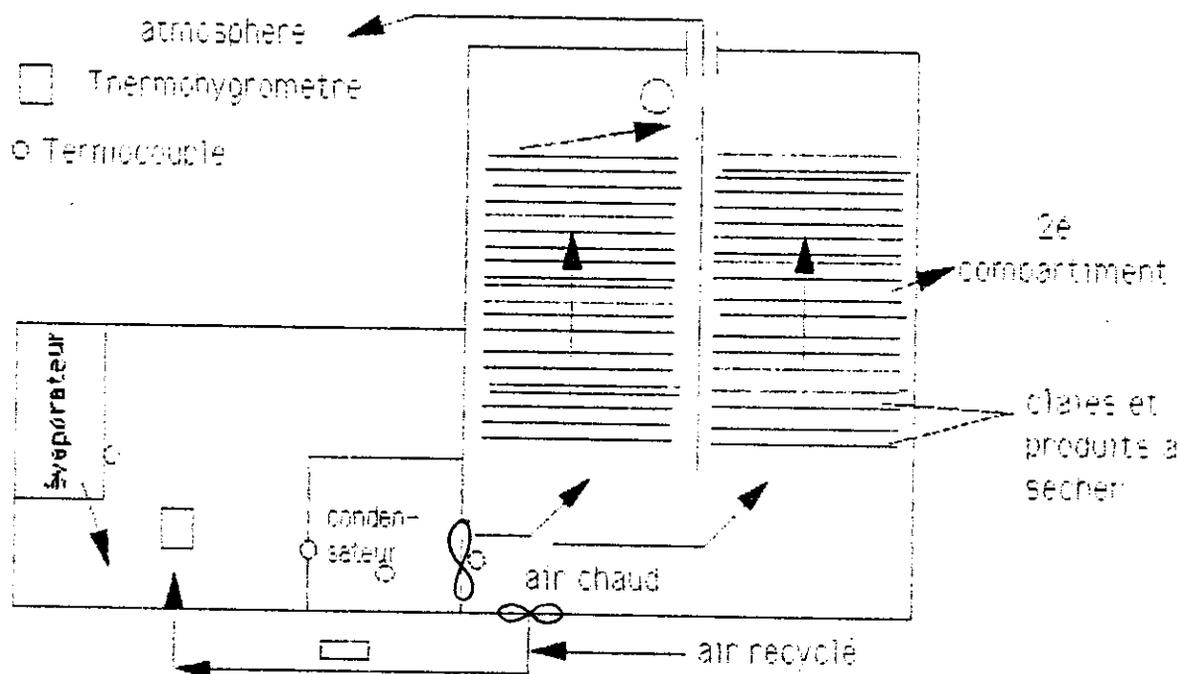


Figure 4

Pour l'essai 2, nous avons représenté 5 diagrammes et une courbe caractéristique ci-dessous définie :

Courbe de l'humidité des mangues en fonction du temps. Les résultats des essais sont consignés dans le tableau n° 3. Les températures sont presque homogènes (tableau n° 3). Les températures de la paroi froide sont élevées.

L'air sec et humide du condenseur passe à travers les claies et se charge de vapeur d'eau. A la sortie du séchoir, la température chute et l'humidité augmente (voir diagramme 1, 2, 3, 4, 5 Essai 2).

Les expériences ont commencé avec les données qui suivent :

masse à éplucher	= 207 kg
masse à sécher	= 55,85 kg
masse après séchage	= 20,95 kg
début du séchage	= 22 H 30
fin du séchage	= 9 H 00

A partir de la quantité de masse à sécher 55,85 kg, on a pu obtenir une masse de 20,95 kg après séchage. La perte de masse correspond à la perte d'eau évaporée. On a effectué cette opération de séchage en temps moyen de 40 Heures. les températures et les humidités extérieures moyennes observées sont :

début	Text = 302	Hext = 85 %
Fin	Text = 30°C	Hext = 59 %

Tableau n° 3

Sur la courbe n° 2, l'humidité relative diminue et entre 15 Heures et 21 Heures on constate une stabilité dans l'allure de la courbe et cela s'explique par un arrêt du split dû à une coupure de courant. Après la courbe continue à décroître. Arrivée à 60 % d'humidité (normes), on suppose que les mangues sont séchées.

Par ailleurs, en observant nos différents diagrammes psychrométriques on constate une certaine disparité des données.

Les diagrammes 1, 4, 5 ont presque les mêmes caractéristiques, nous essayons de les interpréter. Sur le diagramme 1, la condensation n'est pas assez longue. L'air extérieur se condense jusqu'à la saturation. Au sortir de la paroi froide, le mélange d'air augmenté avec l'air recyclé. Cet air traverse le condenseur (50°C HR = 10 %). Dans le séchoir, le cycle de séchage est long. On chute la température entre le

condenseur (50°C) et la sortie du séchoir (32°C - HR = 65 %). Enfin la teneur en eau éliminée est environ $0,0042 \text{ g/KgAs}$. La différence d'enthalpie est estimée à $14,5 \text{ KJ/KgAs}$. Le séchage n'est pas isenthalpique.

Sur le diagramme 4, la condensation est modérée, l'air extérieur n'est pas assez humide. L'air froid soufflé par la paroi froide (15°C) et se mélange avec l'air recyclé pour former un mélange d'air (45°C - HR = 16 %). Cet air passe dans le condensateur puis s'échauffe (51°C).

Dans le séchoir, le séchage est long. De la sortie du condenseur à la sortie du séchoir (36°C - HR = 45 %), le cycle est isenthalpique. La teneur en eau est environ $0,0064 \text{ g/KgAs}$ et les pertes d'enthalpies sont estimées à 12 KJ/KgAs . Le séchage est isenthalpique.

Sur le diagramme 5, l'air extérieur se condense assez longtemps. A la paroi froide 13°C , l'air se mélange avec le retour d'air recyclé. On constate une légère augmentation de l'humidité de l'air du condenseur (12 %).

Le processus de séchage n'est pas assez long. A la sortie du séchoir, la température a chuté (38°C). La teneur en vapeur est d'environ $0,004 \text{ g/KgAs}$. La différence de frigories que l'on doit fournir pour amener l'air sortie des produits à saturation est estimée à $6,5 \text{ KJ/KgAs}$. Le séchage est presque isenthalpique, alors nos valeurs s'approchent de la réalité.

Le diagramme 2 et 3, ont également presque les mêmes caractéristiques.

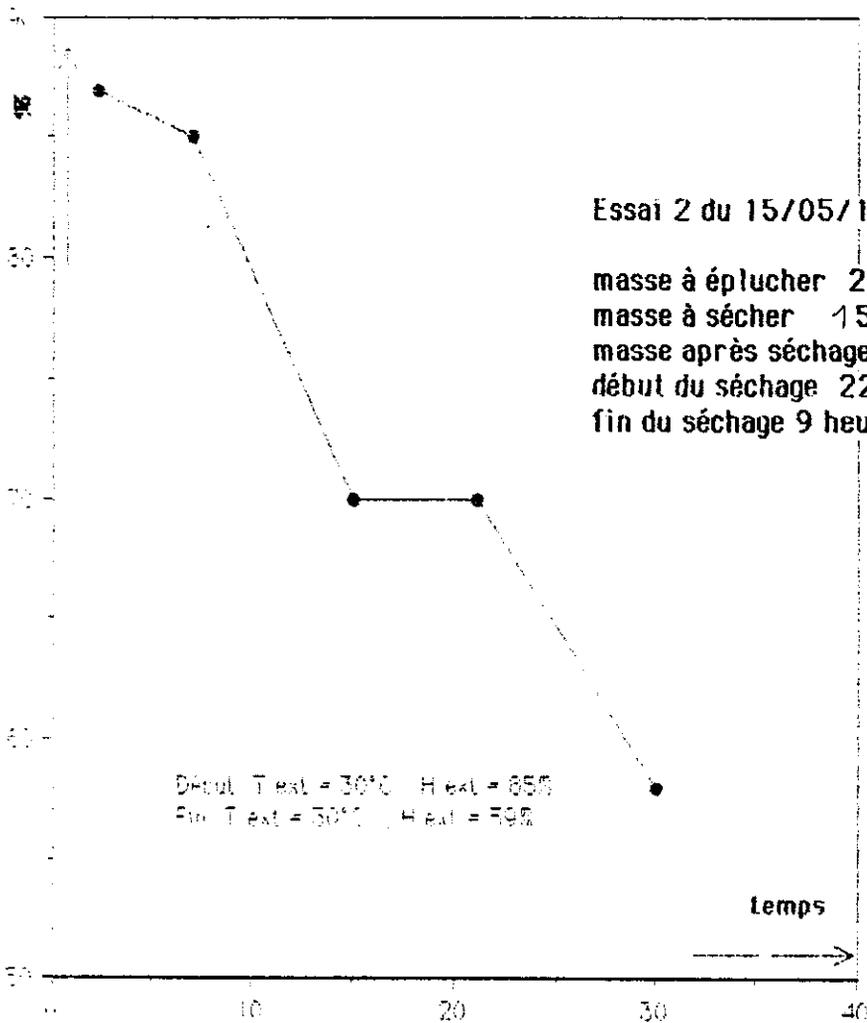
Sur le diagramme 2, l'air extérieur se condense jusqu'à la saturation 100 %. Au sorti de l'évaporation, l'air froid se combine avec l'air chaud recyclé. Ce mélange d'air (40°C) passe au condenseur (44°C). Mais sur le diagramme, on constate que l'humidité de l'air du condenseur a chuté 16 %. Alors que la

différence de température entre T_m et T_5 est environ 4°C . Nous estimons que c'est une erreur de mesures. Au sortie du séchoir (29°C - HR - 67 %), les produits ont beaucoup changé l'air qui les a traversé. Ici aussi la droite n'est pas isenthalpique. La teneur en eau est relativement importante. Elle est environ $0,0082 \text{ g/KgAs}$ et les pertes frigorifiques sont estimées à 13 KJ/KgAs . Sur le diagramme 3, l'air intérieur n'est pas du tout humide. Pour arriver à la saturation, il fournit assez d'énergie. La condensation a été très faible. L'air froid se mélange avec le retour d'air recyclé. Ici aussi l'air du condenseur perd de l'humidité. Le cycle du séchage dans le séchoir n'est pas assez long. Le séchage n'est pas isenthalpique. La teneur en eau s'élève à environ à $0,0064 \text{ g/KgAs}$ et les pertes frigorifiques seront à $8,5 \text{ KJ/KgAs}$.

A la sortie du séchoir, la température et l'humidité sont estimées en moyenne à 40°C - HR = 28 %.

