



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE
FONDAMENTALE ET APPLIQUEE

LABASAN

Laboratoire de Biochimie
Appliquée aux Sciences de
l'Alimentation et à la Nutrition

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETUDES
APPROFONDIES DE SCIENCES DE LA VIE
Option : BIOCHIMIE APPLIQUEE AUX SCIENCES DE L'ALIMENTATION
ET A LA NUTRITION

**ETUDE DES MODALITES DE SECHAGE DE FRUITS ET LEGUMES
AU MOYEN DU SECHOIR SOLAIRE BOARA;
QUALITES NUTRITIONNELLES ET MICROBIOLOGIQUES DES
PRODUITS OBTENUS**

Présenté par : HARISOAMAHEFA Hanitriniony

Maître-ès-sciences

Soutenu publiquement le 31 Juillet 2013

Président du Jury : Professeur RAZANAMPARANY Louissette

Examineurs : Docteur RANDRIANARIVO Ranjana

Docteur TSIRINIRINDRAVO Herisetra Lalaina

Encadreur : Professeur RALISON Charlotte

Co- encadreur : Docteur RAZAFINDRATOVO Lalao Valérie



«Ny saotra sy ny voninahitra sy ny fahendrena

sy ny fisaorana sy ny haja sy ny hery ary ny faherezana

Ho an' Andriamanitsika mandrakizay mandrakizay. Amena.» Apo.7, 12

Remerciements

Le présent travail a été réalisé au sein du :

- Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'alimentation et à la Nutrition (LABASAN)
- Laboratoire de Biologie moléculaire du FOFIFA/CIRAD Ambatobe

Nous remercions particulièrement :

- **Monsieur Le Professeur JEANNODA Victor**, Responsable de la formation Doctorale de la Faculté des Sciences de nous avoir accordé l'autorisation de soutenir publiquement ce travail ;
- **Mesdames Le Professeur RALISON Charlotte et Le Docteur RAZAFINDRATOVO Lalao Valérie** qui nous ont proposé ce sujet avec entière confiance, n'ont pas ménagé leurs efforts dans notre encadrement, nous ont manifesté toute leur compréhension, leur soutien moral et matériel et nous ont supporté avec bienveillance et patience tout au long de notre stage. De plus, les conseils qu'elles nous ont procurés, ont toujours été clairs et enrichissants, nous facilitant grandement la tâche et nous permettant la finalisation de ce mémoire ;
- **Madame Le Professeur RAZANAMPARANY Louissette** qui malgré ses nombreuses obligations, nous a fait l'insigne honneur de présider le jury de notre soutenance ;
- **Messieurs Le Docteur RANDRIANARIVO Ranjana et Le Docteur TSIRINIRINDRAVO Herisetra Lalaina** qui n'ont pas épargné leur précieux temps et qui ont aimablement accepté de juger avec rigueur ce mémoire. Nous sommes très reconnaissants pour leurs conseils et suggestions lors de la réalisation du manuscrit ;

Notre reconnaissance est adressée à :

- Madame Cécile BIDAUD et à travers elle **L'Association Boara**, pour avoir financé cette étude avec confiance et mettre à notre disposition le séchoir solaire ;

- Les responsables du laboratoire de Biologie moléculaire du FOFIFA/CIRAD Ambatobe pour avoir accepté de nous faire bénéficier de leurs locaux et équipements, je remercie particulièrement **Le Docteur Jean Michel LEONG** pour sa disponibilité ;
- Les étudiants qui nous ont aidé au laboratoire pendant la phase d'initiation : Nirina et Tahiana ;
- Tous ceux qui ont participé aux évaluations sensorielles ;

Sans oublier :

- Ma collègue Sitraka, merci pour tous les agréables moments passés ensemble ;
- Les étudiants de ma promotion surtout Fy et Onja pour leur présence, pour tous les moments partagés et ceux à venir....Merci
- Mes parents, Liva, Lala, Anja, Sariaka, Lanja et Kessy qui m'ont gratifié de leur amour et fourni les motivations qui ont permis l'aboutissement de ce travail. Je vous dédie ce travail
- Toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Sommaire

Liste des figures.	viii
Liste des tableaux.....	x
Liste des abréviations.....	xii
Glossaire.....	xiii

INTRODUCTION 1

PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. DEFINITION ET CLASSIFICATION DES FRUITS ET LEGUMES.....	3
1.1. Définition	3
1.2. Classification.....	3
II. FILIERE FRUITS ET LEGUMES A MADAGASCAR.....	4
2.1. Mode de consommation des fruits et légumes à Madagascar	4
2.2. Production de quelques fruits et légumes à Madagascar.....	4
2.3. Exportation des fruits et légumes à Madagascar.....	5
III. PRINCIPAUX INTERETS NUTRITIONNELS DES FRUITS ET LEGUMES.....	7
3.1. Les glucides.....	7
3.1.1. Les oses.....	7
3.1.2. Les diholosides	8
3.1.3. Les polysaccharides	8
3.2. Les caroténoïdes	9
3.2.1. Structure des caroténoïdes.....	9
3.2.2. Rôles des caroténoïdes.....	10
3.2.3. Sources des caroténoïdes	10
3.3. La vitamine C	11
3.3.1. Structure de l'acide ascorbique.....	11
3.3.2. Rôles de l'acide ascorbique	11
3.3.3. Sources de l'acide ascorbique.....	12
3.4. Les antioxydants.....	12

3.4.1. L'oxydation	12
3.4.2. Les radicaux libres.....	12
3.4.3. Le stress oxydatif.....	13
3.4.4. Les principaux antioxydants des fruits et légumes	14
IV. <i>PHYSIOLOGIE DES FRUITS ET LEGUMES</i>.....	15
4.1. Mécanismes de maturation des fruits	15
4.2. Dégradation post-récolte des fruits et légumes	16
V. <i>CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES</i>	17
5.1. Les différentes méthodes de conservation des fruits et légumes	17
5.2. Conservation des fruits et légumes pratiquée à Madagascar.....	18
5.2.1. Séchage solaire	18
5.2.1.1. Techniques traditionnelles de séchage.....	19
5.2.1.2. Techniques améliorées de séchage	19
5.2.1.3. Qualités de la matière première à sécher	20
5.2.2. Paramètres à prendre en compte lors du séchage	20
5.2.2.1. La température et l'humidité relative de l'air.....	20
5.2.2.2. La durée de séchage.....	21
5.2.2.3. La teneur en eau des produits.....	21
5.2.2.4. La teneur en eau finale.....	21
5.2.3. Intérêts du séchage solaire des fruits et légumes	22
<i>DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES</i>	
<i>I. DESCRIPTION DU SECHOIR SOLAIRE BOARA.....</i>	24
<i>II. DESCRIPTION DES MATERIELS VEGETAUX ETUDIES.....</i>	27
2.1. La papaye	27
2.1.1. Systématique.....	27
2.1.2. Description.....	27
2.2. La goyave	28
2.2.1. Systématique.....	28
2.2.2. Description.....	28
2.3. L'ananas	29
2.3.1. Systématique.....	29

