

## TABLE DE MATIÈRES

<i>DEDICACE</i> .....	II
<i>REMERCIEMENTS</i> .....	III
<i>RESUMÉ</i> .....	IV
<i>SIGLES ET ABREVIATIONS</i> .....	VII
<i>LISTE DES FIGURES</i> .....	VIII
<i>LISTE DES PHOTOS</i> .....	VIII
<i>LISTE DES TABLEAUX</i> .....	VIII
<i>INTRODUCTION</i> .....	1
<i>Première partie : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE</i> .....	3
<i>Chapitre I. GÉNÉRALITÉS SUR LA MANGUE</i> .....	4
<i>I. Historique du manguiers au Burkina Faso</i> .....	4
<i>II. Description de la mangue</i> .....	5
<i>III. Composition biochimique de la mangue fraîche</i> .....	5
<i>IV. Réactions et mécanisme d'altérations de la mangue</i> .....	6
<i>IV.1 Altérations biologiques</i> .....	6
<i>IV.2 Altérations mécaniques</i> .....	7
<i>IV.3 Altérations physico-chimiques</i> .....	7
<i>V. Zones de production de la mangue au Burkina Faso</i> .....	7
<i>VI. Variétés de mangues produites au Burkina Faso</i> .....	8
<i>CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LE SÉCHAGE</i> .....	10
<i>I. Définition du séchage</i> .....	10
<i>II. Description du principe de séchage</i> .....	10
<i>III. Période et allures du séchage</i> .....	10
<i>IV. Types de séchoirs utilisés</i> .....	11
<i>IV.1 Séchoir Attesta (CEAS)</i> .....	11
<i>IV.2 Séchoir Tunnel CD 1500</i> .....	11
<i>V. Activités du séchage de la mangue au Burkina Faso</i> .....	12
<i>Deuxième partie : MÉTHODOLOGIE</i> .....	14
<i>CHAPITRE I. PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE D'ÉTUDE</i> .....	15
<i>I. Historique</i> .....	15
<i>II. Présentation de l'entreprise</i> .....	15
<i>III. Organisation de l'entreprise</i> .....	16
<i>CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES</i> .....	18
<i>I. Matériels</i> .....	18
<i>I.1. Matériel végétal</i> .....	18
<i>I.2. Matériels techniques</i> .....	18

<i>II. Evaluation de l'efficacité des séchoirs Tunnel et Attesta</i> .....	18
<i>II.1 Mode d'usage des séchoirs</i> .....	18
<i>II.2. Consommation énergétique</i> .....	19
<i>II.1 Séchoir Tunnel</i> .....	19
<i>II.2 Consommation énergétique de la campagne</i> .....	20
<i>III. Qualité physique de la mangue séchée</i> .....	21
<i>IV. Analyses physico-chimiques et microbiologiques</i> .....	21
<i>IV.1. Analyses physico-chimiques</i> .....	21
<i>IV.1.1 Détermination du pH</i> .....	21
<i>IV.1.2 Détermination de l'humidité</i> .....	22
<i>IV.2. Analyses microbiologiques</i> .....	22
<i>IV.2.1 Milieux de culture et méthode de calcul</i> .....	22
<i>IV.2.2 Dénombrement des microorganismes</i> .....	23
<i>Troisième partie: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS</i> .....	25
<i>I. Production de la mangue séchée</i> .....	26
<i>II.1. Séchage selon le séchoir.</i> .....	27
<i>II.2. Quantité de gaz consommé et réglage du séchoir</i> .....	28
<i>II.3. Durée de séchage</i> .....	29
<i>III. Consommation énergétique durant la campagne</i> .....	30
<i>IV. Qualité physique de la mangue séchée</i> .....	30
<i>V.1. pH de la mangue séchée</i> .....	31
<i>V.2. Taux d'humidité de la mangue séchée.</i> .....	31
<i>V.3. Levures et moisissures</i> .....	32
<i>V.4. Quantité des coliformes fécaux</i> .....	33
<i>VI. Efficacité et qualité du produit selon le séchoir</i> .....	33
<i>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</i> .....	ii
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</i> .....	iii

## **SIGLES ET ABREVIATIONS**

ONG : Organisme Non Gouvernemental

CEAS : Centre Ecologique Albert Schweitzer

PAFASP : Programme d'Appui aux Filières Agro-Sylvo Pastorales

OGM : organismes génétiquement modifiés

HACCP : Hazard Analysis and Critical Control Point

CDS : Cercle Des Sécheurs

AW: activité de l'eau

KW: Kilowatt

IRSAT: Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologiques

NF: Faso Norme

ISO : Organisation Internationale de Standardisation

CFU/g : Unité formant des colonies par gramme de produit analysé

## **LISTE DES FIGURES**

<b>Figure 1:</b> Schéma simplifié du brunissement non enzymatique.....	8
<b>Figure 2 :</b> Organigramme de MANGO-SO.....	16
<b>Figure 3 :</b> Diagramme de production de la mangue séchée.....	26

## **LISTE DES PHOTOS**

<b>Photo1 :</b> Image d'un pied du <i>Mangifera indica</i> L.....	4
<b>Photo 2:</b> Image de Fruit mangue.....	9
<b>Photo 3:</b> Image d'un séchoir Attesta.....	11
<b>Photo4 :</b> Image d'un séchoir Tunnel CD 1500.....	12
<b>Photo 5 :</b> Système d'alimentation du tunnel.....	20
<b>Photo 6 :</b> quelques étapes de la production.....	27

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1:</b> Composition biochimique comparée de mangues non mûres et mûres.....	5
<b>Tableau 2:</b> Période de récolte des variétés de mangues au Burkina Faso.....	9
<b>Tableau 3 :</b> Période de séchage des mangues selon la variété.....	13
<b>Tableau 4:</b> Plan de contrôle des opérations.....	17
<b>Tableau 5:</b> Composition du milieu VRBL pour un litre de solution.....	22
<b>Tableau 6 :</b> Composition du milieu GS pour un litre de solution.....	23
<b>Tableau 7:</b> Consommation en gaz et mode de réglage.....	29
<b>Tableau 8:</b> Durée de séchage de la mangue.....	29
<b>Tableau 9 :</b> Consommation de gaz selon les séchoirs.....	30
<b>Tableau 10:</b> Qualité de la mangue séchée selon les séchoirs.....	31
<b>Tableau 11:</b> Valeur du pH selon le séchoir.....	31
<b>Tableau 12:</b> Taux d'humidité de la mangue séchée selon le séchoir.....	32
<b>Tableau 13 :</b> Nombre de levures et moisissures.....	32
<b>Tableau 14:</b> Quantité des coliformes fécaux.....	33
<b>Tableau 15 :</b> Résultats comparatifs de l'efficacité des séchoirs Attesta et Tunnel.....	33

## INTRODUCTION

Les fruits de façon générale, et la mangue en particulier du Burkina Faso, occupent une place importante sur le marché européen et cela contribue du même coup à l'essor de l'économie nationale. La mangue est beaucoup produite à l'Ouest du Burkina Faso, à cause du climat favorable. Les importants vergers de manguiers se rencontrent dans les régions de l'Ouest et du Sud Ouest où la pluviométrie est d'environ 1300 mm d'eau par an contre 300 mm dans la partie Nord [1]. La production y est assurée par une multitude de petits planteurs. La mangue a longtemps été exportée à l'état frais à cause du déficit notoire des unités de transformation. C'est à partir de 1980 que les premières unités de séchage de mangue ont vu le jour au Burkina Faso avec le soutien des pouvoirs publics et de certaines ONG telle que le CEAS [2]. Ces unités ont énormément contribué à réduire les pertes après récoltes à travers le séchage comme type de transformation des mangues mûres fraîches.

Cependant face au développement de nouvelles technologies et aux exigences du marché international, les produits alimentaires locaux connaissent des difficultés liées à la qualité hygiénique, physique, microbiologique et organoleptique. Ainsi depuis 2008, l'exportation de mangues séchées biologiques du Burkina Faso connaît des problèmes d'écoulement [3]. Cela est lié à de nombreuses contraintes dont principalement la mauvaise qualité, l'hétérogénéité des mangues séchées et surtout aux séchoirs qui sont de type artisanal. C'est dans ce contexte, que le PAFASP dont les objectifs visent à améliorer la compétitivité d'un certain nombre de filières agricoles sur les marchés nationaux, sous-régionaux et internationaux, a jugé nécessaire d'introduire et de vulgariser de nouvelles technologies de séchage de mangue. Cette nouvelle technologie importée de l'Afrique du Sud est dénommée séchoir tunnel «CD1500 container dryer» [4]. A cet effet, parmi les soixantaines d'unités de séchage que compte le Burkina Faso, seulement trois unités dont SANLEY SECHAGE, GUAMPRI et MANGO-SO, bénéficient de ce type de séchoir pilote.

La manipulation, la consommation énergétique et la qualité des produits de ces nouvelles technologies sont souvent ignorées dans nos unités de transformation. Cela constitue une entrave à l'évaluation de la performance des nouvelles technologies. C'est dans l'optique de contribuer à résoudre les problèmes ci-dessus évoqués que nous avons choisi de réfléchir sur le thème « suivi et évaluation de l'efficacité des séchoirs types Attesta et Tunnel utilisés à MANGO-SO pour le séchage de la mangue biologique ». L'objectif de notre étude a consisté à :

- évaluer et comparer la consommation énergétique des séchoirs types Attesta et Tunnel ;

- évaluer et comparer la qualité des produits issus de ces deux séchoirs afin d'informer les promoteurs des différentes unités de séchage des avantages et des inconvénients de cette nouvelle technologie.