Tableau n° 3 : Essai 2 du 15/05/95 au 17/05/95

Heures	Text	Hest	Hr mangues			Tpf	Tm	Hr entrée	T3	T4	T5 entrée	HR retour	T sortie	HR	eau
			bas G	Haut G	Bas D										
23	30	54	85	85	87	15	43	23	50	50	50	20	32	65	5
07	27	58	79	86	85	12	39	23	46	46	43	16	29	67	8
15	40	20	67	62	70	12	44	14	50	50	47	10	40	28	3
21	33	44	53	82	70	15	45	16	53	53	51	12	36	45	8.1
05	30	56	52	67	58	13	43	16	49	50	48	12	37	33	10



Courbe n°2: humidité des mangues en fonction du temps

DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 + 55 °C

Altitude 0

Hr mangues

82% 53%

(7)

21H

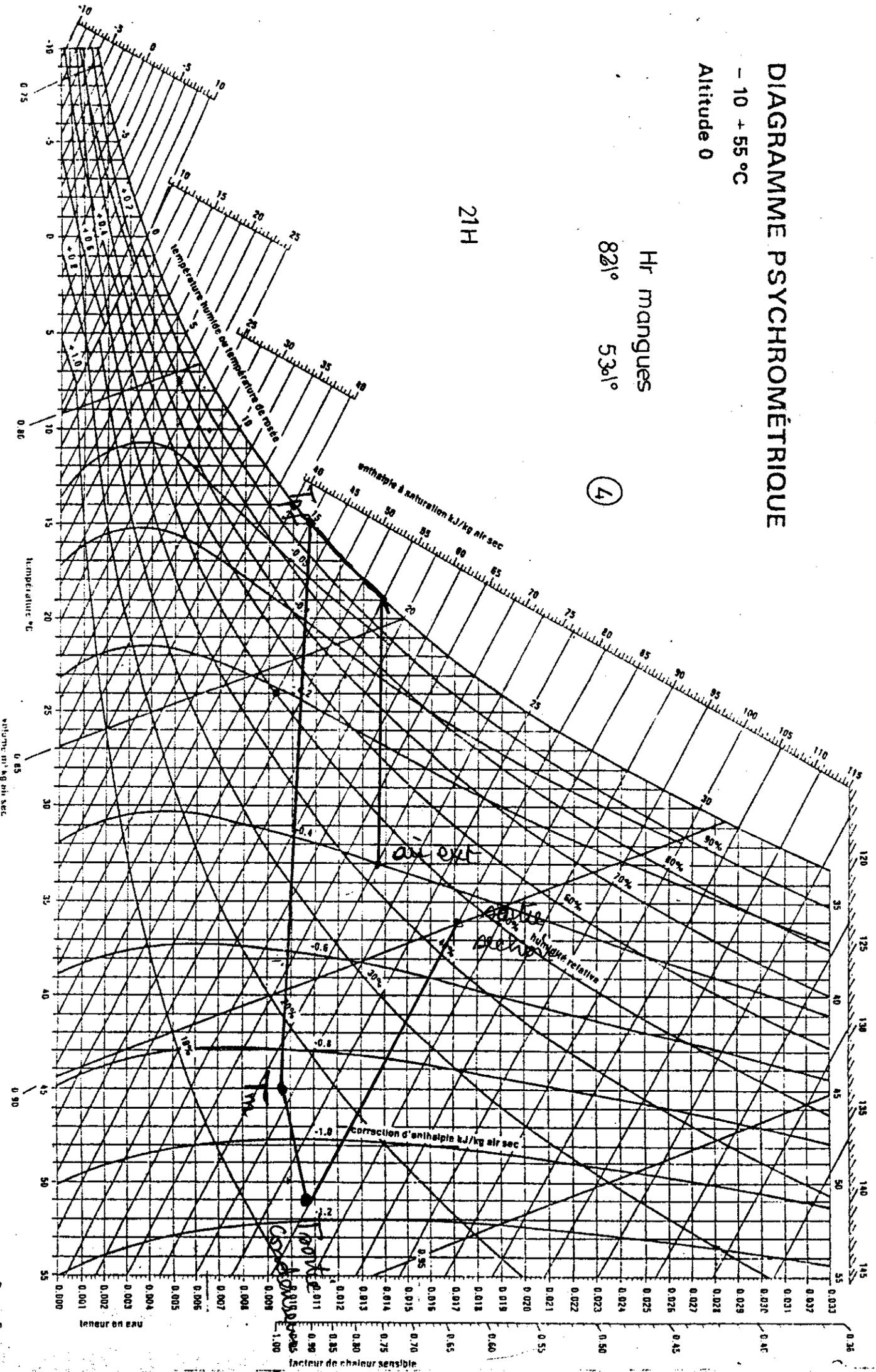


DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 + 55 °C

Altitude 0

Hr mangues

86°1' 79°1'

7H

(2)

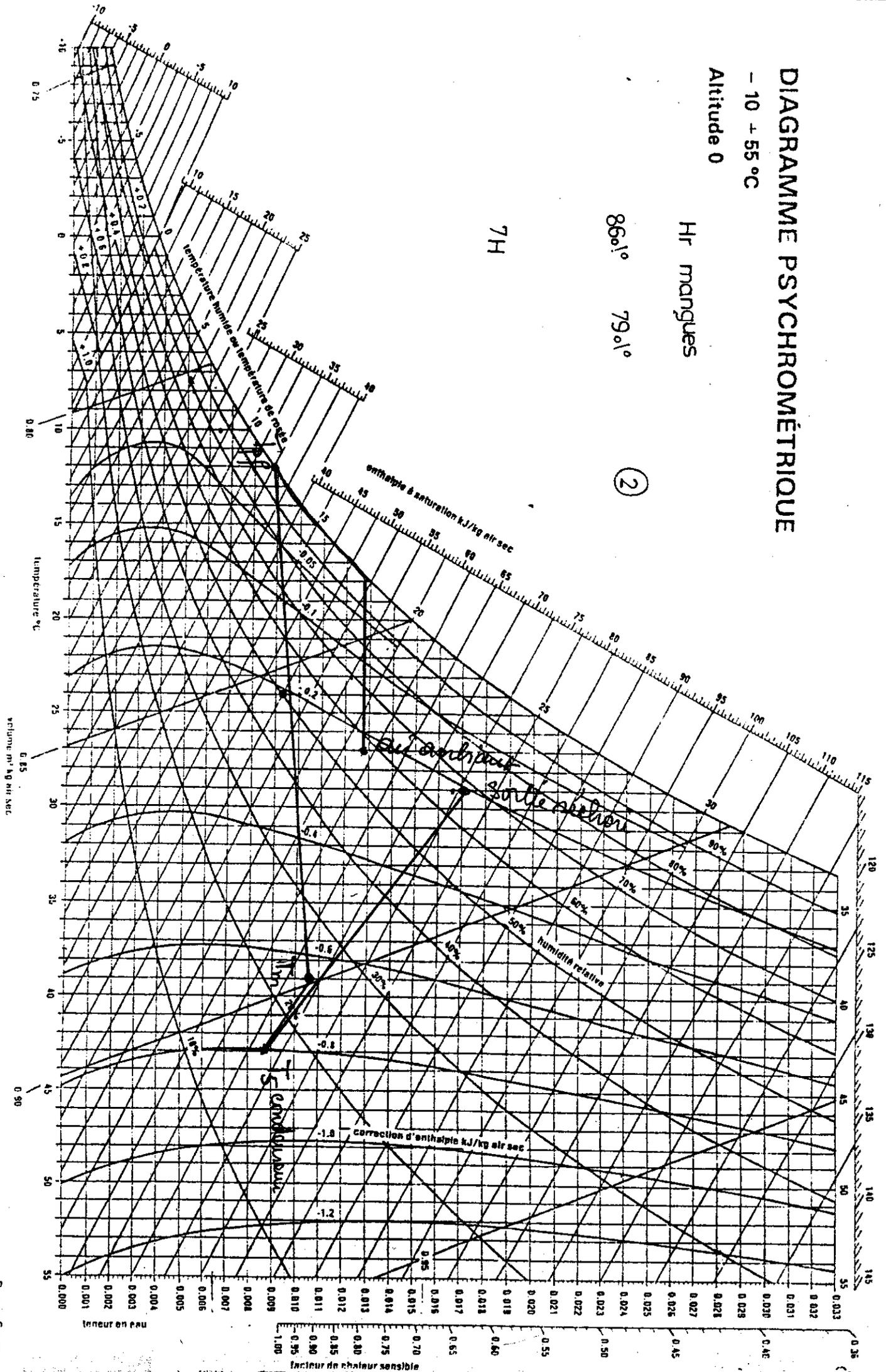


DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 + 55 °C

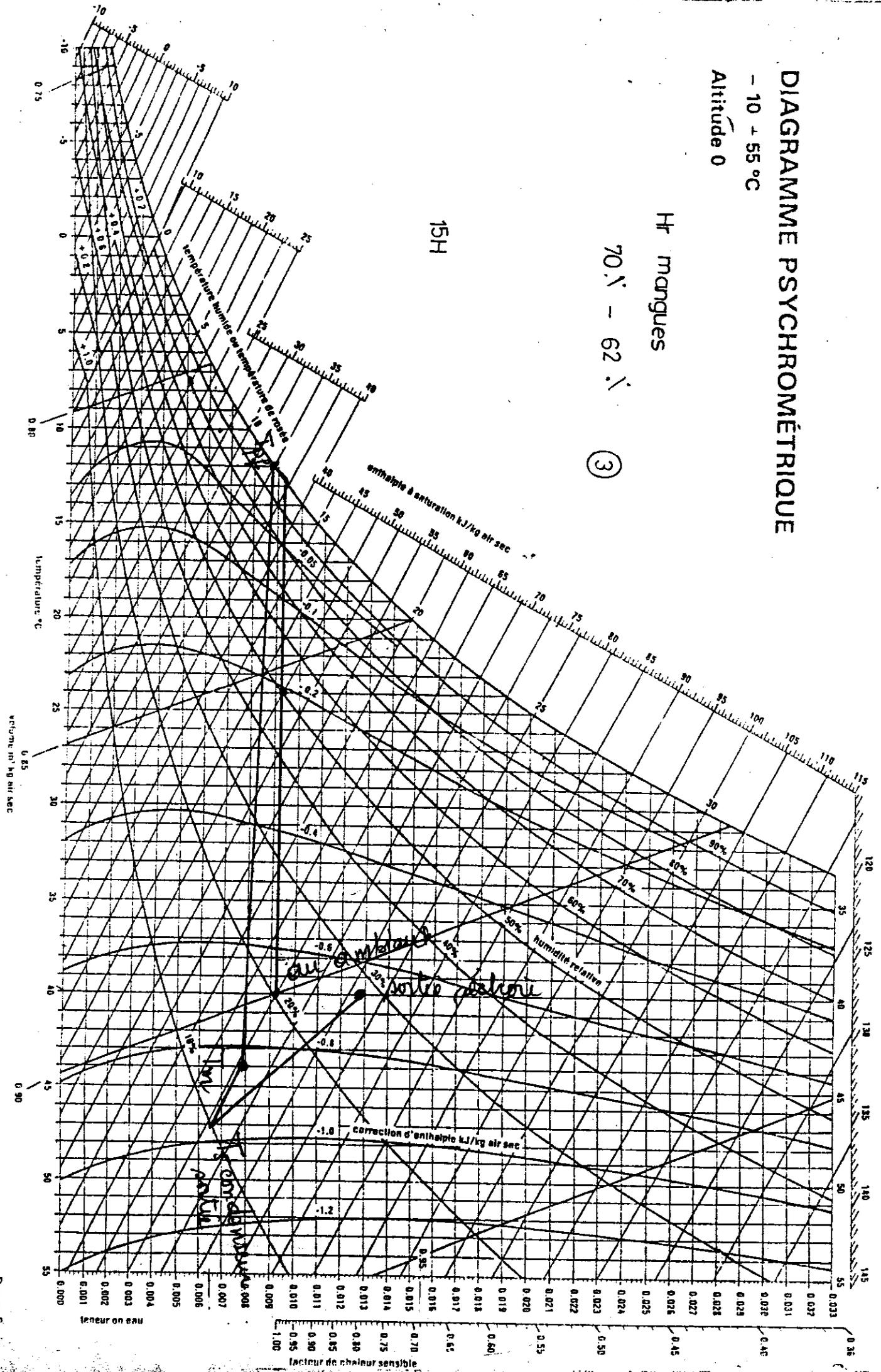
Altitude 0

Hr manques

70 \ - 62 \

(3)

15H



En règle générale, on remarque que quand la condensation n'est pas longue, les produits sortent du séchoir avec une humidité élevée et inversement quand la condensation est longue, le phénomène s'inverse (voir diagramme 1, 2, 3, 4, 5). Dans tous les diagrammes interprétés, il ressort qu'il faudra utiliser l'air ambiant car il donne un bon rendement.