2.3.2. Description.....	29
2.4. L'oignon	30
2.4.1. Systématique.....	30
2.4.2. Description.....	30
III. PREPARATION DES ECHANTILLONS AVANT ANALYSES.....	31
3.1. Échantillonnage	31
3.2. Préparation des échantillons avant séchage.....	31
3.2.1. Triage.....	31
3.2.2. Pesage	32
3.2.3. Lavage	32
3.2.4. Egouttage	32
3.2.5. Epluchage / Parage	32
3.2.6. Pesage	32
3.2.7. Découpage	32
3.3. Séchage.....	34
3.3.1. Détermination de la teneur en eau	34
3.3.1.1. Principe	34
3.3.1.2. Mode opératoire	35
3.3.1.3. Mode de calcul	35
3.4. Détermination du rendement de séchage.....	35
3.5. Diagramme de fabrication	36
3.6. Conditionnement	36
IV. ANALYSES NUTRITIONNELLES.....	37
4.1. Détermination de la teneur en sucres réducteurs.....	37
4.1.1. Principe	37
4.1.2. Mode opératoire.....	37
4.1.3. Mode de calcul.....	38
4.2. Dosage de l'acidité titrable.....	38
4.2.1. Principe	38
4.2.2. Mode opératoire.....	38
4.2.3. Mode de calcul.....	39

4.3. Détermination de la teneur en caroténoïdes	39
4.3.1. Principe	39
4.3.2. Mode opératoire.....	39
4.4. Détermination de la teneur vitamine C	42
4.4.1. Principe	42
4.4.2. Mode opératoire.....	42
4.4.3. Mode de calcul.....	44
V. MESURE DE LA CAPACITE ANTIOXYDANTE TOTALE PAR LE RADICAL DPPH	46
5.1. Principe.....	46
5.2. Préparation de la solution de DPPH, vérification de sa stabilité et de la linéarité de son tracé	46
5.3. Préparation de la solution de Trolox	46
5.4. Mesure directe de la capacité antioxydante sur les échantillons.....	47
5.5. Mode de calcul	47
VI. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES PRODUITS SECHES PAR LE SECHOIR BOARA.....	50
6.1. Echantillonnage	50
6.2. Préparation de la suspension mère	50
6.3. Préparation des dilutions (NF V08-010)	50
6.4. Dénombrement des germes d'altérations	50
<u>6.4.1. Dénombrement des Flores Aérobies Mésophiles Totales (NF V 08-060).....</u>	<u>50</u>
6.4.1.1. Principe	51
6.4.1.2. Mode opératoire	51
6.4.2. Dénombrement des levures et moisissures (NFV08-059).....	51
6.5. Dénombrement des germes indicateurs de contaminations fécales et humaines : <i>Escherichia coli</i> (V 08 053)	51
6.5.1. Principe	52
6.5.2. Mode opératoire.....	52
6.6. Recherche des germes pathogènes : <i>Salmonella</i> (V 08-052)	52
6.6.1. Pré-enrichissement sur RAPPAPORT-VASSILIADIS SOJA	52

6.6.2. Culture sur HEKTOEN ENTERIC AGAR	52
6.5.2.1. Principe	52
6.5.2.2. Mode opératoire	52
6.7. Mode de calcul pour le cas d'un dénombrement (NF ISO 7218)	53
VII. ANALYSE SENSORIELLE	53
TROISIEME PARTIE RESULTATS ET DISCUSSIONS	
I. CARACTERISTIQUES DU SECHAGE.....	54
1.1. Cinétique de séchage	54
1.2. Rendements de transformation pour chaque échantillon	58
II. CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES	58
2.1. Teneur en sucres réducteurs	58
2.2. Acidité titrable	59
2.3. Teneur en caroténoïdes.....	60
2.4. Teneur en vitamine C	61
III. CAPACITE ANTIOXYDANTE.....	62
3.1. Capacité antioxydante des échantillons.....	62
3.2. Cinétique de séchage des échantillons séchés avec le séchoir Boara.....	64
IV. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES	68
V. ANALYSE SENSORIELLE.....	69

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

ABSTRACT

RESUME

Liste des figures

Figure 1 : Structure chimique du glucose (à gauche) et du fructose (à droite).....	7
Figure 2 : Profil sucrant des principaux sucres des fruits.....	8
Figure 3 : Structure du β -carotène (C ₄₀ H ₅₆).....	10
Figure 4 : Structure du lycopène (C ₄₀ H ₅₆).....	10
Figure 5 : Structure chimique de la vitamine C et de ses dérivés.....	11
Figure 6 : Principales réactions de dégradations des aliments en fonction de l'Aw.....	22
Figure 7 : Séchoir solaire Boara.....	24
Figure 8 : Boîte de séchage.....	25
Figure 9 : Claie.....	25
Figure 10 : Capteur solaire.....	26
Figure 11 : <i>Carica papaya</i>	27
Figure 12 : <i>Psidium guajava</i>	28
Figure 13 : <i>Ananas comosus</i>	29
Figure 14 : <i>Allium cepa</i>	30
Figure 15 : Fruits et légumes étudiés.....	31
Figure 16 : Pulpe de papaye coupée en tranche fine.....	33
Figure 17 : Préparation de purée de goyave.....	33
Figure 18 : Disposition des produits sur la claie (à gauche) et sur la natte (à droite).....	34
Figure 19 : Diagramme général de fabrication de fruits et légumes séchés.....	36

<u>Figure 20</u> : Courbe étalon de la vitamine A $DO = f [C]$	40
<u>Figure 21</u> : Réaction de réduction du 2,6-DCPIP.....	42
<u>Figure 22</u> : Réaction de réduction de DPPH.....	46
<u>Figure 23</u> : Exemple de courbe étalon de Trolox : $Abs (517nm) = f ([Trolox])$	48
<u>Figure 24</u> : Courbes de la cinétique de séchage des échantillons en fonction du temps de séchage.....	56
<u>Figure 25</u> : Capacité antioxydante des échantillons frais et séchés ($\mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$).....	63
<u>Figure 26</u> : Courbes de l'humidité et de la capacité antioxydante des échantillons séchés par le séchoir solaire Boara en fonction du temps d'exposition.....	65
<u>Figure 27</u> : Degré d'appréciation du produit séché.....	70

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Consommation des fruits et légumes à Madagascar.....	4
<u>Tableau 2</u> : Production en tonnes de quelques fruits en 2005.....	5
<u>Tableau 3</u> : Production en tonnes de quelques légumes en 2004.....	5
<u>Tableau 4</u> : Evolution de l'exportation en tonnes de quelques fruits et légumes entre l'année 2005 et l'année 2008.....	6
<u>Tableau 5</u> : Gamme étalon de la vitamine A.....	40
<u>Tableau 6</u> : Exemple d'absorbances des solutions filles de trolox.....	48
<u>Tableau 7</u> : Température moyenne dans le séchoir en fonction du temps.....	54
<u>Tableau 8</u> : Humidité exprimée en g pour 100g de matière brute (H%) et matière sèche en g/100g de matière brute (MS%) des échantillons en fonction du temps de séchage.....	55
<u>Tableau 9</u> : Comparaison de l'humidité (g pour 100g de matière brute), temps de séchage (h) des échantillons séchés par le séchoir Boara et de celle des échantillons séchés par le séchage solaire à l'air libre.....	57
<u>Tableau 10</u> : Rendements (%) pour chaque échantillon.....	58
<u>Tableau 11</u> : Teneur en sucres réducteurs des échantillons en g pour 100g de matière brute.....	59
<u>Tableau 12</u> : Acidité titrable des échantillons frais et séchés, exprimées en milliéquivalent, pour 100g de matière brute.....	59
<u>Tableau 13</u> : Teneur en caroténoïdes des échantillons ($\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS).....	60
<u>Tableau 14</u> : Teneur en vitamine C des échantillons ($\text{mg}/100\text{g}$ de MS).....	61