Le présent document s'articule autour de trois parties que sont.

La première partie revue bibliographique fait l'état des connaissances sur la mangue et des travaux de transformation connus.

La deuxième partie traite de la méthodologie utilisée.

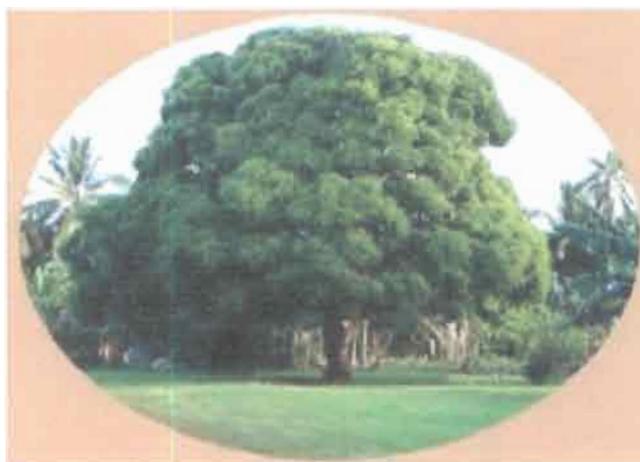
La troisième partie résultats et discussion.

**Première partie : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

## Chapitre I. GÉNÉRALITÉS SUR LA MANGUE

### I. Historique du manguier au Burkina Faso

Le manguier est un arbre (Photo 1) d'origine Indo-Birmane et pousse à l'état sauvage. *Mangifera indica* L. est un grand arbre à feuillage persistant pouvant atteindre 30m de haut et peut vivre plus de 100 ans [1]. Il fut introduit en Afrique occidentale et en Amérique dès le 16<sup>e</sup> siècle par les portugais [5].



Source : [6]

**Photo1.** Image d'un pied de *Mangifera indica* L.

La mangue a été introduite pour la première fois au Burkina Faso par un père blanc de la société des Missionnaires d'Afrique. Monseigneur Joanny THEVENOUD, premier archevêque de Ouagadougou, aurait ramené de la France une plante qui deviendrait le premier manguier du Burkina Faso [7]. Planté à la cathédrale de Ouagadougou dans la cour des pères blancs et n'ayant pas besoin d'une attention particulière, cet arbre a connu un succès et Monseigneur THEVENOUD aurait planté par la suite des manguiers sur un espace allant de l'actuel pont Kadiogo au théâtre populaire [7]. Très vite, le manguier s'est répandu dans la ville de Ouagadougou, et partout où était installée une mission catholique et également dans les paroisses telles que Pabré, Kongoussi, Banfora etc. Il se répand par la suite dans plusieurs régions du pays grâce aux conditions naturelles dont le sol et le climat propices à son développement. Aujourd'hui, il est devenu l'un des arbres fruitiers les plus cultivés au Burkina Faso sur une superficie de près de 33701 hectares avec une production estimée entre 160 000 à 200 000 t/an [8].

## II. Description de la mangue

La mangue est le fruit issu du manguier, arbre appartenant à la famille des Anacardiaceae, du genre *Mangifera*. La mangue est une drupe tropicale dont la taille et la couleur varient selon l'état de maturité. Sa masse varie entre 100 et 2 400g suivant les variétés. Elle peut être ronde, ovale ou dissymétrique [9]. Elle comprend trois parties principales: la peau ou exocarpe, la pulpe ou le mésocarpe et le noyau ou endocarpe [9].

- ✓ L'exocarpe est la partie externe qui recouvre le fruit. Il est de couleur variable à maturité allant du vert au rouge en passant par le jaune. C'est une partie nécessitant une élimination avant le séchage d'où l'épluchage du fruit.
- ✓ Le mésocarpe est la partie comestible du fruit dont les variétés améliorées comportent peu de fibres dans la pulpe. C'est cette partie qui est utilisée pour le séchage dans nos unités de transformation.
- ✓ L'endocarpe c'est la partie sur laquelle s'insèrent les fibres. Elle comporte une cavité dans laquelle est logée l'amande.

## III. Composition biochimique de la mangue fraîche

La composition biochimique de la mangue fraîche varie en fonction du degré de sa maturité. Elle augmente avec la maturité et est confirmée par le tableau 1 [10].

**Tableau 1.** Composition biochimique comparée pour 100g de mangues non mûres et mûres

Composant	Mangue non mûre	Mangue mûre
Eau (%)	90	86,1
Protéines (%)	0,7	0,6
Lipides (%)	0,1	0,1
Glucides (%)	8,8	11,8
Fibres (%)	-	1,1
Matières minérales (%)	0,4	0,3
Calcium (%)	0,01	0,01
Phosphore (%)	0,02	0,02
Fer (mg/g)	4,5	0,3
Vitamine A (UI)	150	4800
Riboflavine (mg)	0,03	0,5
Thiamine (mg)	-	0,04
Vitamine C (mg)	3	13
Acide nicotinique (mg)	-	0,3
Valeur en kilocalories pour 100g	39	50 - 60

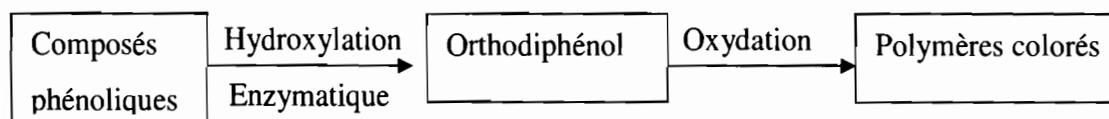
## IV. Réactions et mécanisme d'altérations de la mangue

Tout corps vivant naît, se développe, se dégrade et meurt. Les aliments naturels agricoles et transformés ou non (mangue fraîche, séchée etc.) ainsi que les vitamines n'échappent pas à cette règle du monde vivant actif. La problématique qui se dégage consiste à consommer les aliments pendant leur période optimale de qualité. Soit environ 30% des mangues récoltées sont perdues par dégradation naturelle et/ou par l'action de divers prédateurs sauf éventuellement en cas de l'action de protection [10]. Les principales causes de l'altération des substances alimentaires de la mangue sont les altérations biologiques, physico-chimiques et mécaniques.

### IV.1 Altérations biologiques

Les phénomènes d'autolyse ou altération enzymatique concernent les diverses destructions des tissus végétaux vivants par leurs propres enzymes sans agents ou agressions extérieures. C'est le cas des mangues en poste maturité, de certains fleurs et légumes fanés. Les enzymes particulièrement importantes dans la dégradation des fruits sont : les enzymes oxydatives ou catalases; les enzymes associées à la dégradation de la couleur; les enzymes amylolytiques et les enzymes hydrolytiques telles que les amylases.

L'aspect le plus important de la détérioration enzymatique des fruits est le brunissement enzymatique. C'est la transformation enzymatique dans ses premières étapes de composés phénoliques en polymères colorés appelés mélanines, le plus souvent bruns ou noirs selon le mécanisme réactionnel suivant [11].



- Le brunissement enzymatique s'observe surtout chez certains fruits lors des traitements (pelage, découpage, broyage, congélation, etc.). Dans un fruit susceptible de brunir, il n'y a pratiquement pas de brunissement tant que le tissu reste sain et intact.

- Les fermentations microbiennes représentent le plus souvent l'altération la plus fréquente si des précautions ne sont pas prises pendant l'entreposage. L'altération microbienne des fruits se caractérise par des phénomènes de fermentation (alcoolique et lactique) et de putréfaction et résulte des actions combinées de divers microorganismes (bactéries, levures, moisissures). Il s'agit de la transformation de la substance en produits gazeux, acides avec émanation plus ou moins toxiques. Ces fermentations exigent un milieu

très aqueux (cas de la mangue fraîche). Ce qui expose les produits alimentaires et agricoles ou animaux à très forte teneur en eau.

#### ***IV.2 Altérations mécaniques***

Entre la cueillette ou la récolte et la consommation, les actions d'entreposage, de transport, de conditionnement, de stockage et la distribution entraînent des agressions mécaniques à savoir choc, écrasement, tassement qui provoquent des lésions et accélèrent ainsi les processus d'altération biologique.

#### ***IV.3 Altérations physico-chimiques***

L'altération physico-chimique la plus importante est le brunissement non enzymatique appelé réaction de MAILLARD [11]. Il s'agit d'un ensemble de réactions complexes aboutissant à la formation de pigments bruns ou noirs appelés mélanoidines, conduisant à des modifications d'odeur et de saveur, à des pertes de valeurs nutritionnelles. Des composés carbonylés, des acides aminés et des protéines participent à ces réactions. Ce type d'altération se manifeste lors des traitements technologiques tels que le séchage de mangue et lors de l'entreposage. La **figure 1** résume les réactions du brunissement non enzymatique

### **V. Zones de production de la mangue au Burkina Faso**

L'Ouest du Burkina Faso est la zone la plus productrice de mangue. Cette partie du pays correspond à la zone où la pluviométrie est importante environ 1200 mm/an [1]. On trouve également des vergers de mangues autour des villes de Réo et Koudougou dans le Centre-ouest. Ainsi l'offre de mangues burkinabé d'exportation se présente comme suit.