VI.3. - Essai 3

Il a commencé du 17 au 19 Mai 1995. Il est fait en circuit fermé. L'air venant des produits est recyclé et on le fait passer sur l'évaporateur. Pour le schéma de réalisation voir figure n° 3. L'essai est effectué ; nous avons représenté un diagramme psychrométrique et une courbe caractéristique ci-dessous définis.

- courbe de l'humidité des mangués en fonction du temps.

Les différents résultats sont consignés dans le tableau n° 4. Les températures ne sont pas homogène (tableau n° 4). Les valeurs de température sur la paroi froide sont élevées. L'air sec et humide traverse les produits et se charge de vapeur d'eau.

L'air extérieur n'est pas très humide, la condensation est difficile. A la sortie de l'évaporateur, la température de l'air a augmenté rapidement 49°C. Cette augmentation de température est due à la présence de deux ventilateur qui font le recyclage. L'air de retour est chaud 60°C et cet air élevé donc la température du mélange.

En effet, les expériences ont démarré avec les données suivantes :

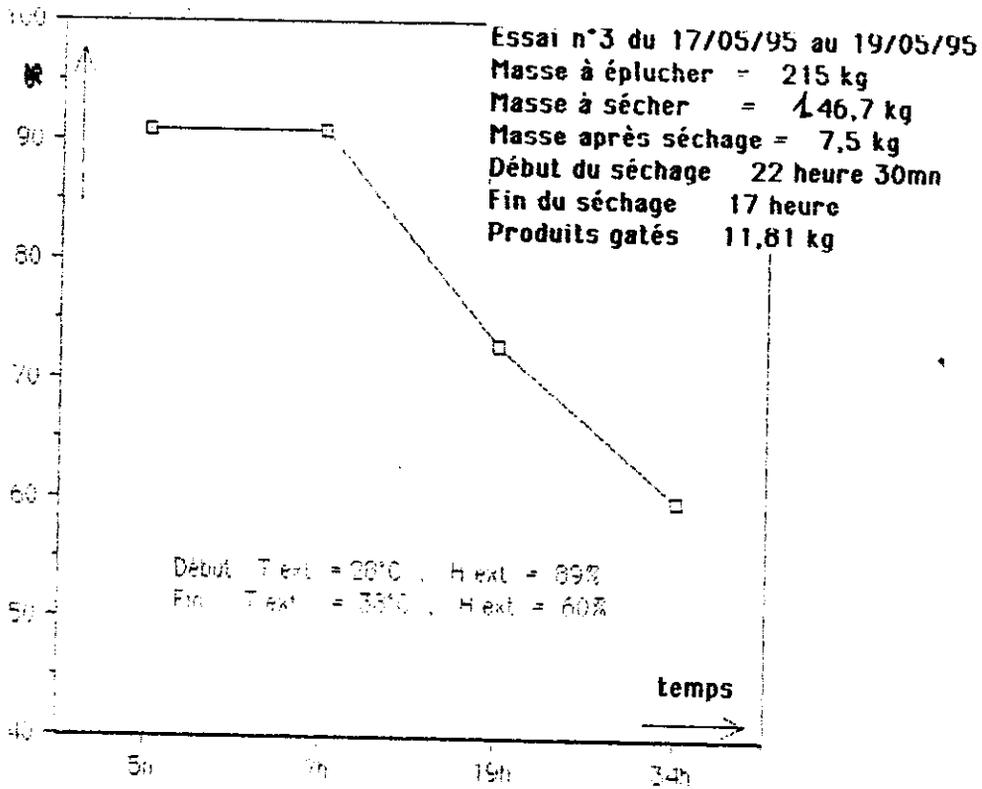
masse à éplucher	: 215 kg
masse à sécher	: 46,7 kg
masse après séchage	: 7,5 kg
début du séchage	: 22 H 30
Fin du séchage	: 17 H
produits gatés	: 11,81 kg

En partant d'une quantité de masse à éplucher de 46,7 kg, on a pu avoir 7,5 kg de produit séché et le reste est gaté. Le cycle de séchage a été le plus long (2 jours). Nous proposons d'utiliser alors l'air ambiant.

Sur la courbe n° 3, l'humidité des mangues décroît, cela explique que les mangues perdent une certaine quantité d'eau. L'air renvoyé au condenseur étant déjà chaud s'échauffe de plus $60^{\circ} \text{C} - \text{HR} = 10 \%$.

A la sortie du séchoir, il y a un phénomène qui se produit au lieu d'éliminer l'eau, nous en récupérons ce qui est impossible. Dans cet essai, l'air chaud mélangé (55°C ; voir tableau n° 4) provoque l'arrêt du système électronique. Cet arrêt fausse toutes les mesures car le système ne démarre qu'après 1 Heure 30 à 2 Heures. C'est cela qui justifie les données incomplètes qui sont dans le tableau n° 4.

Au vue de ces résultats (tableau n° 4), nous proposons de continuer les essais avec l'air extérieur sans recyclage. On pourra essayer de l'adapter quand l'humidité et la température vont chuter. Les produits obtenus sont noirs et ont perdu toutes leurs qualités organoleptiques).



Courbe n°3: humidité des mangues en fonction du temps

DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 ± 55 °C

Altitude 0

Hr margues

72.0%

19H

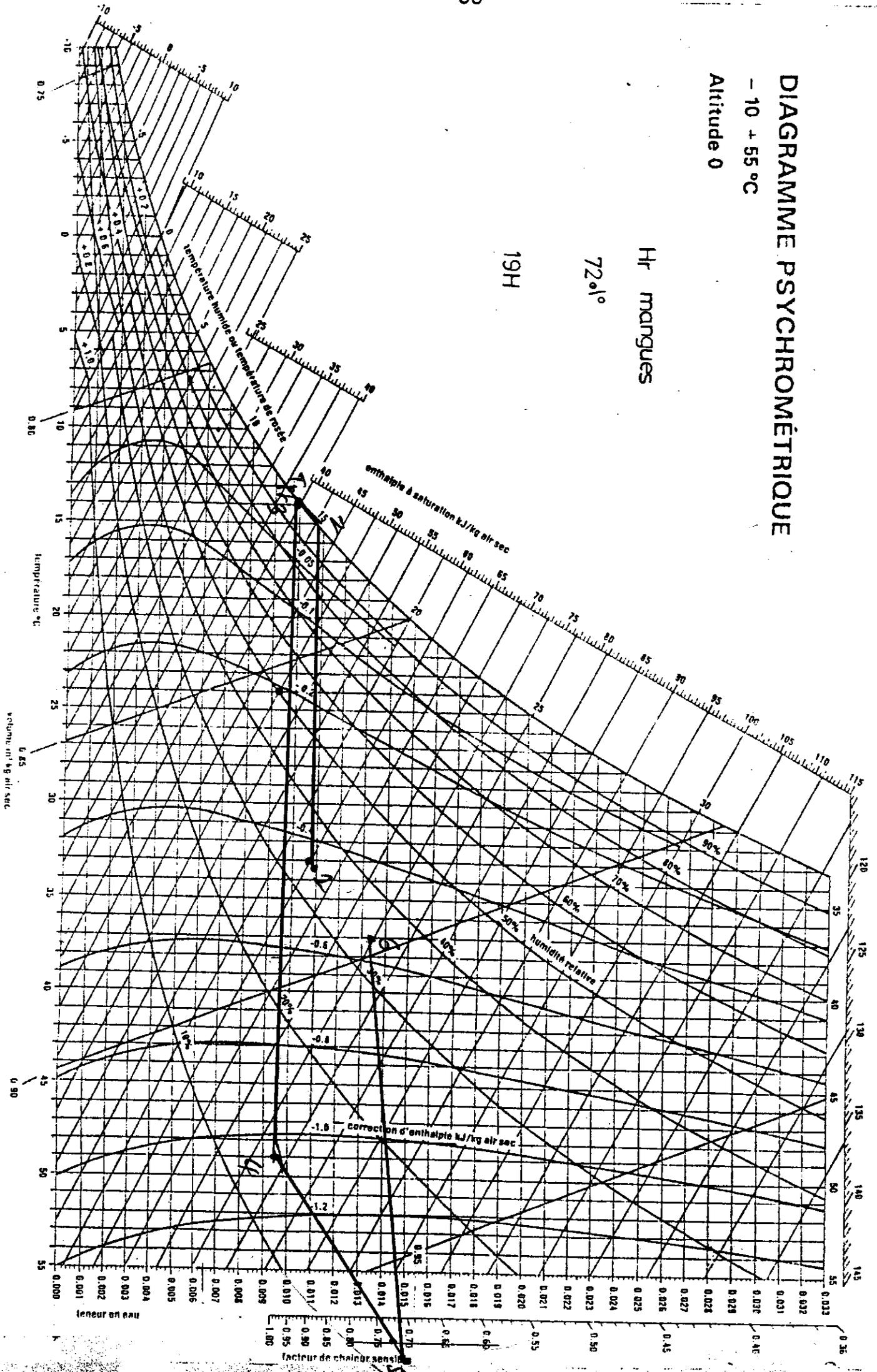


Tableau n° 4 : Essai n° 3 du 17/05/95 au 19/09/95

Heures	Text	Test	Et rangues			Tpf	Tn	Hr entrée	T3	T4	T5 entrée	HR retour	T sortie	HR	ean
			bas G	Haut G	Bas D										
05	28	75	91	88	87	16		54	57	60	17	51	17	4	
07	34	64	91			16		56	57	60	14	33	51	4	
19	33	32	73	72		14	49	12	49	54	59	11	37	32	
10	35	44	60	71	76	circuit semi-ferré									
	35	44	60	71	76	15	50	9							
11	ARRÊT A 11 H 45 REDEMARRAGE A 15 H 15 MN														
16	38	23	67			15	55	7	54	57	61	7	53	8	
17	38	22	60			14	55	6	54	55	61	6	54	7	
														21	

VI.4. - Essai 4

Il s'est déroulé du 22 au 23 Mai 1995. Le dispositif schématique reste le même voir fig. 3. Pour l'essai 4, nous avons représenté 5 diagrammes et une courbe caractéristique ci-dessous définie :

- courbe de l'humidité des mangues en fonction du temps.

Les résultats sont résumés dans le tableau n° 5. Les relevés de différentes températures sont plus ou moins homogènes (tableau n° 5). Les températures de la paroi froide sont disparates. L'air humide et sec du condenseur traverse les claies et se charge en vapeur d'eau.

A la sortie du séchoir, l'ensemble des valeurs est homogène (tableau n° 5).

En effet, les essais ont commencé avec les données suivantes :

masse à éplucher	:	258 kg
masse à sécher	:	146,2 kg
masse après séchage	:	20,4 kg
début du séchage	:	18 H
fin du séchage	:	23 H

A partir de la masse à éplucher 146,2 kg, on a pu avoir une certaine valeur de 20,4 kg après séchage. La perte de masse correspondra à la perte d'eau évaporée. On a effectué le séchage pendant 40 Heures en moyenne. Les températures et les humidités extérieures sont en valeur moyenne.

début	Text = 33°C	Hext = 88 %
fin	Text = 33°C	Hext = 55 %

Sur la courbe n° 4, l'humidité relative des mangues décroît rapidement (eau libre), puis ralentit encore (eau liée). Au tour de 60 % d'humidité, les mangues sont sèches et peuvent être conservées sans détérioration (micro-organisme), pourrissement).

Par ailleurs, on observant les différents diagrammes, on remarque qu'ils ont presque les mêmes caractéristiques. Les diagrammes 1 à 4 ont presque la même évolution c'est à dire la même allure de tracé.