<u>Tableau 15</u> : Comparaison de la CAO ($\mu\text{mol Trolox Equivalent / g MS}$) des échantillons séchés par les deux modes de séchage (séchage solaire à l'air libre et séchage par le séchoir Boara).....	62
<u>Tableau 16</u> : Humidité et capacité antioxydante des échantillons séchés par le séchoir solaire Boara en fonction du temps d'exposition.....	64
<u>Tableau 17</u> : Perte en CAO des échantillons séchés par le séchoir Boara au cours du stockage.....	66
<u>Tableau 18</u> : Récapitulation des résultats des analyses nutritionnelles des échantillons frais et séchés par le séchoir Boara.....	67
<u>Tableau 19</u> : Concentrations en microorganismes des produits séchés analysés.....	68
<u>Tableau 20</u> : Moyenne des notes de degré d'appréciation des produits séchés.....	69
<u>Tableau 21</u> : Appréciation globale des produits analysés en pourcentage de sujets.....	69

Liste des abréviations

ACSQDA	: Agence de Contrôle Sanitaire et de Qualité des Denrées Alimentaires
AFNOR	: Association Française de Normalisation
CITE	: Centre d'Information Technique et Economique
CSB	: Centre de Santé de Base
CTA	: Centre Technique de coopération Agricole et rurale.
EDSMD	: Enquête Démographique et de Santé de Madagascar
EPM	: Enquête prioritaire auprès des ménages
FAO	: Food and Agriculture Organization
INSTAT	: Institut National de Statistique
LABASAN	: Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition
MAEP	: Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé

Glossaire

Cancer : Maladie caractérisée par une prolifération cellulaire anormalement importante au sein d'un tissu normal de l'organisme menaçant la survie de cette dernière. Ces cellules proviennent toutes d'un même clone, une cellule initiatrice du cancer qui a une propriété de se diviser indéfiniment.

Consommateur naïf : Sujet ne répondant à aucun critère particulier.

Goût : Sensation reçue par les cellules gustatives de la bouche

Hédonique : Qualifie une appréciation affective que portent des consommateurs sur un produit, en se rapprochant à son caractère plaisant ou déplaisant, par leurs organes des sens, dans un contexte déterminé et à un moment donné.

Note : Valeur attribuée à des réponses particulières à une question du test où il y a une relation mathématique définie et démontrée entre les notes.

Odeur : Sensation perçue lorsque les molécules odorantes entrent par le nez et viennent interagir avec les récepteurs sensoriels de l'épithélium olfactif.

Organoleptique : Qualifie une propriété d'un produit perceptible par les organes de sens.

Scorbut : Maladie due à une carence en vitamine C, caractérisée notamment par des hémorragies, la chute des dents et un affaiblissement général et progressif.

Texture : Ensemble des propriétés de rhéologie et de structures d'un produit alimentaire perceptible par les mécanorécepteurs visuels et auditifs.

INTRODUCTION

La consommation des fruits et légumes en grande quantité apporte des substances organiques essentielles, des vitamines, des sels minéraux et autres oligo-éléments, participant ainsi à l'équilibre des rations alimentaires des populations (SILOU, 2003).

Madagascar, grâce à ses potentialités agro-climatiques, cultive la plupart des espèces fruitières et légumières tant tropicales que tempérées. La récolte des fruits et légumes est une activité saisonnière et ces denrées sont très périssables. Ils sont en surplus pendant la saison de la récolte et non disponibles le restant de l'année. Cette situation engendre des pertes importantes pour les producteurs. L'étroitesse du marché local et l'insuffisance d'infrastructure routière accentuent les difficultés concernant la disponibilité des produits dans les marchés locaux ainsi que l'évacuation des produits agricoles.

Dans les pays en voie de développement, le stockage et la transformation des produits alimentaires ont une importance considérable, d'une part, en raison du rôle économique et social qu'ils revêtent en milieu rural et urbain où ces activités constituent une source de revenus non négligeables, d'autre part, en raison du rôle essentiel que ces activités jouent, aux plans nutritionnel et sanitaire, dans la stratégie nationale d'autosuffisance alimentaire (RABENIARIFENO, 2010).

Parmi les principales opérations de transformation, la déshydratation a toujours su occuper une place particulière. Elle se distingue par la simplicité de sa réalisation, souvent plus près de la zone de récolte, et de la facilité et de la durée importante de stockage qu'elle engendre. Le séchage solaire, par exposition directe au soleil, sur des nattes ou sur des toits des habitations, est la méthode traditionnellement utilisée à Madagascar. Il est la plupart du temps utilisé pour conserver les graines de céréales et les graines de légumineuses. Le séchage des fruits et tubercules s'est développé ces dernières années à Madagascar, celui des légumes est moins courant et reste à explorer.

Depuis 2008, le LABASAN s'intéresse à différents procédés de séchage, particulièrement ceux appliqués aux légumes feuilles : séchage solaire, étuvage, lyophilisation. L'« Etude des modalités de séchage des fruits et légumes au moyen du séchoir solaire Boara et des qualités nutritionnelle et microbiologique des produits séchés obtenus », résultat de la collaboration entre l'association Boara impliquée dans le développement et le LABASAN, fait

partie du même thème de recherche.

L'étude se propose d'identifier les avantages du séchoir solaire par rapport au séchage solaire traditionnel, tant du point de vue de la facilité d'utilisation, du gain de temps, ainsi que de la préservation de quelques caractéristiques nutritionnelles. Elle comportera quatre parties essentielles : une première partie sur une revue bibliographique présentant les caractéristiques des fruits et légumes ainsi que ses différents modes de conservation et de séchage. La seconde partie concerne les matériels et méthodes suivis des résultats et discussions en troisième partie, et une dernière partie sur la conclusion générale et perspectives.

PREMIERE PARTIE :
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. DEFINITION ET CLASSIFICATION DES FRUITS ET LEGUMES

1.1. Définition

Les fruits et légumes constituent deux groupes d'aliments végétaux dont la distinction est essentiellement d'ordre gastronomique. Du point de vue botanique, les fruits sont les structures de la plante qui, au stade de la maturité, contiennent des graines. Les légumes quant à eux, constituent plusieurs types de structures végétales (NOUT et al., 2003) dont plusieurs sont botaniquement des fruits.

Les fruits et légumes sont riches en eau et leur teneur en constituants chimiques varient considérablement au cours de la croissance, de la maturation et de l'entreposage. On estime généralement que les caractères communs aux fruits sont : la richesse en sucre, l'acidité relativement élevée, le parfum prononcé et le fait qu'ils sont souvent consommés crus (NOUT et al., 2003). Par ailleurs, les fruits sont aussi réputés comme aliments savoureux, riches en sels minéraux et en vitamines, particulièrement la vitamine C (CTA, 2008).

Généralement, les légumes contiennent plus d'autres nutriments notamment de protéines et de sels minéraux et sont caractérisés par une faible acidité. (CTA, 2008).