Dès fin février débutent les productions au niveau des vergers de Koudougou et Réo, Province du Boulkiemdé et du Sanguié.

La production de Banfora et Toussiana, Province de Comoé et le sud de la Province du Houet, débute en mars.

A compter de mi-avril arrivent les mangues du reste de la province du Houet dans la zone de Bobo-Dioulasso et la production se termine par la récolte des mangues de la région d'Orodara et Koloko, Province du Kéné Dougou [1].

Ainsi les vergers sont repartis en deux types à savoir ceux certifiés biologiques et non certifiés [1]. Les vergers certifiés biologiques sont ceux dont les itinéraires techniques sont connus et maîtrisés. Les vergers conventionnels non certifié; les différentes pratiques restent plus traditionnelles.

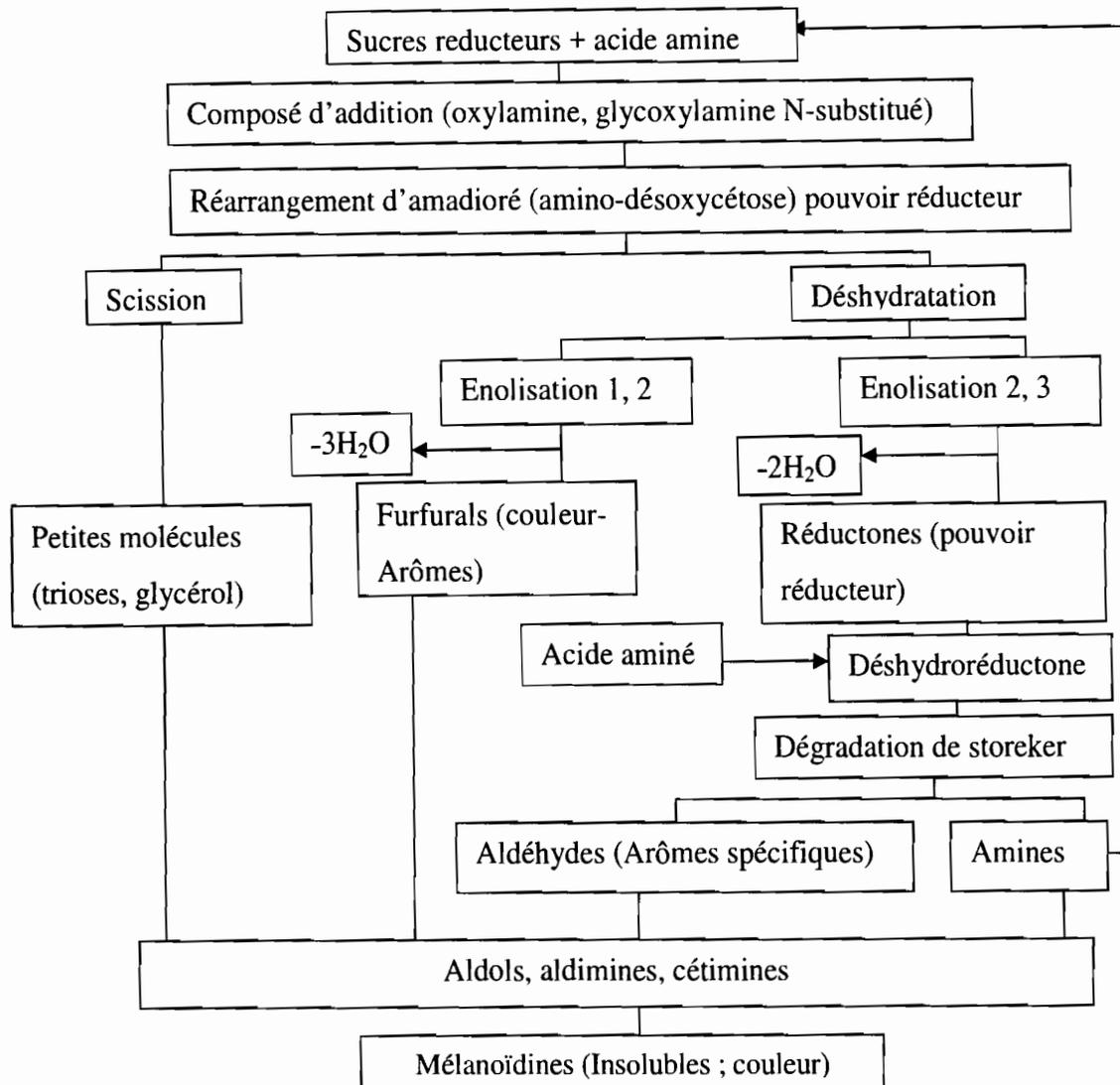


Figure1 : Schéma simplifié du brunissement non enzymatique.

## VI. Variétés de mangues produites au Burkina Faso

Au Burkina Faso, l'on recense de nos jours 20 à 40 variétés différentes de manguiers cultivées. Mais l'on compte 6 variétés dominantes dans les vergers qui sont Amélie, Brooks, Lippens, Kent, Keitt, Springfield [9]. Le Burkina Faso est connu traditionnellement pour ses mangues "Amélie", variété qui s'était particulièrement bien adaptée à l'Afrique de l'Ouest. Mais depuis une dizaine d'années, le marché européen s'est tourné vers des variétés dites "colorées" Kent et Keitt. Alors le pays s'adapte à cette nouvelle demande par la mise en place de nouvelles plantations et le sur-greffage des plantations existantes. La production est répartie dans le tableau 2 selon les variétés et les périodes.

**Tableau 2.** Période de récolte variétés de mangues au Burkina Faso

Variétés de mangues	périodes
Amélie	Février, mars, avril, mai
Kent	Mars, avril, mai, juin, juillet
Keitt	Avril, mai, juin, juillet,
Brooks	Juin, juillet, août
Springfield	Avril, mai, juin, juillet



Variété Brooks



Variété Amélie [6]

**Photo 2.** Image des fruits mangue

## **CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LE SÉCHAGE**

### **I. Définition du séchage**

Le séchage est l'un des plus anciens procédés de préservation des aliments en convertissant les denrées périssables en produits stabilisés. Il consiste à éliminer totalement ou partiellement l'excès d'humidité d'un produit par évaporation de l'eau qu'il contient suite à un apport d'énergie thermique. Ce phénomène provoque un abaissement de l'activité de l'eau du produit.

### **II. Description du principe de séchage**

Le séchage vise à éliminer l'eau libre d'un corps et conservé ses qualités nutritionnelles. Ainsi deux mécanismes fondamentaux peuvent être mis en œuvre pour extraire l'eau d'un produit par évaporation : l'ébullition ou l'entraînement.

Le mécanisme de séchage par ébullition est utilisé dans la plupart des cas pour des produits liquides. Il consiste à porter le produit à la température d'ébullition de l'eau [2].

Le mécanisme de séchage par entraînement est le type de séchage utilisé pour le séchage de la mangue. Il consiste à placer le produit humide dans un courant d'air suffisamment chaud et sec. Pour cela, un apport d'énergie (solaire, gaz...) est nécessaire pour le chauffage de l'air. L'apport de chaleur sur le produit se fait par convection à partir d'un gaz vecteur de la chaleur et l'évaporation se fait sans ébullition [2].

### **III. Période et allures du séchage**

Dans le séchage par entraînement à l'air chaud, les produits alimentaires subissent trois périodes de séchage de durée variable suivant les caractéristiques de l'air et du produit. La température du produit et de l'air évoluent dans le temps de façon très distincte selon les périodes. La période 0 est courte, elle correspond à la montée en température du produit jusqu'à atteindre la température d'évaporation de l'eau de surface. La vitesse de séchage augmente pendant cette phase [2]. La période 1 correspond à l'évolution d'eau libre ( $AW=1$ ) en surface du produit, sans cesse renouvelée par l'eau venant de l'intérieur du produit. La température du produit reste constante et égale à la température humide de l'air de séchage. La vitesse de séchage de cette période est constante et est limitée par le transfert de chaleur. Cette vitesse peut être accélérée en augmentant la température de l'air avant son arrivée sur le produit [2].

La période 2 correspond à un ralentissement de la vitesse de séchage dû au temps nécessaire pour que l'eau située à l'intérieur du produit (eau liée) migre vers la surface. La température de surface du produit s'élève progressivement pour atteindre la température sèche de l'air. Une température élevée d'air accélère le séchage mais favorise souvent le brunissement non enzymatique [2].

#### **IV. Types de séchoirs utilisés**

Plusieurs types de séchoirs existent pour le séchage des produits alimentaires. Ils sont généralement à convection naturelle, directe ou indirecte ; ou à convection forcée [12]. Mais au Burkina Faso, la majorité des unités de séchage de mangues sont équipées de séchoirs à gaz notamment les séchoirs types Attesta créés par le CEAS. Outre le séchoir Attesta, l'unité «MANGO-SO» utilise le séchoir Tunnel CD 1500 qui en plus du gaz consomme l'énergie électrique.

##### **IV.1 Séchoir Attesta (CEAS)**

C'est un séchoir dit à convection naturelle, il est composé :

D'une semelle maçonnée de dimension  $1,8m \times 1,8m \times 0,7m$ , c'est la partie qui repose sur le sol [2]. Elle est constituée de deux compartiments dans lesquels sont logés les brûleurs.