Sur le diagramme 1, l'air ambiant est moins humide. La condensation se fait moins lentement. A la sortie de la paroi froide, il se produit un mélange d'air $T_m = 41^\circ\text{C}$ $\text{HR} = 12\%$. L'air mélangé passe dans le condenseur $T_5 = 51^\circ\text{C}$. A la sortie du condenseur, se trouve le premier compartiment ($T_3 = 41^\circ\text{C}$, $\text{HR} = 19\%$, de celui là l'air sort et entre dans le compartiment 2.

Dans le séchoir, le cycle de séchage a été long. Il est moins long par compartiment. La teneur en eau par compartiment est environ :

pour le compartiment 1 : 0,002 g/KgAs

pour le compartiment 2 : 0,007 g/KgAs

La différence d'enthalpie est en moyenne = 9 KJ/KgAs. Le séchage n'est pas isenthalpique dans les deux compartiments.

Sur le diagramme 2, l'air extérieur est également moins chargé d'humidité. L'air se condense jusqu'au point de rosée (11°C). Ensuite le mélange d'air $T_m = 46^\circ\text{C}$ passe dans le condenseur. Au sortie du comportement 1, l'humidité a augmenté tandis que la température a baissé 41°C - $\text{HR} = 21\%$. La teneur en eau est environ 0,0034 g/KgAs. Le séchage est presque isenthalpique. A la sortie du 2ème compartiment, les caractéristiques de l'air ont changé (35°C - $\text{HR} = 46\%$). La

teneur en eau est environ 0,0042 g/KgAs. La teneur en eau totale éliminée est environ 0,0076 g/KgAs. Les pertes en énergie frigorifiques sont estimées à 4,5 KJ/KgAs. Le séchage est isenthalpique.

Sur le diagramme 3, l'air ambiant est humide à 54 %. Il se condense moins. Au sortie de l'évaporateur, l'air froid (11°C) se combine avec le retour de l'air et donne un air mélangé. On constate que l'humidité de l'air du condenseur a augmenté 11 %. Ce qui n'est pas normale. A la sortie des deux compartiments, le séchage est presque isenthalpique. La teneur en eau est environ 0,0048 g/KgAs et la différence d'enthalpie est $H = 4,5 \text{ KJ/KgAs}$.

Sur le diagramme 4, l'air extérieur est moins chargé d'humidité. La condensation se fait rapidement. A la sortie de l'évaporateur, la fusion des airs donne l'air mélangé T_m (33°C, HR = 13 %). L'air du condenseur a augmenté de température (53°C HR = 10 %). Le séchage s'effectue malgré qu'il n'est pas isenthalpe. La teneur en eau est d'environ 0,0044 g/KgAs.

Dans le séchoir, le séchage a été moins long et le cycle est moins long aussi.

Sur le diagramme 5, ces caractéristiques sont différentes de celles des autres. L'air ambiant est moins chargé en vapeur d'eau. La condensation se fera rapidement. La paroi froide 13,8°C se combine avec l'air recyclé et donne le mélange d'air T_m (43°C, 17 %).

L'air mélangé se détend et devient sec en traversant le condenseur (51°C). A la sortie du premier compartiment, la température a chuté (48°C). Le séchage est à peu près isenthalpique. A la sortie du séchoir, l'humidité du compartiment 2 a légèrement augmenté et sa température a chuté (42°C).

Conclusion partielle

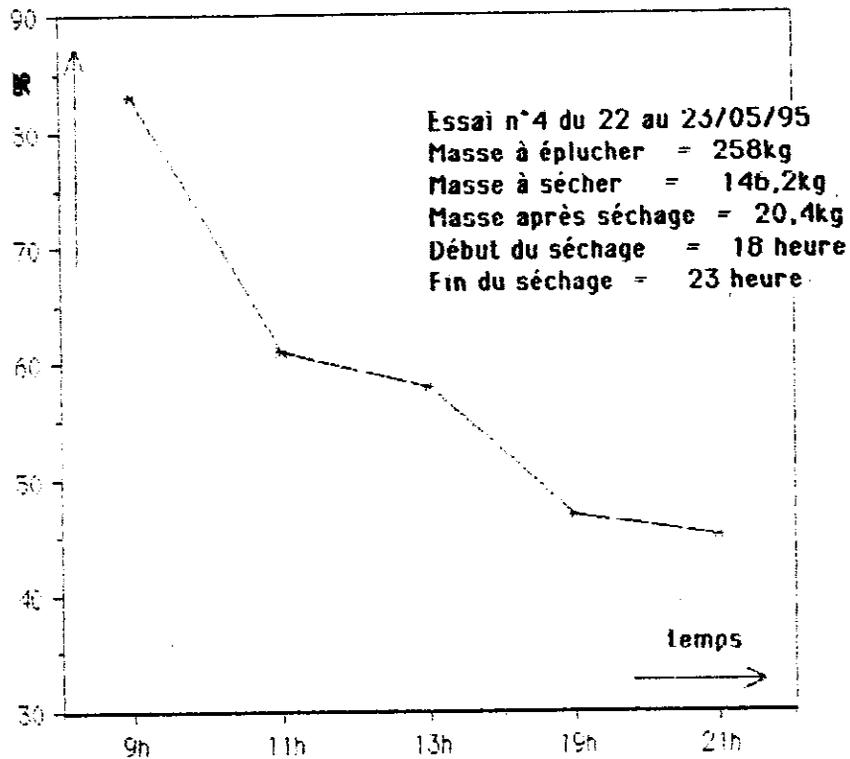
De tous, les diagrammes tracés, on remarque en général qu'au fur et à mesure que les caractéristiques de l'air ambiant changent, celles de l'air sorti des produits changent aussi.

Si l'humidité de l'air ambiant est faible, il y a rapidement condensation et à la sortie du séchoir l'humidité des produits augmente et inversement si l'air ambiant est trop humide, c'est le phénomène inverse qui se produit.

En règle générale, de tous les essais effectués, nous constatons qu'en utilisant l'air ambiant l'essai se déroule normalement. Cela a été prouvé par nos propres essais et les calculs effectués.

Tableau n° 5 : de l'essai n° 4 du 22 au 23/05/95

Heures	Text	Text	Tpf	Tm	Hr	t3	tu	t5	Hr	1er comp.		2è comp.		eau
										ts	Hrs	ts	Hrs	
21	33	37	10	41	12	35	52	51	9	41	19	32	53	5,5
01	31	46	12	46	10	35	52	52	10	42	29	35	45	3,5
05	29	54	11	46	10	33	50	48	11	42	21	36	32	3
10	35	27	10,3	33	13	33	52,1	52	10	49	14	46	20	1,8
14	38	33	13,8	43	17	41	51	50	11	47	18	42	25	1,8
18	36	34	13,4	43	15	41,5	55	53,1	8	45	17	42	28	3,20
22 h	34	48	14	34	13	34	55	50	7	49	20	44	29	1,6