1.2. Classification (MAEP / UPSDR, 2004)

Selon le climat dans la région où ils sont cultivés, les fruits peuvent être classés en :

- **Fruits tropicaux et semi-tropicaux**: bananes, litchis, mangues, anacarde, noix de coco, agrumes, ananas, papaye...

- **Fruits tempérés** : raisin de table, pomme et poire, pêche et prune, fraise, melons et pastèques...

Selon leur localisation dans la plante, les légumes frais et verts peuvent être classés en :

- **légumes-fruits**, consommés en tant que légumes, mais constituant le fruit au sens botanique de la plante : courgette, poivron, tomate, etc. ;

- **légumes racines** : betterave, carotte ;

- **légumes feuilles** regroupent les salades et diverses sortes de légumes tropicaux dénommés brèdes ;

- **inflorescences** ou les fleurs en boutons comme le chou-fleur, le brocoli ;

- *tubercules* : igname, patate douce, pomme de terre ;
- *bulbes* comme l'ail et l'oignon ;
- *fines herbes*, utilisées comme condiments tel le persil ;
- *gousses* : haricot vert, petit pois ;
- *graines* résultant des gousses et aussi les graines issus des légumineuses : haricots, voandzou ;
- *germes* : pousses séparées des téguments de la graine le jour après la germination comme le germe de blé, le germe de soja, le germe de betterave.

II. FILIERE FRUITS ET LEGUMES A MADAGASCAR

2.1. Mode de consommation des fruits et légumes à Madagascar

Selon l'enquête prioritaire auprès des ménages (EPM) en 2002, la consommation moyenne en fruits et légumes varie d'une région à l'autre.

Tableau 1 : Consommation des fruits et légumes à Madagascar

Nom et date de l'enquête (Références)	Faritany	Consommation moyenne en fruits et légumes (g/personne/jour)
EPM 2002 INSTAT, 2003	National	164
	Antananarivo	103
	Fianarantsoa	146
	Toamasina	256
	Mahajanga	188
	Toliara	180
	Antsiranana	270

Source : RALISON C. et al., 2005

Les fruits et légumes sont relativement peu consommés dans la région d'Antananarivo. La ration moyenne, 103g/personne/jour, est la plus faible du pays tandis que celle d'Antsiranana enregistre la plus élevée (270g/personne/jour) suivi de celle de Toamasina (256g/personne/jour). La moyenne nationale est de 164g/personne/jour.

2.2. Production de quelques fruits et légumes à Madagascar

La production de quelques fruits et légumes à Madagascar est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Production en tonnes de quelques fruits en 2005

Fruits	Production (en tonnes)
Ananas	50 000 à 60 000
Papaye	700 à 1 200
Mangues	150 000 à 200 000
Grenadelles	300 à 400
Pomme	6 500
Raisin	10 400
Poire	1 600

Sources : CITE, 2005 (MAEP / Stat Agri)

Les fruits tropicaux occupent une place importante à Madagascar. En fait, selon le Ministère de l'Agriculture, la production d'ananas et de mangue représente respectivement 50 000 à 60 000 tonnes et 150 000 à 200 000 tonnes en 2005 vs 6 500 tonnes et 1 600 tonnes seulement pour la pomme et la poire.

Les données sur la production en 2004 sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Production en tonnes de quelques légumes en 2004

Légumes	Production (tonnes)
Oignon	5 800
Tomate	22 000
Carotte	5 200
Chou	13 000
Chou-fleur	620
Concombre/cornichon	950
Haricot vert	2 100
Petits pois	580

Source : MAEP / UPSDR, 2004

Les principales espèces de légumes d'importance économique sont : les tomates, les oignons, les haricots secs, les choux et les carottes ainsi que les haricots verts extra-fins et les pois. En 2004, selon le MAEP, la production de tomate est de 22 000 tonnes,

2.3. Exportation des fruits et légumes à Madagascar

Certains fruits et légumes du pays sont exportés à l'état frais, ou après conditionnement et

traitement. Les données existantes sur l'exportation fruits et légumes sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 4: Evolution de l'exportation en tonnes de quelques fruits et légumes entre l'année 2005 et l'année 2008

Produits	2005	2006	2007	2008
Noix de coco	127	1 041	2 322	1 554
Noix de cajous	1 655	1 637	1 479	367
Autres fruits à coques	29	22	3	18
Litchis	3 566	845	186	-
Ananas	13	0,08	20	0,20
Agrume	67	0,7	24	17
Banane	19	53	59	104
Pomme fraîche	-	-	0,3	3
Autres fruits	52	148	290	82
Oignon et échalote	2 551	2 535	2 053	1 596
Poireau	-	0,2	1	9
Tomate	13	58	82	90
Carotte	34	5	38	15
Légume mélange	2	21	109	74
Autres légumes séchés	885	661	1 992	3 008
Concombre/cornichon	312	96	-	-
Haricot frais	1 574	2 007	862	59
Haricot sec	936	1 061	819	1 530
Petit rouge	81	52	77	158
Autres haricots	625	813	1 811	3 577
Racine / tubercule	6	5	4	181
Patate douce	77	69	72	175

Source : INSTAT, 2005 à 2008

Les exportations de certains fruits et légumes à Madagascar sont très irrégulières. C'est l'exemple des agrumes avec 67 tonnes en 2005 ; 0,7 tonnes en 2006 ; 24 tonnes en 2007 et 17 tonnes en 2008). On constate une hausse des quantités exportées entre l'année 2005 et l'année 2008 pour la banane, le poireau, la tomate, les légumes séchés et une baisse importante de celles des haricots frais avec 1 574 tonnes en 2005 et 59 tonnes en 2008.

III. PRINCIPAUX INTERETS NUTRITIONNELS DES FRUITS ET LEGUMES

Les fruits et légumes sont des aliments caractérisés par leur faible apport calorique, du fait de leur richesse en eau et leur faible teneur en lipides, et leur fort contenu en fibres, vitamines et micronutriments divers. Les teneurs de tous ces composés varient en fonction de nombreux paramètres tels que la variété ou le stade physiologique du végétal, le climat (lumière, température), les pratiques culturales (fertilisation, irrigation), les conditions de stockage post-récolte et les pratiques culinaires, ce qui rend difficile l'évaluation des apports réels (AMIOT-CARLIN et al., 2007).

3.1. Les glucides

Les glucides regroupent certaines substances naturelles qui ont une saveur sucrée. Ils sont aussi appelés hydrates de carbones en raison de leur formule élémentaire $C_n(H_2O)_n$, sucres ou encore saccharides (WEINMAN et al., 2004). Dans le régime alimentaire de l'homme, on peut distinguer : les oses, les diholosides et les polysaccharides (COMELADE, 1990).

3.1.1. Les oses

Les oses ou monosaccharides sont des sucres simples. Les plus courants sont le glucose, le fructose ; leurs structures chimiques sont représentées dans la figure suivante :

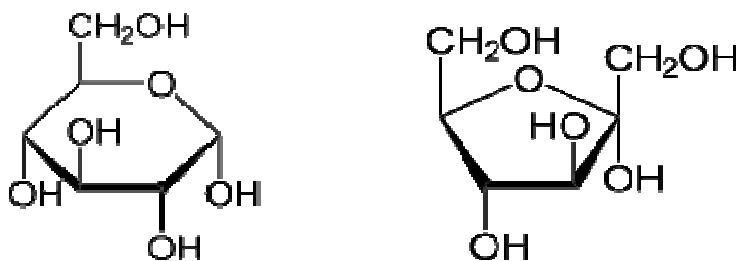


Figure 1 : Structure chimique du glucose (à gauche) et du fructose (à droite)

L'expression sucre réducteur est attribuée aux oses qui sont capables de réduire des métaux, grâce à la présence de fonction aldéhyde ou cétone libre. Leurs principales sources sont les fruits (bananes, agrumes). L'apport calorique des sucres simples ne doit pas dépasser 10 à 15% de l'apport énergétique total.