Un box de deux cellules concomitantes dans lesquelles dix à onze claies de séchage de dimensions  $0,7m \times 1,2m$  soit  $0,84m^2$  peuvent être positionnés sur les glissières [2].

Une hotte qui relie le box à la cheminée. Elle canalise l'air chaud et humide vers la cheminée.

Une cheminée qui constitue la partie la plus haute du séchoir. Elle permet l'évacuation de l'air humide.



**Photo 3.** Image d'un séchoir Attesta

##### **IV.2 Séchoir Tunnel CD 1500**

C'est un séchoir à ventilation forcée, il est construit dans un conteneur de 5 mètres de long et n'a pas besoin de grands travaux d'installation. Le conteneur peut simplement être installé

dans un bâtiment. Il est alimenté en gaz butane et en énergie électrique triphasée et un groupe électrogène de secours pour les ventilateurs d'environ 5,5 KW est nécessaire [3]. Le séchoir est composé d'un brûleur, d'un système d'admission d'air filtré qui est en dessous du plafond, d'un boîtier électronique (automatique) régulant la température, de ventilateurs, d'une ouverture permettant la sortie de l'air humide, d'un système de réglage et d'une porte d'entrée et sortie du produit. Le produit est séparé du brûleur par une plaque métallique logée au sein du conteneur. La paroi interne du conteneur est munie d'isolant thermique par conséquent l'échange d'énergie avec l'extérieur se fait par l'ouverture. Le séchoir a une capacité de transformation de 1200 à 1500 kilogrammes de mangue fraîche par cycle cette quantité est équivalent d'environ 6 à 8 chariots de 40 claies chacun [3].



**Photo 4.** Image d'un séchoir Tunnel CD 1500

## **V. Activités du séchage de la mangue au Burkina Faso**

Les principales variétés de mangues séchées sont l'Amélie, la Brooks et la Lippens. D'autres variétés charnues comme la Kent et la Keitt ne sont pas séchées du fait de leur coût élevé de production [1]. Alors l'activité de séchage commence en Avril et se termine au mois d'Août selon le tableau 3. Cette activité est répartie géographiquement, par ordre d'importance, dans les régions des Hauts Bassins, des Cascades, du Kéné Dougou, du Centre, du Centre-Ouest, et du Yatenga [1]. Cette répartition est basée principalement sur celle des principaux bassins de production de la mangue fraîche mais aussi sur la localisation des sites d'exportation. La mangue séchée est surtout destinée aux marchés européens et les volumes commercialisés sur le marché national concernent avant tout le deuxième choix. La majorité de la production de mangues séchées du Burkina est produite en « Agriculture Biologique» [1].

**Tableau 3.** Période de séchage des mangues selon la variété

Variétés	Mois de séchage
Amélie	avril, mai, juin
Brooks	mai, juin, juillet, août
Lippens	avril, mai, juin, juillet

**Source.** [1]

## **Deuxième partie : MÉTHODOLOGIE**

## **CHAPITRE I. PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE D'ÉTUDE**

### **I. Historique**

« MANGO-SO » est une entreprise privée à caractère familial dont la promotrice fait partie des premiers sécheurs de mangue au Burkina Faso. En 1992 elle installe sa structure à Ouagadougou mais face au manque de la matière première dans cette zone du pays, quelques années plus tard elle décide de se rapprocher des vergers pour mener à bien son activité. C'est ainsi qu'en 2000 l'unité fut délocalisée à Toussiana localité située sur l'axe Bobo Dioulasso - Banfora et prend le nom « MANGO-SO » qui veut dire "la cour de la mangue" en langue Dioula. Elle a pour activité principale le séchage de la mangue. Ainsi elle débute son activité avec quatre séchoirs type Attesta et par auto financement elle est actuellement à 16 séchoirs de type Attesta et un séchoir Tunnel CD 1500 d'origine sud-africaine et financé à hauteur de 63% par le PAFASP.

### **II. Présentation de l'entreprise**

«MANGO-SO» est situé eau secteur 2 de Toussiana appelé «Yoroko». Elle est spécialisée dans le séchage de la mangue séchée biologique; c'est-à-dire produit agricole ou une denrée alimentaire dont les méthodes de production visent à respecter l'environnement et les équilibres naturels. Autrement dit le mode de production ne fait intervenir aucun produit chimique de synthèse et exclut l'utilisation d'OGM. C'est une unité abritant :

- Une salle de mûrissement ;
- Une salle de lavage ;
- Deux salles de préparation (parage, découpe) ;
- Deux salles de séchage pour Attesta et Tunnel ;
- Une salle de conditionnement ;
- Une salle de stockage du produit fini ;
- Le matériel de production ;
- Un château d'eau ;
- Deux vestiaires homme et femme ;
- Une salle abritant le matériel de maintenance technique ;
- Un bureau administratif.

### III. Organisation de l'entreprise

Pour la coordination de l'ensemble des activités, «MANGO-SO» est organisée comme suit:

La direction générale dirigée par la promotrice, chargée du suivi de l'ensemble des activités de l'unité. Elle est épaulée par le chef de production qui en plus de la production assure certaines tâches administratives. Il supervise toutes les activités allant de la matière première au produit fini. Ainsi pour mieux situer les responsabilités, chaque section à un responsable qui a pour tâche de coordonner les activités dans sa section alors on a: les responsables de mûrissement, d'épluche et découpe, de séchage, de conditionnement et de contrôle qualité.

Outre cette répartition des tâches, la maîtrise des dangers liés aux aliments par la méthode des 5 « M » (Matière, Matériel, Méthode, Milieu et Main d'œuvre), 3 types de dangers : les dangers physiques, chimiques et microbiologiques ont été déterminés. Ce qui a permis à « MANGO-SO » d'élaborer un plan de contrôle des opérations afin de pouvoir suivre de près la chaîne de production. Ainsi le **tableau 4** situe les responsabilités en cas de problème. Cette organisation a conduit l'entreprise à un niveau de bonne pratique hygiénique et de bonne pratique de fabrication très élevées suite à des formations assurées par le CDS. Cet acquis a favorisé du même coup l'installation d'une équipe HACCP dans le but d'avoir une certification afin de pouvoir faire face à la mondialisation. La formation de cette équipe est assurée par un expert Sud-Africain mandaté à cet effet.

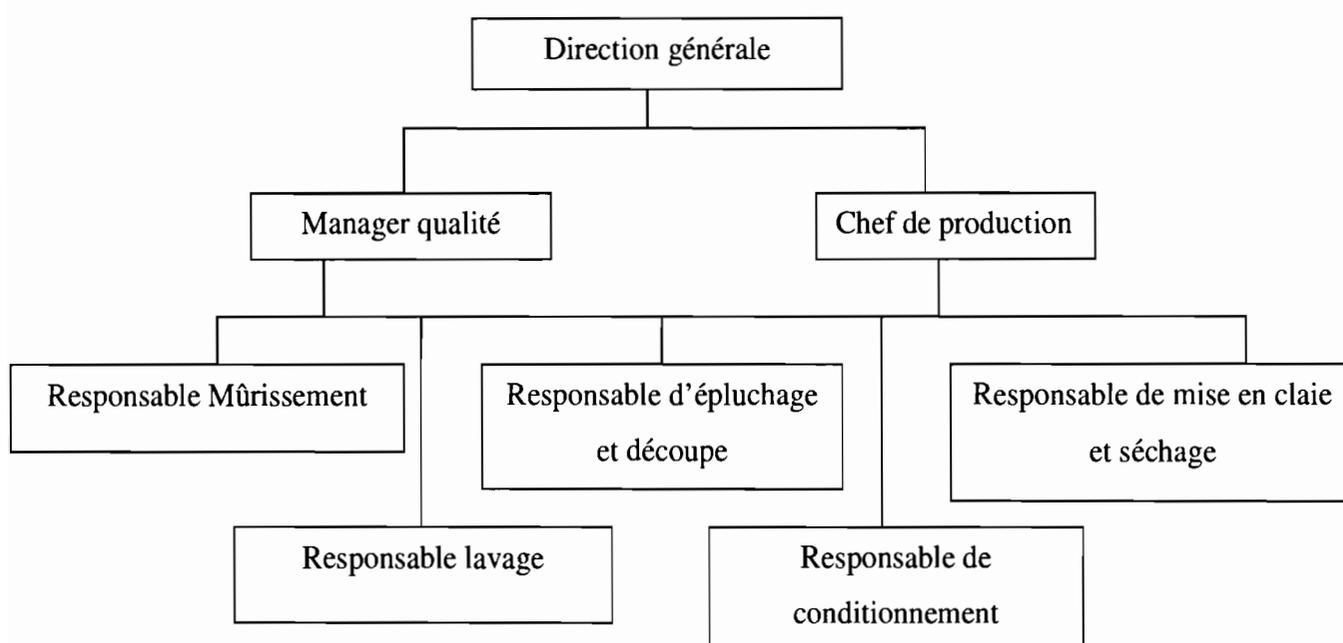


Figure 2 : Organigramme de MANGO-SO

**Tableau 4. Plan de contrôle des opérations**

Phases	Dangers	Mesures de maîtrise	Contrôle			Formulaire d'enregistrement
			Quand	Comment	Qui	
Réception de la mangue fraîche	Présence de carbure et autres contaminants chimiques	Liste de fournisseurs agréés	A chaque livraison	Vérification visuelle	Responsable de la matière première	Formulaire de contrôle qualité de la mangue
Lavage épluchage découpe	Présence de corps étrangers et de micro-org	Maîtrise des bonnes pratiques de fabrication	A chaque production	Vérification visuelle	Responsable de la qualité hygiénique	Formulaire pour le matériel, l'hygiène du personnel et des locaux
Séchage	Mauvais séchages	Respect des températures et temps de séchage	A chaque production	Vérification visuelle	Responsable de la production	Formulaire pour le contrôle du séchage
	Mauvaise permutation des claies	Respect de la permutation des claies	A chaque production	Vérification visuelle	Responsable de la production	
Conditionnement	Présence de corps étrangers, de mangues brûlées ou de micro-org	Triage respect des bonnes pratiques d'hygiènes			Responsable qualité	Formulaire pour le matériel, l'hygiène du personnel et des locaux
Stockage	Présence de moisissures et de termites sur les emballages	Respect des conditions de stockages et des bonnes pratiques			Responsable de production	

## CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### I. Matériels

#### I.1. Matériel végétal

Il est constitué uniquement de la mangue (variété brooks) en provenance des différents vergers de la localité.