Courbe n°4: humidité des mangues en fonction du temps

DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 ± 55 °C

Altitude 0

Hr manques

①

21H

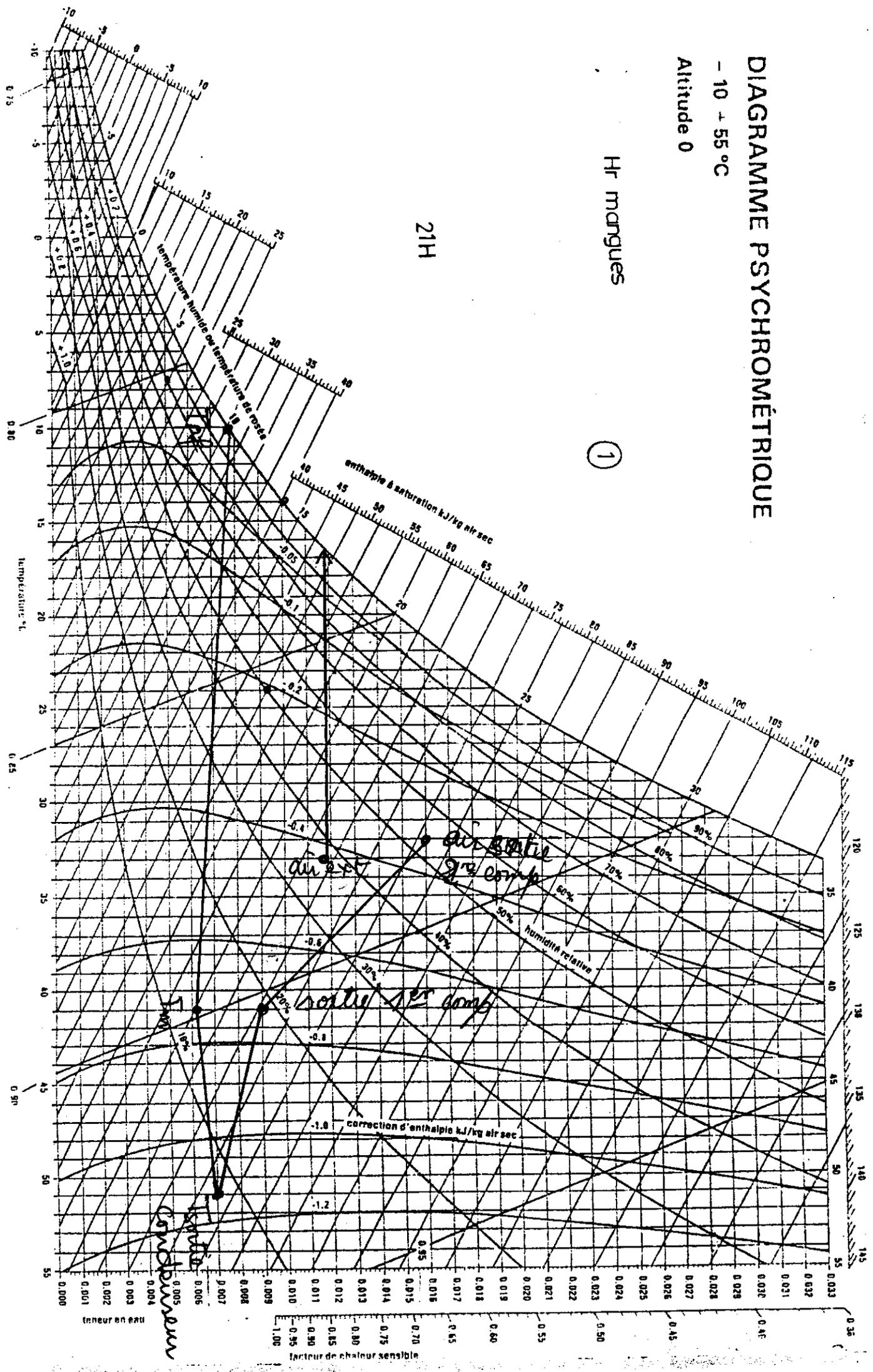


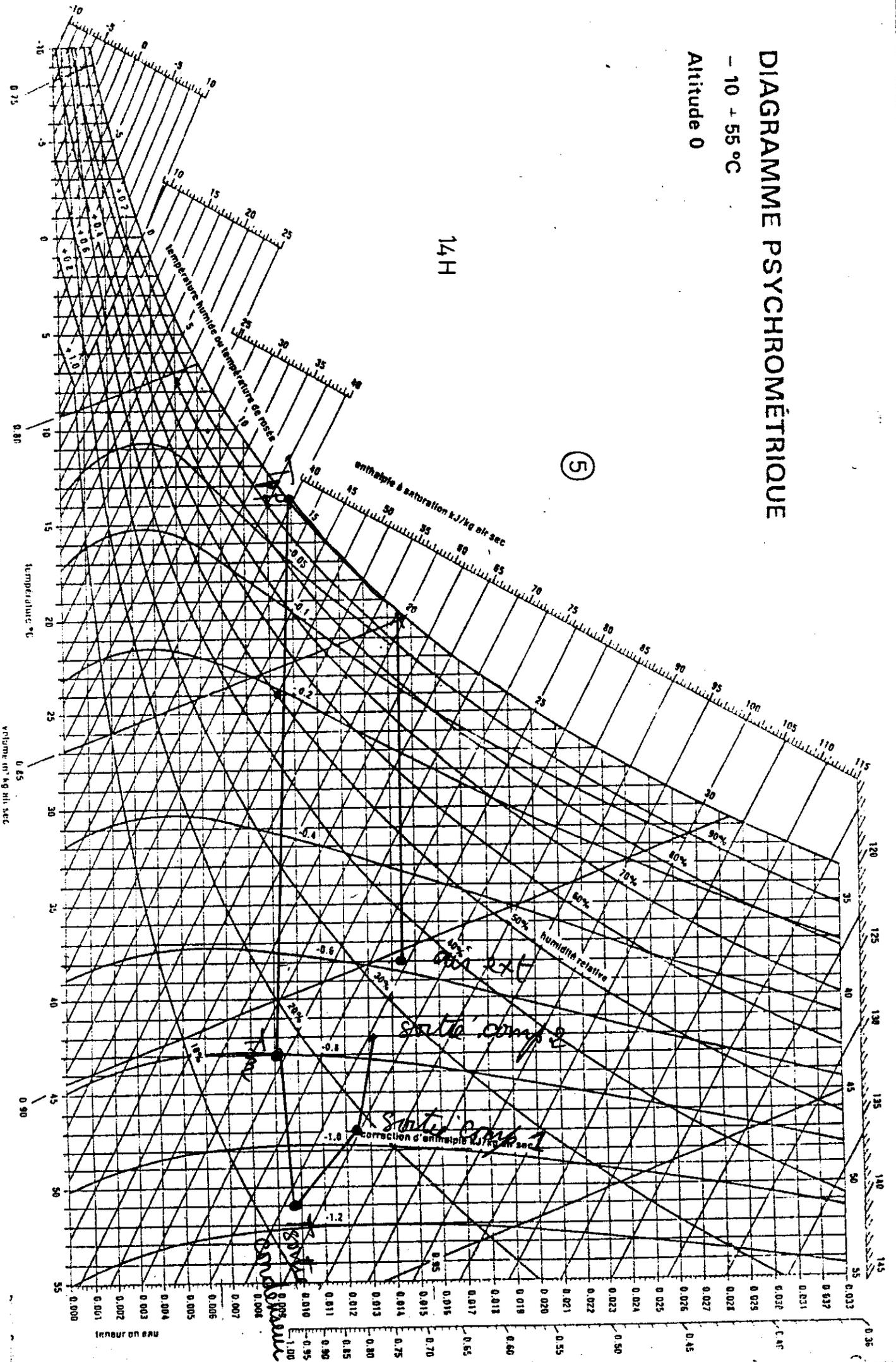
DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10 ± 55 °C

Altitude 0

14H

(5)



VII. - ETUDE ECONOMIQUE

On fera un calcul de rentabilité annuelle de chaque type de séchoir en essayant de ressortir le bénéfice réalisable lié à son utilisation.

VII.1. - Etude de rentabilité du séchoir à déshumidification

Données économiques

Durée de la campagne de séchage	2,5 mois
Cycle de séchage	40 H
Achat des mangues fraîches	35 F/kg
25 % de pertes fraîches et sèches	
Chargement de mangues fraîches par séchoir	60 kg
Transport verger-ferme	25 F/kg
Quantité de mangues séchées obtenues	15 kg
Prix de revient du séchoir a deshumidification	2 000 000 F CFA
Durée de vie	5 ans
Emballages	250 F/kg
Cartons	40 F/kg
Transport ferme-Ouaga	50 F/kg
Main d'oeuvre	300 F/kg
Prix de vente du sachet (marché local)	2 000 F/kg

La campagne de séchage étant de 2,5 mois soit $2,5 \times 30 \times 24 = 1\ 800$ H, nous avons par campagne $1800/40 = 45$ cycles de séchage pour $45 \times 15 = 675$ kg de mangues séchées produites.

La durée de vie du séchoir étant 5 ans, on a l'amortissement annuel par kg de mangues séchées $2000\ 000/5 \times 675 = 592,5$ F/kg.

$$1 \text{ kg de mangues séchées a nécessité } \frac{60 \times 1,25}{15} = 5 \text{ kg}$$

de mangues fraîches pour un coût d'achat $5 \times 35 = 175$ F/kg.

Vente sur le marché local : (2e qualité)

Dépenses par kg de mangues séchées

Achat des mangues	175 F/kg
Transport verger-ferme	25 F/kg
Intérêt	300 F/kg
Emballages	250 F/kg
Cartons	40 F/kg
Transport ferme-Ouaga	50 F/kg
Entretien	40 F/kg
Main d'oeuvre	300 F/kg
Amortissement	600 F/kg
Energie électrique	840 F/kg
Imprévus	50 F/kg
TOTAL	2 670 F CFA

Produit	
Vente	4 000 F/kg

Bénéfice = Produit - charges = 2 000 - 2670 = (670 F)

La production de 675 kg de mangues séchées a nécessité

$$\frac{60 \times 675 \times 1,25}{15} = 3375 \text{ kg de mangues fraîches}$$

Pour les produits exportés en Europe (1ère qualité)

Charges par kg de mangues séchées

Achat de mangues	175 F/kg
Transport verger-ferme	25 F/kg
Emballages	250 F/kg
Cartons	40 F/kg
Transport vers Ouaga	50 F/kg
Energie électrique	840 F/kg
Amortissement	600 F/kg
Intérêt	300 F/kg
Main d'oeuvre	300 F/kg
Entretien	40 F/kg
Douane	80 F/kg
Transport Ouaga-Suisse	600 F/kg
Imprévus	50 F/kg
Frais de CDS	100 F/kg
TOTAL	3 450 F/kg

Produit	
Vente	4 000 F/kg

Bénéfice = Produit - charges = 4 000 - 3450 = 550 F/kg

La campagne de production des mangues commence en Avril et se termine en Septembre. Nous pouvons donc compter sur un minimum de 6 mois de production et donc de séchage.

Le budget d'une campagne est donc le suivant, en tenant compte d'une production mensuelle de 2 375 kg/mois pendant les mois d'Avril, Mai et Juin et d'une production de 1 000 kg/mois pendant les mois de Juillet, Août et Septembre.

Charges

1ère qualité : $6 \text{ mois} \times 1\,687,5 \times 0,85 \times 3\,450 = 29\,691\,562,5 \text{ F CFA}$

2ème qualité : $6 \text{ mois} \times 1\,687,5 \times 0,15 \times 2\,670 = 4\,055\,062,5 \text{ F CFA}$

$29\,691\,562,5 + 4\,055\,062,5 = 33\,746\,625 \text{ F CFA}$

Produit :

1ère qualité : $12\,112,5 \text{ kg} \times 4\,000 \text{ F/kg} = 48\,450\,000 \text{ FCFA}$

2ème qualité : $900 \text{ kg} \times 2\,000 \text{ F/kg} = 1\,800\,000 \text{ FCFA}$

50 250 000 FCFA

Bénéfice = Produit-charge

$= 50\,250\,000 - 33\,746\,625 = 16\,503\,375 \text{ F CFA}$

Le bénéfice correspond à 33 % du chiffre d'affaires.

VII.2. - Etude de rentabilité du séchoir mixte

Données économiques

La campagne de séchage étant $2,5 \times 30 \times 24 = 1\,800 \text{ H}$ nous avons par campagne $1\,800/20 = 90$ cycles de séchage pour $90 \times 15 = 1\,350 \text{ kg}$ de mangues séchées produites.

La durée de vie du séchoir étant 5 ans, on a l'amortissement annuel par kg de mangues séchées :

$700\,000/5 \times 1\,350 = 105 \text{ F/kg}$

1 kg de mangue séchées a nécessité

$$\frac{80 \times 1,25}{15} = 7 \text{ kg de mangues fraîches}$$

Pour un coût d'achat : $7 \times 35 = 245 \text{ F/kg}$

Nous pouvons établir les dépenses suivantes/kg de mangues séchées

Données économiques

Durée de la campagne de séchage	2,5 mois
Cycle de séchage	20 Heures
Achat des mangues fraîches	35 F/kg
25 % des pertes fraîches et sèches	
Chargement des mangues fraîches par séchoir	80 kg
Transport verger-ferme	25 F/kg
Qualité des mangues séchées	15 kg
Prix de revient du séchoir mixte	700 000 kg
Durée de vie	5 ans
Emballages	250 F/kg
Cartons	40 F/kg
Gaz et transport	210 F/kg
Soufre	30 F/kg
Transport ferme - Ouaga	50 F/kg
Main d'oeuvre	300 F/kg
Amortissement du séchoir	105 F/kg
Imprévus	50 F/kg
Intérêt	300 F/kg
Entretien	40 F/kg
Bénéfice	355 F/kg
Prix de vente du sachet (marché local)	2 000 F/kg

La production de 1 350 kg de mangues séchées a nécessité.

$$\frac{80 \times 1,25 \times 1\,350}{15} = 9\,000 \text{ kg de mangues fraîches}$$

Le bénéfice réalisable est de : $355 \times 1\,350 = 479\,250$ F CFA.

Pour les produits exportés (première qualité)

Charges par kg de mangues séchées

Achat de mangues	245 F/kg
Transport verger-ferme	25 F/kg
Emballage	250 F/kg
Cartons	40 F/kg
Transports vers Ouaga	50 F/kg
Amortissement	105 F/kg
Soufre	30 F/kg
Gaz et transport	210 F/kg
Intérêt	300 F/kg
Main d'oeuvre	300 F/kg
Entretien	40 F/kg
Douane	80 F/kg
Transport vers la Suisse-Ouaga	600 F/kg
Imprévus	50 F/kg
Frais du CDS	100 F/kg

Total 2 425 F/kg

Produit 4 000 F/kg

Bénéfice = Produit - charges

$$= 4\,000 - 2\,425 = 1\,575 \text{ F}$$

On suppose que la campagne de production des mangues est la même, et la production mensuelle est de 9 000 kg dont 5 000 kg/mois pendant les mois d'Avril, Mai et Juin et 4 000 kg/mois.

Charges :

1ère qualité :

$$6 \text{ mois} \times 4 \ 500 \text{ kg/mois} \times 0,85 \times 2 \ 475 = 55 \ 653 \ 750$$

2ème qualité :

$$6 \text{ mois} \times 4 \ 500 \text{ kg/mois} \times 0,15 \times 1 \ 645 = \frac{6 \ 662 \ 250}{62 \ 316 \ 000}$$

Produit :

$$1\text{ère} \text{ qualité} : 22 \ 950 \times 4 \ 000 \text{ F} = 91 \ 800 \ 000 \text{ f}$$

$$2\text{ème} \text{ qualité} : 4 \ 050 \times 2 \ 000 \text{ F} = 8 \ 160 \ 000 \text{ F}$$

Bénéfice : Produit - charges

$$99 \ 900 \ 000 - 62 \ 316 \ 000 = 37 \ 584 \ 000 \text{ F CFA}$$

Le bénéfice correspond à 38 % du chiffre d'affaires.

Remarques :

On constate que si le produit est vendu sur le marché, local le séchoir mixte a des bénéfices nettement meilleurs au séchoir à déshumidification. Ce séchoir à déshumidification présente même des pertes à cause de la consommation énorme d'énergie. En poursuivant nos réflexions, on remarque que si le produit est exporté, le séchoir mixte est encore plus rentable que le déshumidificateur. A la longue, le déshumidificateur peut être rentable en améliorant encore ses qualités et ses performances.