3.1.2. Les diholosides

Ce sont des molécules constituées par 2 molécules d'oses liées par une liaison osidique (ETOURNAUD, 2007). Selon la façon dont sont liées les 2 molécules d'oses constitutives, on distingue :

- Les diholosides réducteurs : La fonction semi-acétalique du premier ose est engagée dans la liaison osidique avec un hydroxyle alcoolique du deuxième ose. Le caractère réducteur du premier ose a disparu mais celui du deuxième subsiste, ce qui confère un caractère réducteur à la molécule de diholoside (WEIL, 1994). On peut citer le maltose, un produit intermédiaire de l'hydrolyse de l'amidon.

- Les diholosides non réducteurs: Les deux oses sont liés par leur fonction semi-acétalique, le diholoside n'a pas de pouvoir réducteur (WEIL, 1994). Le saccharose est le plus répandu des diholosides non réducteurs. On le trouve dans de nombreuses plantes, et il est particulièrement abondant dans la betterave.

Le pouvoir sucrant représente la capacité d'une substance à générer une perception sucrée. C'est une notion complexe et son usage doit être relativisé. La perception sucrée varie d'un sucre à l'autre : chaque solution sucrante a son propre profil sensoriel, défini selon plusieurs critères tels que le goût, l'intensité, la vitesse d'apparition et la rémanence (persistance en bouche) (AURELIE, 2011).

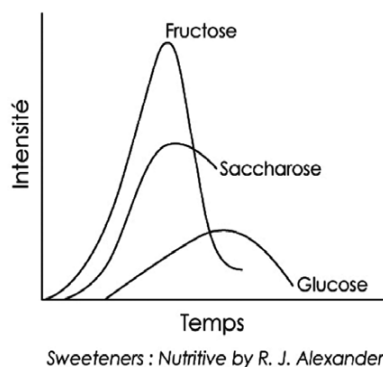


Figure 2 : Profil sucrant des principaux sucres des fruits (ALEXANDER, 1997)

3.1.3. Les polysaccharides

Ce sont les sucres constitués de nombreuses molécules d'oses (MALEWIAK et al., 1992).

Citons l'amidon et les fibres alimentaires.

L'amidon : C'est la forme de réserves glucidiques chez les végétaux notamment dans les graines de céréales et de légumineuses, dans les racines et les tubercules, également dans certains fruits (FAO, 1970). Il est constitué de 2 types de polymères : l'amylose, constitué d'une chaîne linéaire de glucose, avec la liaison α (1- 4) et l'amylopectine qui est une ramification par la liaison α (1- 6) sur des chaînes linéaires.

Les fibres alimentaires : ce sont les substances constitutives des parois cellulaires des végétaux à savoir : la cellulose, l'hémicellulose, les pectines, les lignines, les gommages...Elles ne sont pas hydrolysables par les enzymes présents dans le tube digestif de l'homme (WEIL, 1995) et ne sont pas assimilables (DAVID et al., 1985). Les pectines ont un rôle important dans les propriétés physico-chimiques de la paroi cellulaire des végétaux, notamment dans la rétention de l'eau (CUN et LESGARDS, 1993).

3.2. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes constituent le groupe le plus répandu parmi tous les pigments naturels et sont responsables des couleurs appétissantes de nombreux fruits et légumes (DONALD et MARTIN, 2002).

L'organisme peut transformer certains caroténoïdes provenant des végétaux en vitamine A. Le bêta-carotène est le précurseur le plus puissant de la vitamine A (NDWULA et al., 2004).

3.2.1. Structure des caroténoïdes

Leur structure chimique, présentée sur les figures 3 et 4, est essentiellement composée d'enchaînement d'unités isopréniques et présente généralement en bout de chaîne un ou deux noyaux cycliques terminaux d' α - ionone et ou de β -ionone, substitués ou non par diverses fonctions organiques (fonction alcool, aldéhyde, cétone ou acide). Les caroténoïdes possèdent un système de doubles liaisons conjuguées. Ce système est responsable non seulement de la couleur de ces substances qui varie du jaune au rouge foncé, mais aussi responsable de leur stabilité à l'oxydation (BIENG, 2005). Seuls les végétaux et les microorganismes sont capables de synthétiser les caroténoïdes. Ils s'accumulent dans les chloroplastes.

Structures de quelques caroténoïdes courants (GERVAISE, 2004).

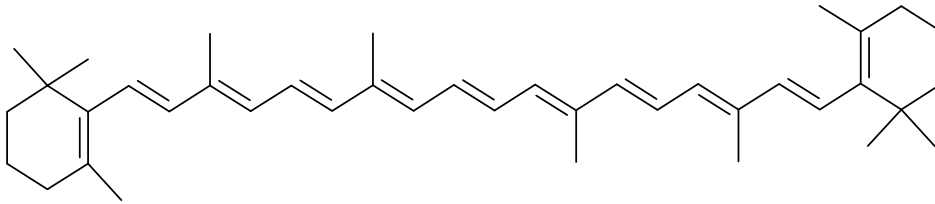


Figure 3 : Structure du β -carotène ($C_{40}H_{56}$)

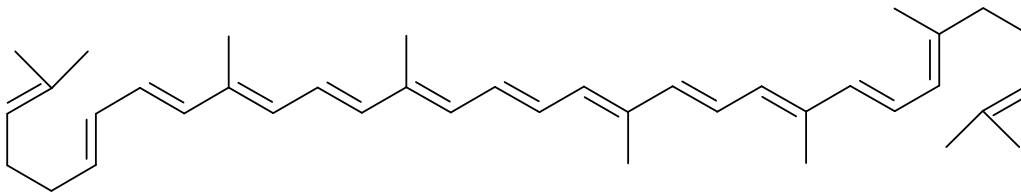


Figure 4 : Structure du lycopène ($C_{40}H_{56}$)

Le β -carotène est un tétraterpène, possédant une longue chaîne aliphatique avec neuf doubles liaisons. Pour cette raison, son absorption de la lumière se situe dans le domaine du visible, c'est donc une substance très colorée qui donne leur couleur à certains végétaux.

Le lycopène renferme 40 atomes de carbone et 56 atomes d'hydrogène pour 11 double-liaisons covalentes carbone-carbone conjuguées et deux non-conjuguées. Du fait de cette structure, il possède une coloration rouge. En effet, le lycopène absorbe la plupart du spectre lumineux, seul le rouge reste visible (CARSENTI et MICHEL, 2009).

3.2.2. Rôles des caroténoïdes

Outre leur fonction de provitamine A, les caroténoïdes possèdent des propriétés antioxydants et antiradicalaires qui réduisent les risques de cancer, de maladies cardiovasculaires, cataracte, maladies du système nerveux central (SIMPSON et al., 1987 ; CHALCHAT, 1997 ; BIENG, 2005).