#### I.2. Matériels techniques

- ❖ Le matériel de transformation : les séchoirs, les plats, les tables et les sachets stériles, le gaz butane, un double décimètre, un peson.
- ❖ Le matériel d'analyse : un bec bunsen pour la stérilisation lors de l'ensemencement, une autoclave pour la stérilisation des milieux de culture, une étuve, un incubateur; un pH-mètre et une balance de précision.

### II. Evaluation de l'efficacité des séchoirs Tunnel et Attesta

#### II.1 Mode d'usage des séchoirs

➤ **Séchoir Attesta.** Son utilisation est moins complexe car le chargement du séchoir se fait claie par claie après ouverture de la porte d'accès de chacun des compartiments du séchoir. Les claies sont intercalées dans chaque compartiment par deux chicanes. Après chargement, l'apport énergétique provient de la combustion du gaz butane. Ainsi avant d'allumer la bûchette ou le changement des bouteilles, il faut s'assurer que les robinets à gaz sont fermés. Le réglage de la flamme se fait manuellement au niveau des robinets à gaz et deux thermomètres permettent de suivre l'évolution de la température.

➤ **Séchoir Tunnel.** Son mode d'usage est plus complexe. D'abord les entrées tout comme les sorties des chariots se font par paire. Ensuite la mise en marche et l'arrêt du séchoir se fait manuellement à travers des boutons situés sur le boîtier électronique : un bouton pour le brûleur autrement dit pour le démarrage et deux boutons pour la ventilation noté vent I et vent II. Enfin l'apport énergétique est assuré par le gaz butane. Alors deux sources alternes de quatre bouteilles chacune sont branchés afin d'assurer la continuité du fonctionnement du séchoir. Elles sont munies d'un robinet chacune, d'un système qui indique au contrôle électronique du brûleur qu'il ya bien du gaz et que les bouteilles ne sont pas vides.

## II.2. Consommation énergétique

Nous avons constaté qu'il n'y avait pas de mode d'emploi ni de schéma électronique du Tunnel. Mais d'une part nous avons constaté qu'il est muni d'un système de réglage possible qui fait varier la vitesse de sortie de l'air humide. Alors nous nous sommes intéressés à ce système.

### II.1 Séchoir Tunnel

Evaluation technique : Cette opération se déroule en deux étapes et concerne la manipulation du séchoir, sa consommation en gaz ainsi que la durée de séchage. Elle a pour but la maîtrise du fonctionnement du séchoir, sa consommation en gaz et la durée d'un cycle de séchage à cet effet un réglage de certains paramètres est effectué. Ainsi la première étape s'est limitée à l'observation, à l'évaluation de la consommation en gaz et la durée de séchage. Lors de la deuxième étape outre les éléments de la première étape, nous avons procédé à un réglage du séchoir. Les deux étapes se sont déroulées sur 4 jours chacune.

#### ➤ Evaluation de la consommation en gaz

Le principe est basé sur une simple pesée des bouteilles de gaz. A chaque changement des bouteilles, des pesées avant et après consommation sont opérées afin d'évaluer la quantité de gaz consommée. Cette quantité est déterminée par la différence entre les deux pesées. Elle se calcule par la formule suivante :

$$Q_g = P_{av} - P_{ap}$$

$Q_g$  : est la quantité de gaz consommée et elle s'exprime en kg ;  $P_{av}$  : masse de bouteille pleine et elle s'exprime en kg ;  $P_{ap}$  : masse de bouteille vide après consommation et s'exprime en kg. A l'issue de ces deux étapes de suivi, un rendement  $R$  (%) est calculé à l'aide de la formule ci-dessous :

$$R = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100$$

Avec  $Q_1$  : quantité de gaz consommée en kg à la première étape et  $Q_2$  : quantité de gaz consommée en kg à la deuxième étape

#### ➤ Durée du séchage

Le principe consiste à calculer la différence d'heure entre l'entrée et la sortie des chariots. Autrement dit la différence d'heure entre la fin et le début du séchage. Ainsi la durée de séchage se calcule par la formule ci-dessous

$$D = ts - te$$

$D$  : durée de séchage en heure ;  $ts$  : temps de sortie des chariots ;  $te$  : temps d'entrée des chariots



**Photo 5 : Système d'alimentation du Tunnel**

### ➤ Réglage du séchoir Tunnel

Le principe consiste à jouer sur le système de réglage qui influence la vitesse et la sortie de l'air. Lorsque le système de réglage est en position fermée, la vitesse de circulation de l'air est réduite et l'ouverture des palettes d'évacuation de l'air est totale. Elle correspond à la période 1 du séchage où l'humidité du produit est très importante. Ainsi les deux réglages se sont effectués dans la période 2 correspondant à un ralentissement du séchage c'est-à-dire la période à laquelle l'humidité du produit est en baisse. Il faut noter qu'ils se font suivant un cycle qui se définit comme suit : le premier réglage de 1/2 se fait entre 12 et 13 heures du temps après la première entrée des chariots et de 2/3 pour le 2<sup>e</sup> réglage qui se fait entre 8 et 9 heures du temps après le premier réglage et prendre fin juste avant la première entrée des chariots le lendemain. Puis le cycle reprend autrement dit le système de réglage est en position fermée et l'ouverture des palettes sont totale.

## II.2 Consommation énergétique de la campagne

### ➤ Consommation totale en gaz

Le but de cette opération est de pouvoir évaluer la consommation en gaz des séchoirs Tunnel et Attesta. Le principe est basé sur le nombre de bouteille utilisé pour la campagne et la masse moyenne en gaz d'une bouteille. Autrement dit c'est le produit du nombre de bouteille par la masse moyenne en gaz d'une bouteille. D'où l'expression permettant le calcul:

$$M_g = Q_b \times M_{moy}$$

### ➤ Consommation de gaz du Tunnel

Le principe est basé sur la durée de la campagne et le résultat obtenu pendant les quatre jours de suivi de la première étape. Ainsi la quantité de gaz est déterminée par le produit de la durée de campagne et la quantité de gaz consommé à la première étape.

L'expression du résultat est la suivante :

$$M_{gt} = \frac{Q_1}{4} \times t$$

### ➤ Consommation de gaz de l'Attesta

Le principe est basé sur la consommation totale en gaz et celle du Tunnel. Cette quantité est déterminée à partir de la différence entre la consommation totale de la campagne et la consommation du Tunnel (en gaz).

Elle est calculée par l'expression suivante:

$$M_{gA} = M_g - M_{gt}$$

Où  $M_g$  = quantité totale de gaz consommée en kg ;  $Q_1$  = quantité de bouteilles ;  $M_{moy}$  = masse moyenne de gaz par bouteille;  $M_{gt}$  = quantité de gaz consommée par le tunnel en kg;  $t$  = durée de la campagne en jours ;  $M_{gA}$  = quantité de gaz consommée par l'Attesta en kg.

## III. Qualité physique de la mangue séchée

Cette qualité concerne l'homogénéité et le choix selon le classement 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, et 3<sup>e</sup> choix de la mangue séchée [1]. Chaque production est soumise à l'appréciation des conditionneuses. L'homogénéité de la mangue séchée est appréciée par rapport à l'humidité communément appelée réchauffée. Elle se fait par un simple toucher à la main lors du délayage.

La qualité par rapport aux 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> choix concerne la couleur et elle est également soumise à l'appréciation des conditionneuses. Cela se fait au délayage.

## IV. Analyses physico-chimiques et microbiologiques

Les analyses physico-chimiques et microbiologiques ont porté essentiellement sur le pH, l'humidité, les levures et moisissures et les coliformes fécaux. Ainsi les échantillons de mangues séchées ont été prélevés sur un lot Attesta et un lot Tunnel. Elles sont alors envoyées à l'IRSAT de Bobo-Dioulasso pour les analyses physico-chimiques et microbiologiques.

### IV.1. Analyses physico-chimiques

#### IV.1.1 Détermination du pH

La mesure du pH est effectuée à l'aide d'un pH-mètre. Il permet de connaître le degré de maturité de la mangue. Le pH standard de la mangue séchée est de 3,40 à 3,75. A l'aide de

sachets stériles, on pèse 10 grammes de mangue dans chacun d'eux. Ensuite, on introduit 100ml de diluant (l'eau peptonée) dans chaque sachet et la solution est homogénéisée. Enfin la prise du pH se fait à l'aide du PH-mètre.