VIII. - INSUFFISANCES ET RECOMMANDATIONS

Insuffisances

Les ouvertures d'entrée d'air permettent aux insectes (mouches, fourmis, termites...) de pénétrer dans le séchoir et sont donc source de contamination.

L'enceinte de séchage contient beaucoup de claies entamés les unes à la suite des autres. L'enceinte de séchage peut contenir jusqu'à 26 claies. Au fur et à mesure que l'air monte, il se charge en humidité et sèche de moins en moins bien les produits. On remarque aussi qu'un fort entassement des produits crée une forte perte de charge d'où une mauvaise circulation de l'air.

Le temps et la vitesse de séchage sont insuffisants.

Recommandations

Afin d'éviter l'entrée des insectes dans le séchoir, les ouvertures d'entrée d'air devront être grillagés si possible.

On devrait interchanger les claies au cours du processus de séchage car les claies qui se trouvent en haut de l'enceinte de séchage sèchent moins vite que celles qui sont en bas de l'enceinte de séchage. Pour uniformiser le séchage, on pourrait brasser les produits assez souvent.

Sur le plan technique

Pour avoir une bonne performance du séchoir, il faut :

- un bon entretien
- une maîtrise du processus de séchage
- une maîtrise de fonctionnement du séchoir
- maîtrise de la préparation du produit

Sur le Plan économique

On ne peut parler de la rentabilité du séchoir que quand la programmation du séchage est bien définie. Le produit séché est sollicité sur le marché (il faut avoir un marché d'écoulement). Pour la bonne programmation, il faut maîtriser la durée et la campagne de séchage, la capacité du séchoir. Il faudra enfin chercher à atteindre le prix de vente acceptable. Compte tenu de nos études limitées, d'autres études complémentaires restent à faire par lesquelles nous avons :

- une étude nutritionnelle
- une étude de contamination des produits
- une étude sur le goût

IX. - PROPOSITION D'AMELIORATION

A la fin, nos études sur les séchoirs à déshumidification le séchoir mixte nous font dire quel est le séchoir le plus adaptable pour le séchage des produits. Bien que cette adaptation dépend à la fois des paramètres techniques, économiques et sociaux. On pourra se baser sur l'étude technico-économique pour faire le choix. On peut donner quelques conseils et certaines indications sur le plan social :

- sur le plan technique pour avoir une bonne performance, il faut un bon entretien, connaître le processus de séchage, maîtriser le fonctionnement du séchoir et la préparation du produit ;
- sur le plan économique, les critères de rendement du bénéfice sur coût nous permettent de placer le séchoir mixte en tête du séchoir à déshumidification.

Ainsi donc, au vu de ces résultats nous proposons le séchoir mixte qui est le séchoir le plus performant et le plus rentable économiquement.

Nous proposons aussi aux utilisateurs (en particulier les femmes) de suivre des stages, des séminaires et des encadrements pour avoir un bon rendement. Ces formations leur permettent de bien connaître le processus de séchage. Ce qui permettra d'accroître les performances et la rentabilité du séchoir (si la qualité du produit est très bonne, on peut augmenter le prix de vente).

X. - CONCLUSION

L'étude réalisée permet de dégager un certain nombre de points essentiels pour l'amélioration et la mise en valeur du séchoir à deshumidification.

- . L'examen des nombreuses données expérimentales traitées montre que le séchoir à deshumidification présente de multiples avantages.
- . Obtention d'humidité finale compatible avec une conservation a moyen et long terme (plusieurs mois) dans l'objectif d'une consommation différée.
- . Qualité et attrait indéniables des produits obtenus : qualité hygiénique, valeur nutritionnelle et organoleptique et présentation attrayante des produits séchés.
- . Réduction des interventions et manipulations, notamment en cas d'intempéries, par protection totale des produits aux agents extérieurs de dégradation.

Sur un plan technico-économique, ce type d'équipement doit pouvoir se développer à deux niveaux d'intervention suivant le type de production et de localisation :

- Séchage complet de produits frais jusqu'à une humidité adéquate de conservation.
- Séchage de finition des produits préalablement ressuyés.

La rentabilité économique d'un séchoir doit bien sûr être mieux cernée en tenant compte des coûts de production admissibles, des prix pratiqués sur les marchés nationaux et internationaux et de leur évolution probable. Sur le plan économique, le critère de rentabilité et de bénéfice sur coût permettent de placer meilleur le séchoir mixte par rapport au séchoir à déshumidification.

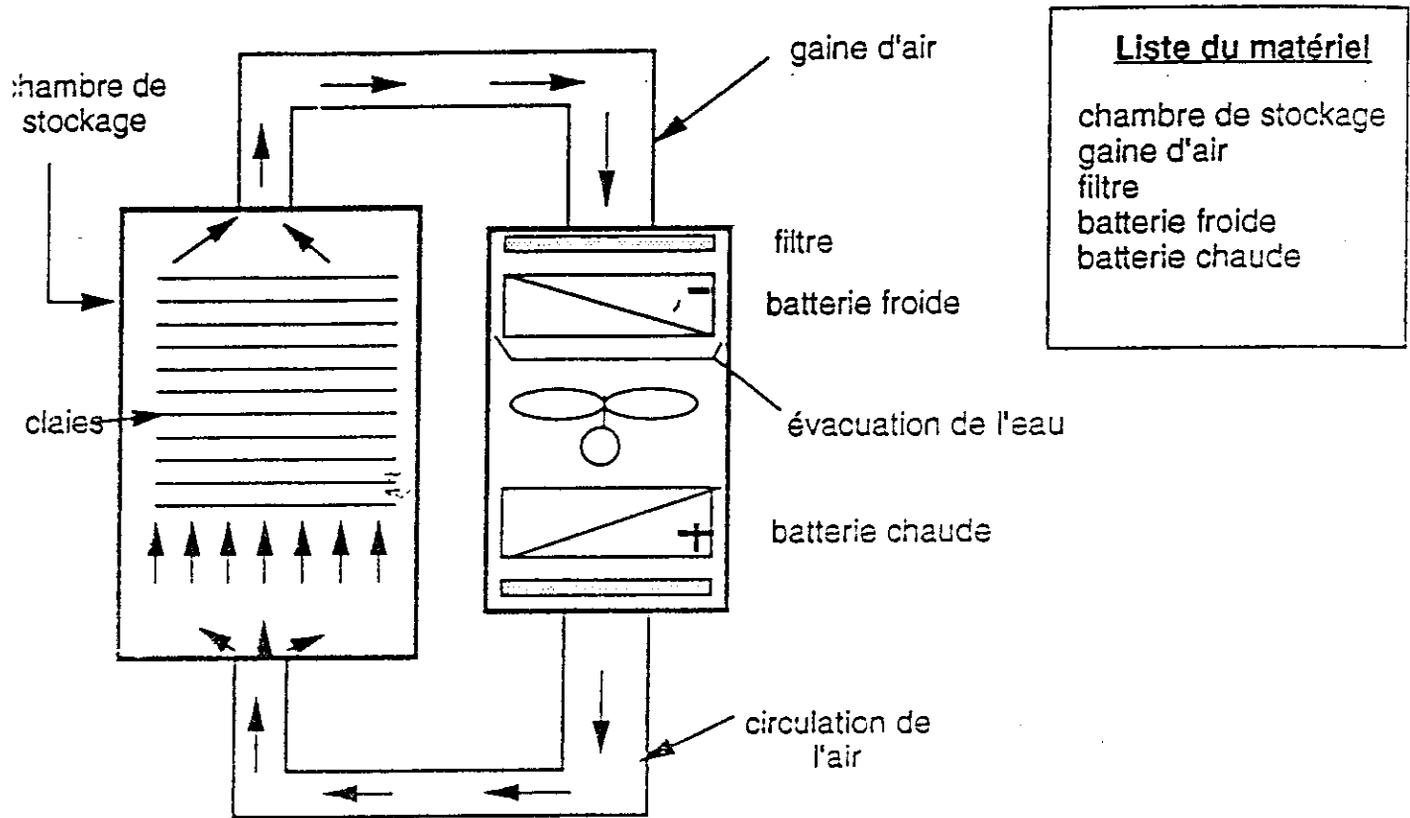
La qualité des produits au déshumidification est meilleure à celle du mixte. Donc a long terme et surtout quand les produits séchés sont exportés le déshumidificateur peut l'emporter sur le séchoir mixte (apports devises). De plus, que ce soit au niveau individuel ou collectif, il est préférable de tirer partie d'une polyvalence du séchoir afin d'amortir graduellement l'investissement initial sur toute l'année par la création de produits nouveaux (fruits et légumes secs, aliments pour bétails...) ; une action de sensibilisation devrait être menée dans ce sens par des pouvoirs publics.

SIGLES

ATESTA	:	Atelier d'Energie Solaire et Technologie Appropriée
ABAC	:	Association Burkinabè d'Action communautaire
CEAS	:	Centre Ecologique Albert SCHWEITZER
IBE	:	Institut Burkinabè d'Energie
U.V.	:	Ultra-violet
C.E.S.	:	Capacité Evaporatoire du Séchoir
Text	:	Température de l'air extérieur
Hr ext	:	Humidité relative de l'air extérieur
tpf	:	température de la paroi froide
T ₃ ou tmel	:	température du mélange
Hr mel	:	Humidité relative du mélange
t ₄ ou t ail	:	température des ailettes
t ₅ ou t° cond	:	température du condenseur
T _{sortie cond}	:	température sortie du condenseur
T ₁ H _{retour}	:	température et Humidité relative de l'air recyclé
T ₃	:	
ts, Hrs comp 1	:	température et Humidité sortie du compartiment 1
ts, Hrs comp 2	:	température et Humidité sortie du compartiment 2

A N N E X E S

SYSTEME DE SECHAGE PAR BATTERIES FROIDE ET CHAUDE



PRINCIPE

On chauffe l'air par l'intermédiaire d'une batterie-chaude. Cette air est un air sec à l'entrée de la chambre de stockage.

L'air sec traverse les claies où sont stockées les mangues.

À la sortie de la chambre de stockage nous obtenons un air chaud chargé de vapeur.

Le fait de traverser la batterie froide, l'humidité contenue dans l'air se sépare et se condense sur cette batterie et est évacuée à l'extérieur.