D'après BRUNETON (1993), les caroténoïdes servent de colorants naturels non toxiques dans les industries agroalimentaires. Le β -carotène est utilisé comme complément vitaminé.

3.2.3. Sources des caroténoïdes

Ce sont des antioxydants liposolubles que l'on retrouve dans les fruits et légumes à chair orange comme les mangues, les papayes, les carottes ainsi que les feuilles vertes (DONALD et

MARTIN, 2002), le brocoli, la tomate, la patate douce.

L'apport journalier recommandé en vitamine A est estimé à 1000 µg de rétinol pour les adultes ou 400 µg de rétinol pour les enfants de moins de 2 ans (FAO/WHO, 2002).

3.3. La vitamine C

L'acide ascorbique (vitamine C) est une vitamine hydrosoluble. Elle prend la forme d'un cristal ou d'une poudre blanche ou légèrement jaune avec un goût légèrement acide. La vitamine C est relativement stable à l'air sec et très sensible en oxydation en solution aqueuse, surtout en présence d'alcalin, de cuivre et de fer (MADET, 2004).

3.3.1. Structure de l'acide ascorbique

De formule chimique $C_6H_8O_6$, présentée sur la figure 5, l'acide ascorbique possède une fonction ène-diol, deux fonctions alcool et une fonction lactone qui unit les carbones C1 et C4. Sa forme oxydée est l'acide déhydroascorbique, $C_6H_6O_6$. Elle est détruite par la cuisson des aliments.

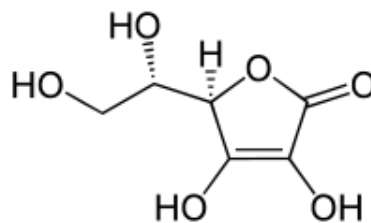


Figure 5 : Structure chimique de la vitamine C

3.3.2. Rôles de l'acide ascorbique

Plusieurs vertus sont attribuées à la vitamine C : diminution du risque cardiovasculaire, diminution de l'athérogénèse en s'opposant au stress oxydant, résistances aux infections bactériennes et virales.

La carence en acide ascorbique provoque le scorbut. Les structures collagéniques sont surtout affectées et des lésions se produisent dans les os et les vaisseaux sanguins. L'administration d'acide ascorbique fait complètement disparaître les symptômes de carence (BELLEVILLE, 2001).

L'acide ascorbique est utilisé dans l'industrie agroalimentaire comme un antioxygène

(RENARD, 2005). Sa présence dans les aliments est signalée par le code E300.

La dose protectrice quotidienne de vitamine C chez les adultes est de 70 à 150 mg. Pour le traitement du scorbut, on recommande des doses journalières de 300 mg à 1 g (BELLEVILLE, 2001).

3.3.3. Sources de l'acide ascorbique

Les agrumes, les baies (cassis), les fraises, l'ananas et la goyave, en sont les fruits les plus riches. Les légumes riches en vitamines C sont les tomates, les épinards, le cresson, le chou, les poivrons verts et les navets (EITENMILLER et al., 2008)

3.4. *Les antioxydants*

3.4.1. L'oxydation

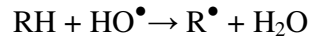
Toutes réactions qui se traduisent par une perte d'électron sont englobées sous le même nom d'oxydation. Les électrons perdus dans les processus d'oxydation ne peuvent subsister à l'état libre en solution : ils doivent être directement cédés soit, dans certains cas particuliers, à une autre électrode, soit, le plus souvent, à d'autres substances qui sont aussi réduites. Pratiquement, un processus d'oxydation est toujours couplé avec un processus de réduction (TONNELAT, 1968).

3.4.2. Les radicaux libres

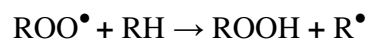
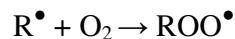
Les radicaux libres sont des espèces chimiques, atomiques ou moléculaires, contenant un ou plusieurs électron(s) libre(s) non apparié(s) sur leurs couches externes. Ces radicaux libres sont dotés de propriétés oxydantes qui les amènent à réagir avec de nombreuses molécules. Ils ont pour site privilégié des constituants cellulaires essentiels tels que les phospholipides des membranes, l'acide désoxyribonucléique ou ADN, et certaines liaisons chimiques des protéines.

Les mécanismes d'oxydation des composés insaturés biologiques (acides gras, caroténoïdes, polyphénols...) sont souvent des réactions radicalaires avec l'oxygène moléculaire et présentent trois phases principales (HUANG et al., 2005) :

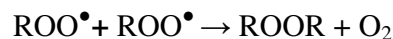
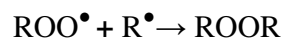
Une phase d'initiation qui peut être due à l'intervention d'un radical hydroxyle HO• qui arrache un atome d'hydrogène :



Une phase de propagation : en présence d'oxygène, il se forme un radical peroxyde (ROO•) qui déstabilise une deuxième molécule d'acide gras polyinsaturé et conduit à un hydroperoxyde lipidique (ROOH) et à un nouveau radical, assurant ainsi la propagation du processus :



Une phase de terminaison, où se recombinent les différents radicaux formés pour aboutir à des composés stables :



3.4.3. Le stress oxydatif

L'organisme est pourvu de plusieurs moyens de défense dont les molécules antioxydantes de faibles poids moléculaires. Ces molécules réductrices consomment directement les radicaux libres formés au cours de réactions d'oxydoréduction. Un déséquilibre entre la production excessive de molécules oxydantes et/ou une diminution du taux d'antioxydants dans l'organisme est défini par le terme de stress oxydant (CAROLE, 2008).

De multiples structures biologiques telles que les protéines, les lipides, les sucres, l'ADN, subissent des attaques oxydantes de la part de ces radicaux, provoquant des altérations et des dysfonctionnements cellulaires à l'origine de nombreuses pathologies (maladies cardiovasculaires, maladies neurodégénératives, cancers, diabète, sclérose...).

L'origine de ce déséquilibre peut également être de nature exogène : une alimentation pauvre en antioxydants, une exposition aux rayons ultraviolets, à l'action de substances oxydantes (solvants, pesticides, anesthésiques, tabac) ou lors d'un accroissement brutal de l'apport en oxygène.

3.4.4. Les principaux antioxydants des fruits et légumes

Un antioxydant est défini comme une substance qui, ajoutée à faible dose à un produit naturellement oxydable à l'air, est capable de ralentir ou d'inhiber le phénomène d'oxydation (PARK et al., 2001).

- **La vitamine E** : C'est un antioxydant liposoluble puissant. Cette propriété lui confère un rôle important dans la prévention de la peroxydation des lipides des membranes cellulaires et des LDL ou lipoprotéines de faible densité (JIALAL et al., 1995).

- **La vitamine C ou acide ascorbique** : C'est un antioxydant hydrosoluble puissant chez l'homme (SAUBERLICH, 1994). Les concentrations plasmatiques sont étroitement contrôlées en fonction de la dose. Comme la vitamine E, elle limite la peroxydation lipidique en piégeant les radicaux peroxydes. Enfin, elle assure la régénération de la vitamine E par réduction spontanée du radical tocophéryl (SIES et STAHL, 1995).