#### IV.1.2 Détermination de l'humidité

L'humidité est le taux résiduel en eau après séchage de la mangue. Elle consiste à ré-séchée les tranches de mangues avec une étuve pour faire partir l'eau résiduelle. Le principe consiste à pesé 5g de mangue dans des nacelles et l'ensemble est ensuite introduit dans l'étuve dont la température est réglée graduellement d'abord à 80°C pendant une heure ensuite à 90°C pendant une heure et enfin stabilisée à 103-105°C durant 20 heures. La méthode utilisée est dénommée la méthode d'une nuit. Après cette étape, les nacelles sont refroidies au dessiccateur puis pesées. Les nacelles sont replacées à l'étuve pendant une heure et refroidies à l'étuve puis pesées et le processus reprend jusqu'à ce que la différence entre deux pesées ne dépasse pas 0,02g. Le résultat s'exprime par la formule suivante.

$$H = (M_0 - M) / M_0$$

### IV.2. Analyses microbiologiques

#### IV.2.1 Milieux de culture et méthode de calcul

Pour la préparation du milieu gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre (VRBL), 40,5g de poudre ont été pesées et ajoutées à 1 litre d'eau peptonée, le pH du milieu est ajusté à 7,4±0,2. La solution est portée à l'ébullition jusqu'à dissolution complète puis refroidie par la suite dans un bain marie à 44°C.

**Tableau 5** : Composition du milieu VRBL pour un litre de solution

Composition	Proportion
Peptone	7,0g
Lactose	10,0g
Sodium Chloride	5,0g
YeastExtract	3,0g
Bile Salt No 3	1,5g
Crystal Violet	0,002g
NeutralRed	0,03g
Agar	14,0g
pH	7,4±0,2

Pour la préparation du milieu de culture Gélose Sabouraud (GS), 65,5g de GS est mis en suspension dans 1 litre d'eau peptonée et chauffée jusqu'à la dissolution totale. Le pH de la solution est ajusté à 5,6±0,2 et porté à l'autoclave à 118°C pendant 15 minutes. Le **tableau 6** donne la composition pour un litre de cette solution.

**Tableau 6:** Composition du milieu GS pour un litre de solution

Composition	proportion
Peptomycal	10,0g
Glucose	40,0g
Chloramphenicol	0,5g
Agar	15,0g
pH	5,6±0,2

La méthode de calcul: pour des boîtes contenant 04 à 150 colonies au niveau de deux dilutions successives, le calcul de N levures et moisissures ou coliformes fécaux par ml ou par g de produit en tant que moyenne pondérée à l'aide de la formule suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{(n1 + 0,1n2)V1 \times d}$$

N : nombre de levures et moisissures ou coliformes fécaux par ml ou par g de produit ;

ΣC : somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues de deux dilutions successives dont au moins 04 colonies ;

V : volume de l'inoculum appliqué à chaque boîte en ml ;

d : dilution correspondant à la première dilution retenue ;

n1 : nombre de boîtes retenues à la première dilution ;

n2 : nombre de boîtes retenues à la deuxième dilution ;

Si le nombre de colonies au niveau de l'échantillon pour essai ou de suspension mère est compris entre 01 et 03, exprimer le résultat comme suit : micro-organismes présent mais avec moins de 3\*d<sup>-1</sup>coliformes /g produit solides.

#### IV.2.2 Dénombrement des microorganismes

##### ❖ Levures et moisissures

Le dénombrement des levures et moisissures est fait à l'aide du milieu gélose sabouraud [13]. La suspension mère est préparée à partir de 10g du produit et 100ml d'eau peptonée suivi de dilution décimale. L'inoculum est prélevé à l'aide de micropipettes stériles d'1ml et ensemencé dans des boîtes de pétri. Des témoins sont également préparés avec le diluant.

L'incubation se fait à  $30^{\circ}\text{C}\pm 0,5$  pendant 72 heures date à laquelle le comptage des colonies est effectué [13].

#### ❖ Coliformes fécaux

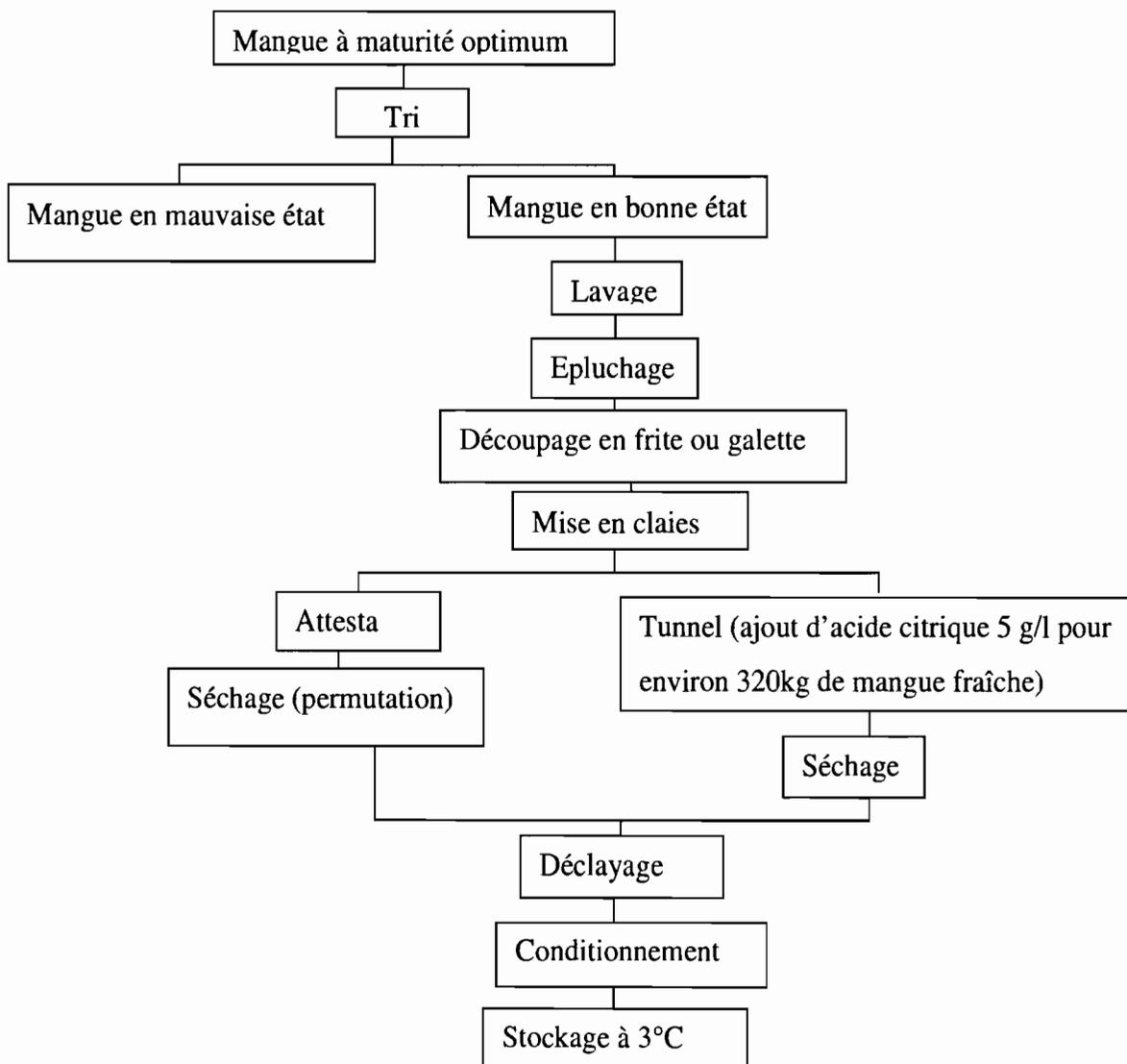
Les coliformes fécaux représentent l'ensemble des micro-organismes d'origine fécale pouvant exister dans la mangue séchée. Le milieu de culture utilisé à cet effet est le milieu gélose lactosé bilié au cristal violet et au rouge neutre (VRBL). Le milieu de culture est additionné à la gentamycine. La suspension mère est préparée à partir de 10g du produit et 100ml d'eau peptonée suivi de la dilution décimale. A l'aide d'une boîte de pétri et de micropipettes stériles de 1ml, les échantillons sont prélevés puisensemencés. Des témoins sont également préparés avec le diluant. L'incubation à lieu à  $44\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  pendant 24 heures et on procède à la lecture pour dénombrer les colonies [14].

## **Troisième partie: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

## I. Production de la mangue séchée

Pour la production de la mangue séchée, la matière première, la mangue fraîche provient de verges certifiées biologiques. Elle est transportée en vrac dans des camions avec l'utilisation des pailles comme élément amoindrissant les chocs. Après réception, un tri est opéré et les mangues de bonne qualité sont mises au mûrissement qui dure 4 à 5 jours pour le Brook. La mangue mûre suit plusieurs opérations unitaires qui s'opèrent manuellement selon la figure 3.

Cette figure décrit les différentes étapes de séchage de la mangue dont le processus est presque similaire. Mais la différence se situe au niveau du Tunnel par l'ajout de l'acide citrique sur les tranches de mangue lors de la mise en claies et au niveau de l'Attesta par la permutation des claies chaque 2heures lors du séchage.