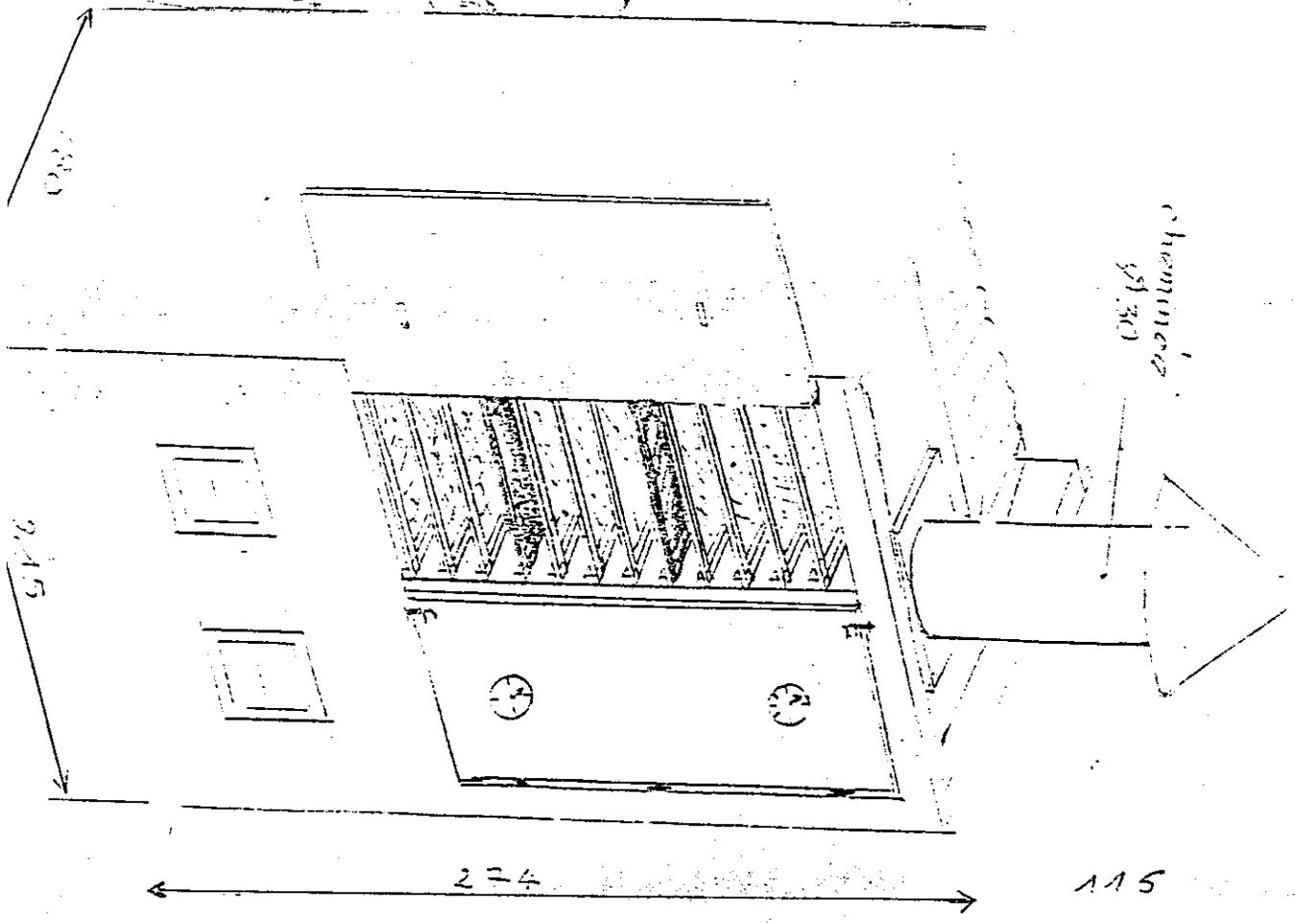
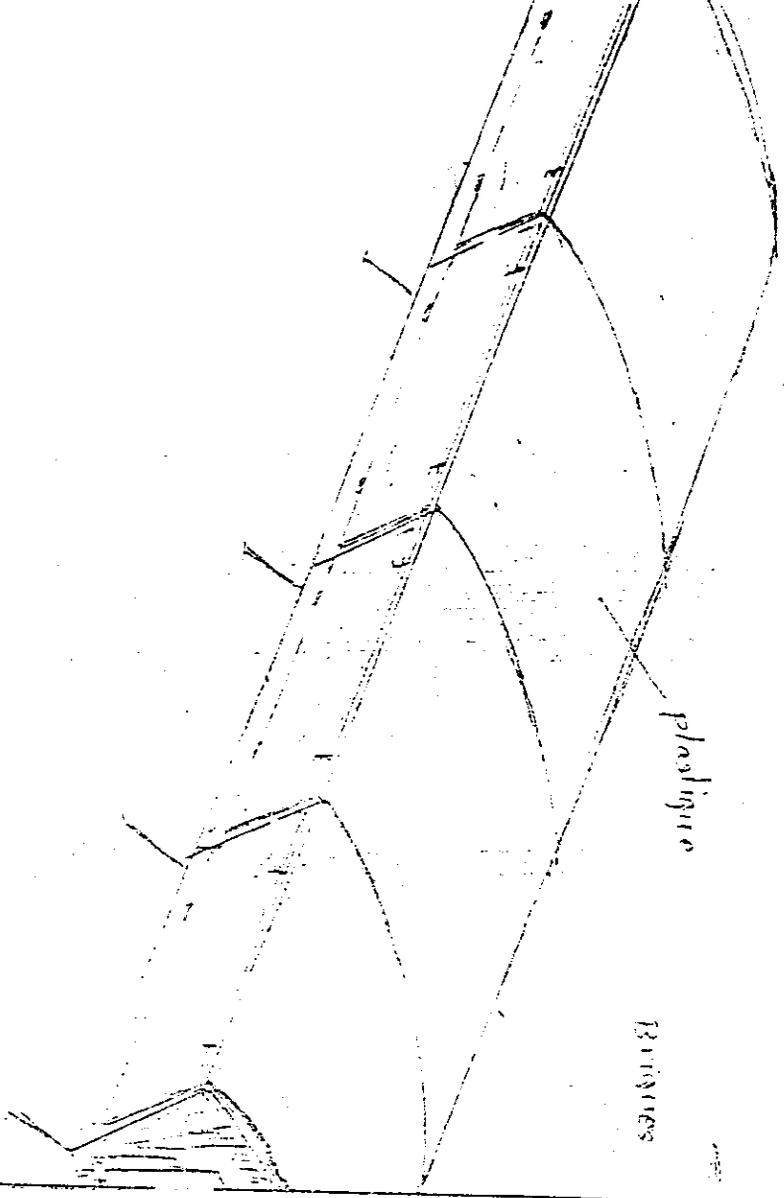
AVANTAGES

Le matériel utilisé est facile à trouver sur le marché.
 La structure d'accueil est facile à réaliser dans nos ateliers.
 Les essais ont déjà été effectués dans votre structure.
 Bon rendement.

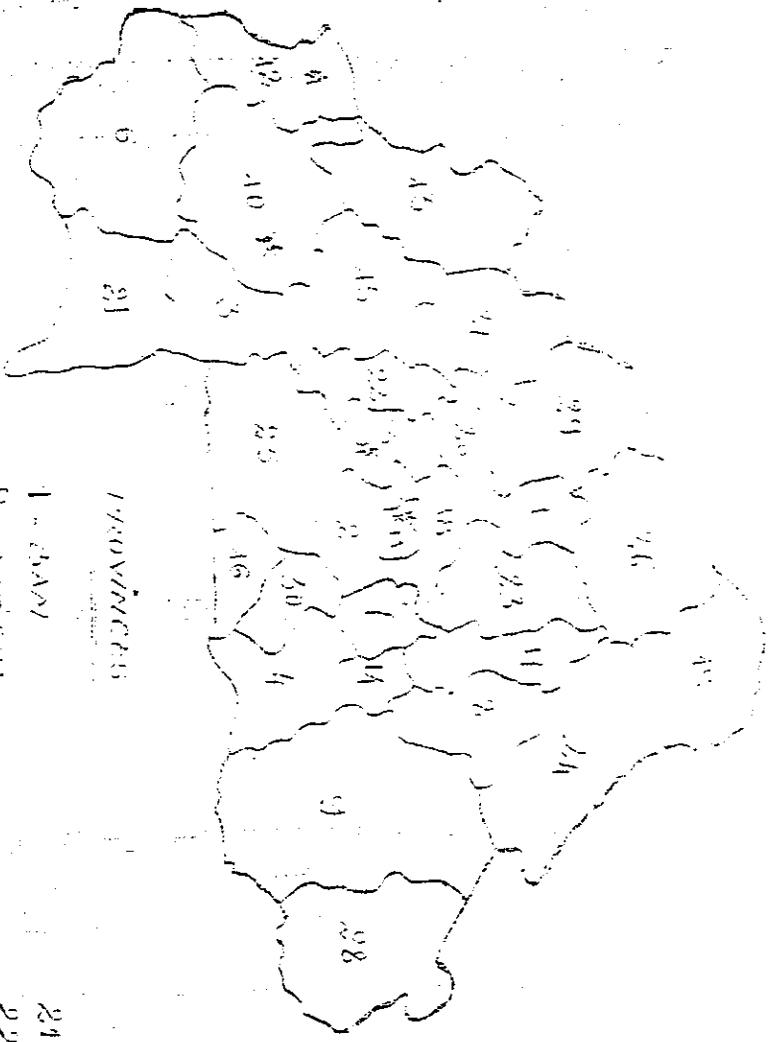
INCONVÉNIENTS

consommation énergétique élevée ✖
 coût élevé

SECTION MIXTE SONDRE-COM



- 11 - KODIÉRO
- 12 - KENÉRORO
- 13 - KOSSE
- 14 - KOURIÉNGA
- 15 - NADIRAN
- 16 - NADERI
- 17 - NAMÉNGA
- 18 - OUKRIÉNGA
- 19 - OUDANAN
- 20 - PASOURÉ



PROVINCES

- 1 - ANAVI
- 2 - ANTANANARIVAO
- 3 - ANTOANANARIVAO
- 4 - ANTOANANARIVAO
- 5 - ANTOANANARIVAO
- 6 - ANTOANANARIVAO
- 7 - ANTOANANARIVAO
- 8 - ANTOANANARIVAO
- 9 - ANTOANANARIVAO
- 10 - ANTOANANARIVAO
- 11 - ANTOANANARIVAO
- 12 - ANTOANANARIVAO
- 13 - ANTOANANARIVAO
- 14 - ANTOANANARIVAO
- 15 - ANTOANANARIVAO
- 16 - ANTOANANARIVAO
- 17 - ANTOANANARIVAO
- 18 - ANTOANANARIVAO
- 19 - ANTOANANARIVAO
- 20 - ANTOANANARIVAO
- 21 - ANTOANANARIVAO
- 22 - ANTOANANARIVAO
- 23 - ANTOANANARIVAO
- 24 - ANTOANANARIVAO
- 25 - ANTOANANARIVAO
- 26 - ANTOANANARIVAO
- 27 - ANTOANANARIVAO
- 28 - ANTOANANARIVAO
- 29 - ANTOANANARIVAO
- 30 - ANTOANANARIVAO

* PRESENCE DE SECTIONS PIÈCE SOUS-SECTEUR INSTALLÉ PAR "ATESTA"

SECHOIR MIXTE SOLAIRE-GAZ

CONDITIONS D'UTILISATION ET PERFORMANCES

République du Bénin

Utilisateurs: 8 entreprises (env. 50 personnes)

séchés: mangues, papaye, Tomate ananas

on: exportation en Europe, vente locale

l'utilisation: toute l'année

utilisation:

République du Bénin	Produit: Mangues	Conditions de saison sèche	Conditions de saison humide
Températures (°C)	min / max / moy	[13-28] / [32-39] / [25-33]	[24-28] / [31-39] / [27-33]
Humidité Relative (%)	min / max	[15-32] / [40-60]	[32-60] / [60-95]
Température dans le séchoir (°C)		50 ± 2 °C	65 ± 5 °C
Capacité spécifique du séchoir (C _s) (kg/kg d'eau évaporé)		1.2	1.2
Rendement énergétique global (RE _g) (%)		50%	50%
Temps en cycle de séchage (h)		2 = 2	2 = 2
Produit frais par cycle (kg/cycle)		130 kg	120 kg
Produit sec moyen (g/h/m ²)		30 g/h/m ²	30 g/h/m ²

CAPACITE DE DIFFUSION

Facteurs favorables

Facteurs défavorables

- dessous

• entrées et sorties

1) Fabrication: facilité, coût et amortissement

2) entretien et coût d'entretien 3) critères techniques pour la conduite du séchage

gamme et de la qualité des produits séchés

4) Rendement ou débit de séchage: élevé, faible...