- **Les caroténoïdes** dont on dénombre plus de 600 composés, sont des pigments jaune-orange-rouge, liposolubles. La coloration est parfois masquée par la présence de chlorophylle (exemple : épinards). Le rôle antioxydant du bêta-carotène (provitamine A) est dû aux nombreuses doubles liaisons conjuguées. Il protège ainsi l'organisme contre les agressions de l'oxygène. Le lycopène est aussi un agent le plus efficace capable de neutraliser l'oxygène. Il présente un pouvoir antioxydant bien supérieur aux autres caroténoïdes notamment en matière de protection cardiovasculaire (LEVY et al., 1995) mais aussi dans le domaine antitumorigène.

- **Les oligoéléments (fer, le cuivre, le sélénium et le zinc)** : Ce sont des cofacteurs enzymatiques impliqués dans toutes les grandes voies métaboliques et notamment dans la protection contre les espèces radicalaires. Le fer joue un rôle capital dans l'initiation et la propagation des réactions radicalaires en permettant la formation des espèces oxygénées actives (PINCEMAIL et al., 1999). Le zinc a un effet antioxydant dans l'organisme par sa participation au maintien de l'activité de la superoxyde dismutase cytoplasmique cuivre et zinc dépendante (ANDERSON et al., 2001). Le sélénium est un élément essentiel à l'état de trace (oligoélément) qui ne possède pas une activité antioxydante propre. Il est toutefois considéré comme un antioxydant puisqu'il participe à la constitution et à la régulation de la glutathion peroxydase, enzyme qui participe à la destruction des peroxydes lipidique (PINCEMAIL et al., 1999).

- **Les polyphénols** : Ils ont différentes fonctions chez les plantes et constituent une catégorie importante de métabolites secondaires. Les polyphénols contiennent au moins un groupe hydroxyphénolique relié directement au composé aromatique à anneau phénolique à base de carbone. Ces derniers sont facilement oxydés en quinones par les espèces oxydées radicalaires, propriété qui leur confère leur capacité à piéger les radicaux libres (DANIEL et al., 1999). Les catégories de polyphénols les plus courants sont : les flavonoïdes dont la plupart ont une action antioxydante à des doses que l'on retrouve normalement dans les aliments et les boissons. Ils sont classifiés selon le degré d'oxydation de leur noyau puranique. Il existe environ une douzaine de classes reconnues de flavonoïdes, dont les flavonols et les flavones, les flavanones et les isoflavones.

IV. PHYSIOLOGIE DES FRUITS ET LEGUMES

4.1. Mécanismes de maturation des fruits

La maturation est une phase au cours de laquelle le fruit va se transformer en un produit agréable à consommer. Pendant la première période de sa vie, le fruit est immature. S'il est récolté pendant cette période, il ne pourra jamais acquérir des qualités organoleptiques convenables (PECH et al., 1994).

La maturation correspond à une série d'événements physiologiques, biochimiques et structuraux programmés et mettant en œuvre l'expression régulée de gènes spécifiques (GRIERSON, 1987). C'est une étape très importante pour la qualité des fruits car elle correspond à la poursuite de l'accumulation de réserves dans le fruit, une perte de fermeté (dégradation des parois), une diminution de l'acidité et une augmentation de la teneur en sucres, mais aussi le développement des arômes, de l'éthylène et de l'apparition de la couleur.

Le ramollissement des fruits est une caractéristique importante de la maturation. Il s'accompagne d'une augmentation de la concentration en pectines solubles. Le fruit va perdre sa fermeté par la dégradation des parois pectocellulosiques sous l'action d'hydrolases, de cellulases, de polygalacturonases. Les teneurs en sucres des fruits augmentent fortement durant cette phase. Deux mécanismes participent simultanément au changement de couleur au cours de la maturation du fruit. Il s'agit d'une part, de la dégradation de la chlorophylle, à l'origine de la perte de couleur verte, d'autre part, de la néosynthèse de pigments colorés (caroténoïdes, anthocyanes)

(GRAY et al., 1992).

Les fruits sont divisés en deux groupes selon leur mécanisme de maturation: Les fruits dits climactériques tels que la tomate, la pomme, la banane et l'abricot présentent une crise qui se caractérise par une forte augmentation de la respiration, accompagnée d'une forte production d'éthylène.

En revanche, les fruits dits non-climactériques tels que le raisin, la fraise et les agrumes ne présentent pas de crise respiratoire, ni de pic d'éthylène. Ils se distinguent des précédents par leur incapacité à mûrir après récolte (MARIE, 2007).

4.2. Dégradation post-récolte des fruits et légumes

Les dégradations provoquent des modifications de texture, de couleur et de goût, et peuvent rendre un aliment impropre à la consommation. Pour les fruits et légumes, les causes de cette altération sont nombreuses :

- Facteurs biologiques

Les denrées périssables se dégradent sous l'action d'animaux tels que les insectes, les rongeurs et les germes microbiens. Sans traitement préalable et étant donné ses divers constituants, les fruits et légumes constituent un milieu idéal pour les microorganismes surtout les levures et les moisissures et la majorité pénètre par les tissus abîmés. Les facteurs qui influencent la croissance des microorganismes dans les fruits et légumes sont : le pH, la température, l'activité de l'eau (A_w) et le potentiel d'oxydo-réduction.

- Facteurs physiques

Les températures élevées et les chocs subis lors de la récolte et du transport sont un facteur de dégradation. A titre d'exemple la température favorable pour le transport des ananas frais est de 7°C et 8°C (RATSIMANDRATRA, 2004).

- Facteurs enzymatiques

Plusieurs types d'enzymes participent à la dégradation post-récolte des fruits et légumes. Il s'agit :

- des enzymes qui dégradent les substances pectiques des fruits. Ces enzymes se composent en deux catégories : les dépolymérasés et les estérases agissant au niveau des zones lisses et les rhamnogalacturonases, les arabinanases, les galactanases et parfois les férulatestérases intervenant au niveau des zones hérissées des pectines (LE GOFF, 2001).

- des enzymes qui provoquent des réactions de brunissement enzymatique. Ce brunissement résulte de l'oxydation des composés phénoliques présents dans la cellule végétale par les enzymes appelés polyphénoloxydases (VAMOS-VIGYAZO et MIHALYI, 1976). Cette réaction conduit à la formation de quinones, espèces très instables, qui se polymérisent en entraînant la formation de pigments bruns.

V. CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES

La conservation est définie comme une méthode utilisée pour préserver un état existant ou pour empêcher une altération susceptible d'être provoquée par des facteurs chimiques (oxydation), physiques (température, lumière) ou biologiques (micro-organismes). (GOULD, 2000). La conservation des denrées alimentaires permet à l'homme de disposer de nourriture d'une récolte à l'autre (GOULD, 2000).

5.1. Les différentes méthodes de conservation des fruits et légumes

Il existe différents modes de conservation des fruits et légumes :

- **conservation par la chaleur (l'appertisation)** : elle consiste à enfermer l'aliment dans un récipient hermétiquement clos et à le soumettre à un chauffage en assurant la destruction ou l'inactivation des microorganismes ou des enzymes susceptibles de l'altérer.

- **conservation par des agents conservateurs** : Le sel a le pouvoir de faire sortir l'eau des aliments et de se fixer dans leurs sucs. Une petite quantité de sel (2%) ralentira le développement des microorganismes, une grande les détruira. Par ailleurs, le vinaigre est un excellent antiseptique grâce à l'acide acétique. Les microbes ne peuvent se développer dans un milieu suffisamment acide.