**Figure 3.** Diagramme de production de la mangue séchée



Mangue réceptionnée

Opération de tri

Mûrissement de la mangue



Epluchage et découpage

Conditionnement de la mangue

**Photo 6** : quelques étapes de la production

## II.1. Séchage selon le séchoir.

### 1) Séchoir Attesta

La procédure de séchage avec les fours Attesta est très complexe car le réglage de la température ainsi que les permutations se font manuellement. Suivant la température, le séchage se déroule en deux phases. La première phase à laquelle la température des cellules est d'environ 80 à 90°C dure environ 10 à 12 heures. Lors de la deuxième phase, la puissance du brûleur est réduite afin d'avoir une température d'environ 40 à 50°C jusqu'à la fin du séchage. Elle dure environ 8 à 10 heures ce qui donne une durée de séchage totale de 18 à 22 heures. Ces deux phases devraient être différenciées par les thermomètres permettant de détecter la fin de la première phase. Mais compte tenu des états défectueux des thermomètres, la température des séchoirs n'est pas maîtrisée. Cependant, le conducteur du séchoir s'aidant de son expérience acquise dans l'utilisation du séchoir ajuste le réglage de la flamme. La permutation des claies se fait chaque 2 heures du bas vers le haut; elle est faite en fonction des chicaneaux qui orientent la circulation de l'air chaud. En pratique la permutation des claies se déroule comme décrit ci-dessous.

La 1<sup>ère</sup> permutation : elle concerne les quatre premières claies du bas. Elles sont permutées 2 heures après le début du séchage en pivotant les claies.

La 2<sup>ème</sup> permutation : elle se fait entre les quatre claies du bas et les quatre du haut ainsi que ceux du milieu. Les claies du bas prennent la place de ceux du haut et vis versa. Le

classement se fait de façon décroissante en haut et croissante en bas. Ceux du milieu sont simplement pivotés.

La 3<sup>e</sup> permutation : toutes les claies sont pivotées et parfois les filets sur lesquels sont étalées les tranches de mangues.

La 4<sup>e</sup> permutation : les trois claies du bas prennent la place des trois du milieu en sautant une claie. Le pivotement des claies et des filets dépendent de l'humidité du produit. Le classement des claies se fait suivant celui de la deuxième permutation. Le reste des claies sont pivotées ou permutées entre elles selon l'humidité des tranches de la mangue.

Les autres permutations : elles se font entre les claies en fonction du taux d'humidité des claies jusqu'à la fin du séchage.

## 2) Séchoir Tunnel :

La procédure de séchage avec le séchoir tunnel est moins complexe car une fois le produit à l'intérieur du séchoir, seule une permutation est effectuée. Elle se fait par simple inversion des chariots juste après chaque sortie. La température de séchage est de 55 à 60°C et elle est donnée par le boîtier électronique. Cependant le conducteur du séchoir a la lourde tâche d'assurer la surveillance du séchoir lors du séchage. Ainsi il est chargé de noter la température toutes les 30 minutes, les différents arrêts du séchoir, les entrées et sorties des chariots et les changements de bouteilles de gaz. A cet effet une fiche de suivi de cette tâche lui est soumise.

## II.2. Quantité de gaz consommé et réglage du séchoir

Au terme des deux étapes de réglage, les résultats sont consignés dans le tableau 7.

La consommation en gaz lors de la première étape (sans réglage) est de l'ordre de 250 kg en 4 jours soit une moyenne de 62,5kg en 24h. Celle de la deuxième étape suivie de réglage est de 222kg en 4jours également soit une moyenne de 55,5kg en 24heures ce qui donne un rendement de 11,2%. En comparaison avec le résultat des essais lors de la mise en place du séchoir en 2012 qui est 64,8kg en 26heures avec deux chariots; nos résultats sont acceptables. Alors cette différence pourrait être liée au réglage opéré lors de la deuxième étape notamment au niveau des ouvertures car la différence avec la première étape se situe à ce niveau. En effet la teneur en eau de la mangue en début de séchage est très élevée par conséquent la vitesse d'évacuation doit être accélérée pour favoriser l'entraînement de la vapeur d'eau. Cependant au cours du séchage, l'air devient de moins en moins saturé en vapeur d'eau. Le réglage du séchoir à cette période réduit l'activité du brûleur. Ainsi nous pouvons conclure que le rendement énergétique obtenu est produit pendant l'ouverture.

**Tableau 7.** Consommation de gaz et mode de réglage

Quantité de gaz consommé					
Etapes	Durée en jours		Quantité de gaz (kg)	Rendement en %	
sans réglage	4		250	11,2	
avec réglage	4		222		
Réglage du séchoir					
fermer	ouverture		fermer	Durée en heures	
	1/2	1/3		Ouvert 1/2	Ouvert 1/3
11h - 0h	0h - 11h	-	13h	11h	-
11h - 0h	0h - 8h	8h - 12h	13h	8h	3h
12h - 0h	0h - 8h	8h - 11h	12h	8h	4h
11h - 0h	0h - 8h	8 h - 11h	13h	8h	3h

### II.3. Durée de séchage

Le tableau 8 présente les transitions de séchages d'un cycle en fonction des entrées des chariots. La durée de séchage à l'issue des 2 essais donne des moyennes de 31 heures pour les premières entrées et 37 heures pour les 2<sup>è</sup>entrées. Elle demeure élevée car pour des séchoirs Sud-Africains de même type (tunnel CD1500), la durée de séchage est de 15à 18heures [3]. Donc deux fois inférieure à celle effectuée à MANGO-SO. Cette différence pourrait être liée aux conditions climatiques car le climat en Afrique du Sud est marqué de saison sèche au nord et plus des deux tiers du pays reçoivent moins de 500 mm de pluie par an. Par contre au Burkina Faso la pluviométrie est d'environ 1300 mm de pluie par an dans la zone la plus productrice du pays. Cela peut donc être un facteur défavorable au séchage. Elle peut être également liée à la non maîtrise de la manipulation du séchoir. En outre la marge de temps entre les deux chariots reste importante. Elle se justifie par la non disponibilité des ouvriers en charge du déclayage. En effet la deuxième sortie se fait tard dans la nuit, cela retarde alors la sortie des chariots, évitant du même coût l'humidification du produit.

**Tableau 8.** Durée de séchage de la mangue

Chariot	1 <sup>ère</sup> entrée en heures	2 <sup>e</sup> entrée en heures
1 <sup>ère</sup> essai	32	38
	31	37
	30	37
	31	34
2 <sup>e</sup> essai	30	35
	30	38
moyenne	31±1	36±2

### III. Consommation énergétique durant la campagne

La répartition de la consommation en gaz et la production de mangue séchée en fonction des deux types de séchoirs sont consignés dans le tableau 9.

La consommation en gaz est de 75% avec une production de 68,8% de mangue séchée pour le séchoir Attesta la consommation en gaz du séchoir Tunnel est de 25% avec une production de 31,2% de mangue séchée. Ainsi nous remarquons que la consommation en gaz de l'Attesta est 3 fois supérieure à celle du Tunnel avec une production environ 2 fois supérieure à celle du Tunnel. Par conséquent, nous pouvons conclure que le Tunnel est plus économique en consommation de gaz.

**Tableau 9** : Consommation de gaz selon les séchoirs

séchoirs	Nombres	Quantité de gaz				Production de mangue séchée
		totale	Par séchoir	Par jour	pourcentage	
Attesta	16	19798kg	14861kg	140kg	75	68,8%
Tunnel	1		4937kg	62,5kg	25	31,2%

### IV. Qualité physique de la mangue séchée

La qualité physique de la mangue séchée est un critère de qualité basée sur l'homogénéité. Alors l'évaluation de quelques productions des séchoirs Attesta et Tunnel ont conduit aux résultats du tableau 10.

Réchauffé : c'est la quantité de mangue humide obtenue lors du décalage soumise à un séchage

Les résultats du Tunnel sont de 100% pour la qualité de premier choix de mangue séchée avec absence de réchauffé. Ceux de l'Attesta présentent les trois choix de qualité (1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup>) de mangue séchée avec présence de réchauffé. Ainsi par rapport à ces deux critères, on peut qualifier le produit issu du Tunnel d'homogène et celui de l'Attesta d'hétérogène. L'homogénéité du produit du Tunnel peut s'expliquer par deux facteurs à savoir la température dont le réglage est automatique et la répartition uniforme de la chaleur à l'intérieur du séchoir. Cependant l'hétérogénéité du produit Attesta peut être lié à la non maîtrise de la température conduisant le plus souvent au brunissement et au croûtage du produit. L'humidité relative de l'air de convection pourrait être aussi un facteur défavorable

car si elle est supérieure à celle du produit il peut avoir une humidification d'où la présence de « réchauffés ».

**Tableau 10** : Qualité de la mangue séchée selon les séchoirs.

Date de production	Attesta				Tunnel			
	Choix en %			réchauffé	Choix en %			réchauffé
	1 <sup>er</sup>	2 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>		1 <sup>er</sup>	2 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	
17/07/2013	99,18	0,6	0,2	+	100	-	-	-
18/07/2013	97,7	1,4	0,9	+	100	-	-	-
19/07/2013	99,36	0,42	0,21	+	100	-	-	-
23/07/2013	98,8	0,78	0,4	+	100	-	-	-
24/07/2013	98,7	1	0,3	+	100	-	-	-
25/07/2013	98,56	1,1	0,35	+	100	-	-	-

+ Présence de ; - Absence de.