SYNTHESE

(à retenir)

SECHOIR MIXTE SOLAIRE-GAZ

USAGE: ~~semi~~ semi-industriel

ENERGIE: ~~séchoir mixte solaire gaz à convection~~
~~mixte~~ Solaire et gaz

REFERENCES: CEAS

HISTORIQUE

Zone d'implantation: Burkina Faso

Début d'expérimentation: 1981

Utilisation Régulière: depuis 1983

Nombre de séchoirs diffusés (1994): 3

Surfaces 15 à 67

Carte du

(OK)

CARACTERISTIQUES DU SECHOIR

Description générale:

Système de chauffe:

- brûleur, description, puissance, régulation

- solaire: description, surface de captation

Système d'aération: description, régulation

Capacité: manqué 170 kg
Tomate 30 kg
papaye et autres 150 kg

Chargement du séchoir: frontal après
ouverture de la porte d'accès, opération
continue

Matériaux: caucé, parois, bois ciment

à l'usage de

REALISATION: construction facile disponibilité locale des

DUREE DE VIE: séchoir colonne endurer 10 ans

claires, supérieur à 5 ans

moustiquant 3 ans

siastone 10 à 15 ans selon la qualité

Questionnaire auprès des concepteurs de séchoirs

I-

- a) nom de l'entreprise (+ définition de sigle)
- b) sa date et lieu de création
- c) nombre d'employés

II- Quelle activité pratiquez-vous ?

- a) principales :
- b) secondaires :
- c) autres activités :

III- Quels types de séchoirs fabriquez-vous ?

IV- Pour chaque type de séchoir, indiquez :

- le coût
- les renouvellement et les entretiens à faire
- la durée de vie
- les produits à sécher
- les matériaux utilisés
- l'année de fabrication

V- Pour chaque séchoir (chaque produit), indiquez :

- la capacité
- la durée de séchage conseillée
- les températures maximales atteintes et conseillées.

VI- Quel type de séchoir est le plus sollicité ?

Pourquoi ?

VII- Quels sont les groupements qui utilisent actuellement les séchoirs ?

VIII Quel peut être le nombre de séchoirs fabriqués

- a) par jour :
- b) par mois :
- c) par an :

IX- Les matériaux utilisés sont-ils des matériaux locaux ?

Si non, alors comment vous l'obtenez ?

**X- Quels sont les avantages et les inconvénients pour
l'utilisation de chaque type de séchoir ?**

XI- Faire un devis pour chaque type de séchoir.

Questionnaire type auprès des groupements de séchage

I-

- a) nom du groupement (+ signification)
- b) nombre de membres du groupement
- c) pourquoi le groupement est créé et comment ?

II- Quel genre d'activités pratiquez-vous ?

- a) principale
- b) secondaire
- c) autres activités

III- Quel genre d'activité vous rapporte beaucoup plus ?

- a) le séchage
- b) autres activités

IV- Combien de type de séchoir disposez-vous ?

- a) pour chaque type de séchoir, donner le nombre
- b) donner aussi pour chaque type, l'entreprise de fabrication

V- Indiquez pour chaque type de séchoir :

- le coût
- les dépenses d'entretien ou de répartition
- la capacité (pour chaque produit)
- les avantages et les inconvénients dans l'utilisation

VI- Quel genre de produits séchez-vous ?

VII- Pour chaque type de produit, indiquez :

- si la production est commercialisable
- le prix d'achat (/kg) de produits frais
- le prix de vente (/kg) de produits séchés
- le marché d'écoulement
- si ce marché est suffisant
- la période de campagne de séchage

- la durée de la campagne
- la durée de séchage
- la durée de conservation avant le séchage

VIII- Dire quel est le produit qui rapporte beaucoup plus

IX- Par rapport au nombre de séchoir, la quantité des produits séchés est-elle suffisante?

X- Par rapport au nombre de membre du groupement, le nombre de séchoir est-il suffisant ?

XI- Si non, alors que comptez-vous faire ?

- a) augmenter le nombre de séchoir ?
- b) recruter d'autres personnes ?

XII- Combien de personnes travaillent par jour ?
Ce nombre est-il suffisant ?

XIII- Les membres du groupement sont-ils renumérés ?
si oui alors, comment se fait la renumération ?

XIV- Comment se fait l'approvisionnement ?

- a) au au marché local
- b) au niveau du groupement
- c) par importation

XV- Au cas où le produit est importé, indiquez (évaluez) :

- les frais de transport
- les pertes dues au transport et au stockage
- le lieu d'importation

XVI- Quelles sont les difficultés les plus souvent rencontrés ?

- utilisation :
- entretien :
- écoulement :

XVII- Arrivez-vous à dégager certains bénéfices au cours d'une année ?

A combien on peut les estimer ?

Que comptez-vous faire avec ces bénéfices ?

XVIII- Les membres du groupement ont-ils suivi une formation ?
si oui, alors à quelles occasions ?

a) séminaire :

b) stage :

c) tournée de formation :

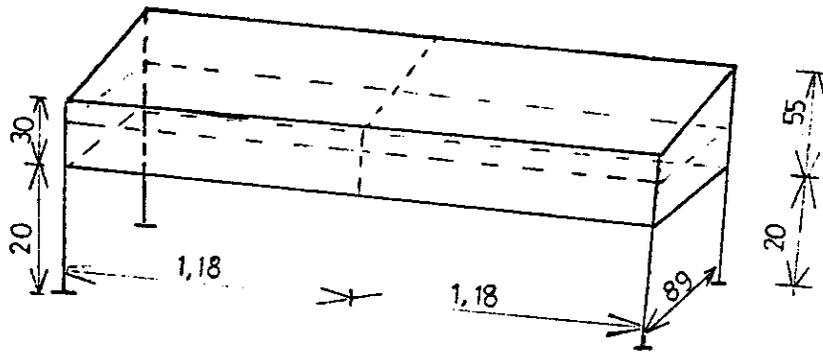
XIX- Aimerez-vous avoir d'autres types de séchoirs ?
Si oui alors, pourquoi ?

XX- Avez-vous les moyens de financement ?
Si non comment comptez-vous l'obtenir ?

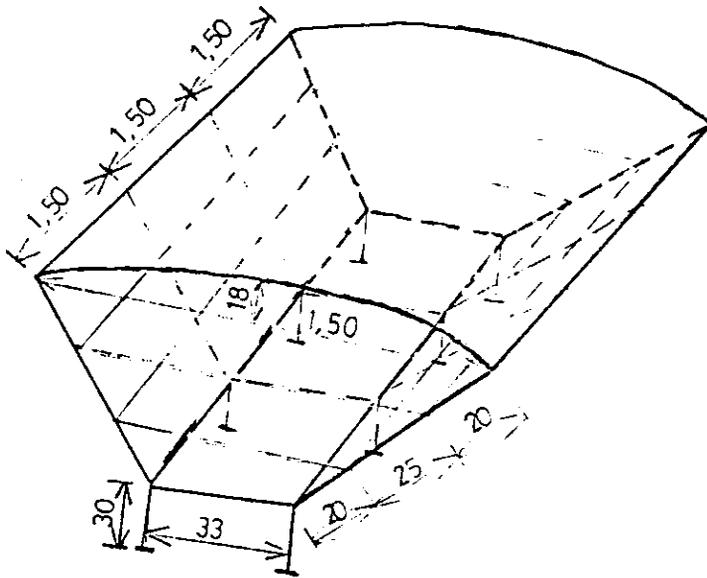
XXI- Au cas où il y a apport de nouveau matériel, que comptez-vous faire ?

- augmenter la production

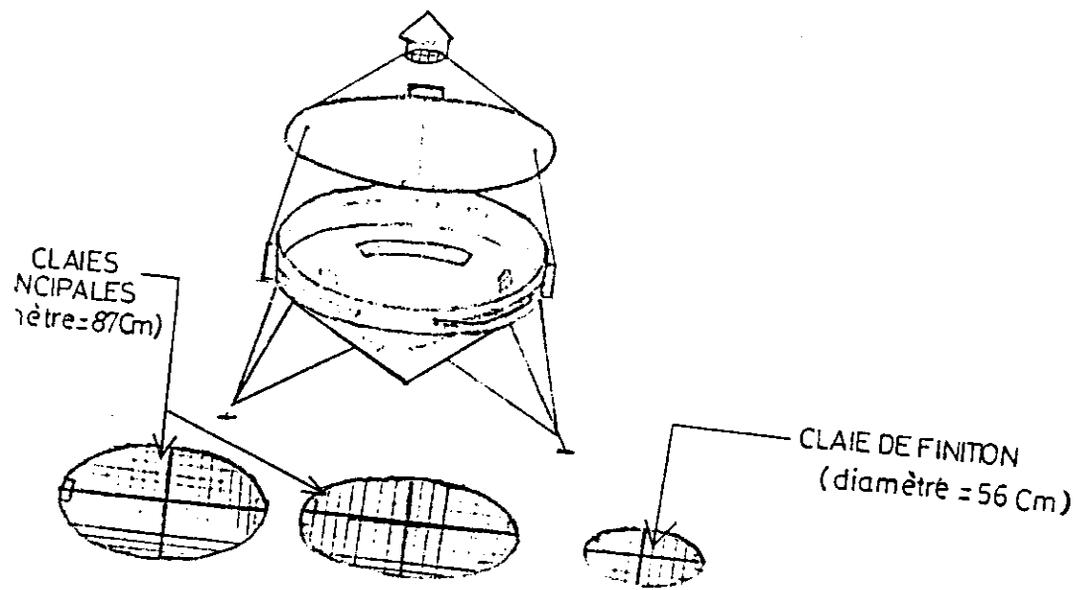
- chercher un marché d'écoulement plus vaste



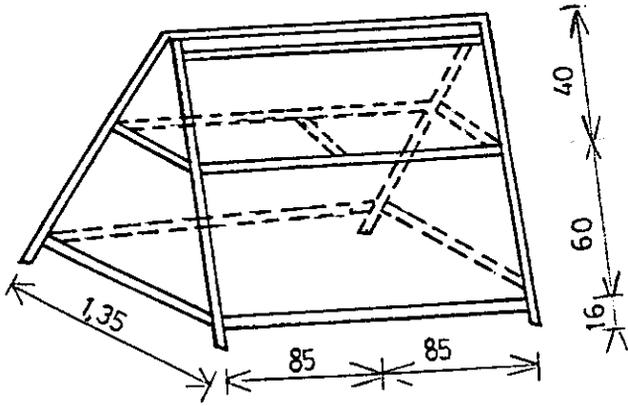
a) SECHOIR DU TYPE CAISSON



b) SECHOIR DU TYPE TUNNEL



c) SECHOIR DU TYPE COQUILLAGE



d) SECHOIR DU TYPE TENTE

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - Le dossier n° 8 du GRET
Le point sur le séchage solaire des produits alimentaires
- 2 - Les séchoirs solaire - Théorie et pratique, Michel Daguont
- 3 - Cours sur le thermique solaire, Yves Jannot, Mars 1993
- 4 - Le séchage des produits alimentaires, Yves Kocher, Avril 1994
- 5 - Travaux de recherche en séchage solaire, Sibgeogo Clément, 1990-1991
- 6 - Manuel du conditionnement d'air, G. Andréieff de Notbeck
- 7 - Humidification de l'air, Erich Henne
- 8 - Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires, J.J. BIMBENET
- 9 - Rapport d'activité du CEAS, séchage des mangues saison 1993
- 10 - Mémoire de fin d'étude de Mr. MAKOBEYE Djekounda
- 11 - Les machines thermiques, huitième partie
- 12 - Gestion d'entreprise, Fabrice Coupel, 1994
- 13 - Mémoire de Mr. Abdoulaye COULIBALY : Expérimentation d'un séchoir solaire dans l'océan indien : Application aux produits de la mer.