### V.1.ph de la mangue séchée

La détermination du pH a permis de connaître le degré d'acidité de la mangue séchée. Le pH de la mangue séchée avec les séchoirs Attesta et Tunnel sont dans le tableau 11

Ces résultats sont supérieurs à la norme Burkinabé (3,4 - 3,75) pour la mangue séchée. Les produits sont donc moins riches en acidité. Cela peut s'expliquer par les facteurs suivants : d'abord la variété de la mangue séchée (variété brook) est plus sucrée par conséquent moins acide ; ensuite le degré de maturité de la mangue peut influencer le pH, plus la maturité de la mangue est élevée, elle est sucrée et moins acidité; enfin après épluchage, les tranches de mangue sont en contact directe avec l'air et la lumière ce qui pourrait favoriser l'oxydation des acides ascorbiques. Alors pour minimiser les pertes en vitamine C, l'enclayage et le remplissage des compartiments doivent se faire de façon continue sans rupture.

**Tableau 11** : Valeur du pH selon le séchoir

Echantillons	pH	norme
Attesta	4,12	3,4 - 3,75
Tunnel	4,11	

### V.2. Taux d'humidité de la mangue séchée.

Le taux d'humidité de l'échantillon Attesta est légèrement supérieur à la norme burkinabé tandis que celui du Tunnel respecte la norme. Mais d'une façon générale ces

résultats ne respectent pas la norme imposée par le client car ces produits sont destinés au client sud-africain qui demande un taux d'humidité égale à 18%. Le résultat de l'Attesta peut s'expliquer principalement par la variation des paramètres de séchage difficiles à maîtriser notamment le temps, la température, et l'humidité relative de l'air qui varient considérablement en fonction des périodes. Le résultat du séchoir Tunnel peut s'expliquer par le temps de séchage très élevé. En outre le taux d'humidité atteint en fin de séchage ne garantit pas une bonne stabilité du produit. Il expose le produit aux réactions de dégradation et aux contaminations microbiennes. Mais avec le stockage en chambre froide sous la demande du client, ces réactions sont limitées alors il faut éviter d'exposer le produit pendant longtemps à la température ambiante.

**Tableau 12.** Taux d'humidité de la mangue séchée selon le séchoir.

Séchoir	Humidité (%)	norme
Attesta	18,39	12 à 18%
Tunnel	17,35	

### V.3. Levures et moisissures

Les résultats (tableau 13) montrent que les produits sont en conformité avec la norme. Le résultat observé au produit Attesta peut s'expliquer du fait que le matériel du séchoir Attesta est en bois donc difficile à nettoyer et l'état des filets sur lesquels sont étalées les tranches de mangue. De plus le produit subit beaucoup plus de manipulation de la part des opérateurs tout au long du séchage. Ce facteur peut être source de contaminations microbiologiques. Par contre le résultat observé au produit Tunnel pourra être lié aux matériels du séchoir très faciles à nettoyer et la manipulation limitée du produit par les opérateurs lors du séchage. Ces résultats montrent que le nombre de germes présents ne présente pas de risques pour la santé du consommateur.

**Tableau 13.** Nombre de levures et moisissures.

Séchoirs	Attesta	Tunnel
Paramètres	Levures-moisissures	
Taux de micro-org	< 4,10 <sup>1</sup> CFU/g	< 1,10 <sup>1</sup> CFU/g
norme	<10 <sup>4</sup> CFU/g	

<1,10<sup>1</sup> pas de microorganisme détecté par la méthode utilisée (absence).

#### V.4. Quantité des coliformes fécaux

Les résultats d'analyse montrent que le nombre de germes présents ne présente pas de risques pour la santé du consommateur selon le tableau 14. Ces résultats nous permettent de conclure que les bonnes pratiques d'hygiène sont maîtrisées et respectées par les ouvriers. Alors nous pouvons dire que les mangues sont sécurisées en termes de coliformes fécaux.

**Tableau 14.** Quantité des coliformes fécaux

Echantillons	Attesta	Tunnel
paramètres	Coliforme fécaux	
Taux de micro-org norme	< 1,10 <sup>1</sup> CFU/g	< 1,10 <sup>1</sup> CFU/g Absence

#### VI. Efficacité et qualité du produit selon le séchoir

Les résultats comparent les séchoirs en termes d'efficacité et de qualité du produit selon le tableau 15.

Les résultats de cette comparaison nous permettent de déduire que le Tunnel présente plus d'avantage que l'Attesta en termes de qualité (physiques, homogénéité et hygiénique) du produit. De plus il remplit certaines conditions du système HACCP ce qui pourra favoriser la certification d'unités de séchages. Ainsi pour la compétition de nos mangues séchées sur le marché Européen, le séchoir Tunnel est à vulgariser.

**Tableau 15 :** Résultats comparatifs de l'efficacité des séchoirs Attesta et Tunnel

Eléments de comparaison	Attesta	Tunnel
Température de séchage	80 à 90°C et 40 à 50°C	55 à 60°C
Durée d'un cycle	18 à 22h	30 à 36h
Permutation	Oui	Non
Couple temps température	Difficile à régler	Facile à régler
Energie consommé	Gaz	Gaz et électricité
Qualités du produit	Présence : de 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> choix, de réchauffé (hétérogène)	Absence : de 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> choix, de réchauffé (homogène)
Nettoyage	Difficile	Facile
Maintenance	Facile	Difficile
Risque de contamination	Elevé	Faible

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La présente étude qui a porté sur la maîtrise de l'efficacité des séchoirs Tunnel et Attesta utilisés pour le séchage de la mangue, nous a permis d'évaluer quelques performances du tunnel et la qualité de la mangue séchée. Au regard des résultats, le séchoir Tunnel présente un intérêt capital en terme de performance. Il peut être considéré comme un élément moteur à l'amélioration de la qualité des produits séchés dans nos unités de séchage. Le séchoir Tunnel utilisé pour le séchage de la mangue, la transformant en produit stable lui confère aussi un caractère homogène qui fait partir des critères de qualité sur le marché. En plus la manipulation limitée du produit est un atout en termes de qualité hygiénique et limite les risques de contamination.

Au vu de ces performances, la mangue séchée au Tunnel peut faire face aux problèmes que rencontre la mangue séchée au Burkina Faso. Par conséquent nous recommandons le séchoir Tunnel aux acteurs de la mangue séchée.

Cependant pour sa vulgarisation, les suggestions ci-dessous seront nécessaires :

Une détermination régulière de l'humidité de la mangue séchée sera nécessaire au laboratoire. Prévoir un ouvrier pour le décalage du produit Tunnel, ce qui pourra permettre de réduire la durée du séchage de la deuxième entrée.

Une étude sur la qualité nutritionnelle du produit Tunnel sera nécessaire, il peut faire l'objet d'un thème d'étude.

Il faut exploiter le séchoir à son maximum pour cela d'autres produits peuvent être séchés.

Un accompagnement technique pour l'utilisation et la maintenance du séchoir est nécessaire pour la réalisation d'un tel projet.

Pour la vulgarisation du séchoir Tunnel, les acteurs du projet pourraient penser à sa construction sur place au Burkina avec les artisans locaux.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **APPROMA B, 2009.** Guide du système d'autocontrôle pour la production de mangue, Burkina Faso, PAFASP 207 P.
- [2] **Michel. R, Jean-Michel. M, Thierry. F et Mathieu. B 2009 :** Guide pratique, le séchage des mangues 109 P
- [3] **Michel R, Jean-Michel. M, Thierry. F et Mathieu. B 2011:** Affaire juteuse ou déception amère : quel est l'avenir des produits dérivés de la mangue au Burkina Faso et au mali, Institut Royal des tropiques 143pP.
- [4] **PAFASP 2011 :** Projet de Partenariat Public Privé. 10 p.
- [5] <http://storage.canalblog.com/21/46/206291/22693698.pdf> (11/12/2013).
- [6] <http://www.pythomamia.com/manguier.htm> (22/10/2013).
- [7] [www.lefaso.net /spip.php?article30444\(30/01/2009\)](http://www.lefaso.net/spip.php?article30444(30/01/2009)) : 27/09/2013.
- [8] **PAFASP 2011 :** Cartographie pilote des vergers de manguiers au Burkina Faso. Rapport définitif 198p.
- [9] **Michel A, Christophe. R 2005 :** Guide de l'entreprise de séchage de mangue au Burkina Faso 121p.
- [10] **Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest juin 2013 :** Renforcement des capacités des unités de transformation de mangues, formation des formateurs, 81p.
- [11] **Millogo. D. P.2012 :** Caractérisation physico-chimique de la mangue séchée biologique (variété Amélie). Mémoire de fin de Cycle, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 54p.
- [12] **Jean-François. R 1995:** Séchage des produits alimentaires (collection le point sur les Guides techniques) 344p.
- [13] **Norme française NF ISO 7954/1988 :** Direction générale pour le dénombrement de levures et moisissures, technique par le comptage des colonies à 25°C.
- [14] **Norme Française NF ISO 4832/2006 :** Microbiologie des aliments méthode horizontale pour le dénombrement des coliformes fécaux, technique de comptage des colonies à 44°C.