- **conservation par le sucre** : La conservation par le sucre ne peut se faire qu'à chaud. L'aliment doit perdre par évaporation une partie de l'eau qu'il contient. L'ébullition, la stérilisation de la conserve, favorisera la concentration du sucre permettant l'obtention de préparations

d'aspects différents : sirops, gelées, confitures, pâtes de fruits ou fruits confits. Cette technique de conservation permet d'inactiver les enzymes responsables de la décomposition des légumes et notamment des fruits.

- **conservation par le froid** : C'est une technique de conservation des aliments qui arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des microorganismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des produits frais en limitant leur altération. On distingue deux procédés qui utilisent cette technique, la réfrigération et la congélation (ROSSET, 2002).

- **conservation par irradiation** : L'irradiation pourrait être utilisée pour prolonger la durée d'entreposage à température ordinaire de certains fruits tropicaux. Elle est utilisée pour inhiber de façon durable la germination des pommes de terre, des oignons et des carottes.

- **conservation par atmosphère contrôlée** : C'est une conservation qui fait appel à la modification de l'atmosphère en agissant sur la teneur en oxygène, en anhydride carbonique et en azote.

- **conservation par séchage ou déshydratation** : Il consiste en l'élimination poussée de l'eau contenue dans les fruits et légumes, jusqu'à atteindre une teneur en eau compatible avec une conservation à long terme.

5.2. Conservation des fruits et légumes pratiquée à Madagascar

Le mode de conservation des légumes le plus pratiqué par les producteurs est la déshydratation solaire (RAZAFINDRATOVO et al., 2012).

Les autres activités de transformation concernent principalement la production de pulpes de fruits, de confitures, de concentrés, de jus naturels, (de fruits au sirop et de fruits séchés). Elles se sont développées ces dernières années, mais demeurent majoritairement artisanales.

5.2.1. Séchage solaire

Sécher un produit alimentaire consiste à éliminer une grande partie de l'eau de façon à permettre une bonne conservation.

Le séchage solaire constitue le principal moyen de séchage des produits au regard de la

disponibilité de l'énergie solaire. Il nécessite un ensoleillement suffisant. Le séchage est d'autant plus efficace que les produits sont découpés en petits morceaux et étalés en couches minces. Le produit sec doit avoir une teneur en eau finale suffisamment faible pour que les microorganismes, moisissures, levures et bactéries ne puissent pas se développer.

5.2.1.1. Techniques traditionnelles de séchage

Le séchage solaire traditionnel consiste à exposer directement aux radiations solaires des grains, des feuilles, des fruits sur une surface dure et généralement horizontale pendant quelques jours. L'agriculteur étend les denrées en début de journée. Il les mélange deux ou trois fois par jour. Il les protège de la pluie, des rongeurs et des insectes. Puis il les entrepose sous un abri le soir afin d'éviter qu'elles se réhydratent au contact de la rosée. Il utilise des repères tactiles pour juger si ses produits ont atteint un bon niveau de déshydratation et il entrepose finalement les denrées dans différents types de contenants et de greniers (www.cta.int, 2012).

Les avantages de cette pratique sont qu'elle est facile à mettre en œuvre, il n'y a pas besoin d'outillage ni d'équipements onéreux, le coût de production est assez faible. Mais les inconvénients sont aussi nombreux, à savoir : la forte dépendance vis-à-vis des conditions climatiques ; la faible qualité nutritionnelle, microbiologique et organoleptique du produits séchés ; la mauvaise protection contre les insectes, rongeurs, et autres nuisibles et l'importance du temps que nécessite cette pratique. Tous ces facteurs font que l'on ne peut pas prévoir ni garantir la qualité du produit fini, et la durée de conservation du produit séché est réduite. Les exigences des marchés actuels des produits séchés et notamment des épices, quant à leur qualité, nous exhortent à utiliser des systèmes de séchages améliorés qui permettent de mieux maîtriser la production (ZAFIMAHOVA, 2006).

5.2.1.2. Techniques améliorées de séchage

L'utilisation de séchoirs solaires permet d'améliorer la méthode traditionnelle de séchage des produits agricoles, au soleil et à l'air libre. Le séchoir solaire est une construction qui capte les rayons solaires pour sécher les aliments disposés à l'intérieur.

On peut classer les séchoirs solaires en trois catégories :

- **Les séchoirs solaires directs** où les rayons solaires frappent directement les produits à

sécher, après avoir traversé une couverture transparente (vitre ou feuille de plastique). C'est en fait le principe de l'effet de serre où l'on piège la chaleur du soleil mais il faut faire attention à respecter le mouvement de l'air sinon il y a cuisson et non plus séchage;

- **les séchoirs solaires indirects** où, grâce à un capteur, de l'air chaud est projeté sur le produit qui n'est pas exposé au soleil. Le séchage se produit par échange d'eau avec l'air chaud. Le séchoir utilisé dans l'étude est de ce type.

- **Les séchoirs solaires mixtes** qui sont donc une combinaison des deux systèmes précédents car la chambre de séchage permet aussi une exposition directe du produit au soleil.

5.2.1.3. Qualités de la matière première à sécher

- **Variété** : En fonction de leurs caractéristiques (goût, taille, forme, texture,...), certaines variétés se prêtent mieux au séchage que d'autres. L'assurance d'une bonne qualité commence avec la sélection d'une variété séchable, c'est à dire une variété contenant peu de fibres.

- **Stade physiologique** : La maturité des fruits est un paramètre déterminant sur la qualité du fruit sec. Il existe une notion de maturité physiologique avant laquelle, le produit trop aqueux et le taux de matière sèche trop faible, ne permettant pas de le traiter de façon optimale. Au-delà, le produit est soit trop fibreux, soit trop mou pour pouvoir résister aux tensions physiques du séchage. Les fruits ne devraient pas être trop mûrs ni contenir trop de jus. Pour cette raison, on a intérêt à faire sécher les fruits avant maturité complète. De même, les fruits verts plus aqueux et plus acides présentent d'autres inconvénients majeurs dont l'acidité considérablement accentuée,

- **L'intégrité du produit** : La qualité initiale du produit est un aspect important dans la transformation : Il faut qu'il n'y ait ni blessures, ni meurtrissures. Elle influence le rendement et les qualités organoleptiques du produit fini.

5.2.2. Paramètres à prendre en compte lors du séchage

5.2.2.1. La température et l'humidité relative de l'air

La conception des matériels de séchage et la mise en place de technique pourraient avoir une influence plus ou moins importante sur la qualité du produit fini. De ce fait, cette conception devrait se faire de façon minutieuse. Les mesures doivent être faciles et rapides, tout en restant

fiables. Elles doivent permettre de dresser des bilans simplifiés d'opérations de séchage dans le but d'une amélioration rapide des séchoirs et d'un contrôle du processus de séchage.

La température du séchoir doit rester inférieure à la température maximale admissible, qui est de 65°C pour les fruits et légumes. L'humidité relative de l'air à l'intérieur du séchoir doit être comprise entre 60 et 80% pour éviter le croûtage d'un côté et le développement microbien de l'autre. Dans certains cas, il est parfois souhaitable de procéder à un séchage plus sévère que celui qui est recommandé, tel est le cas d'un séchage à l'air relativement humide. Il sera parfois nécessaire de prévoir une éventuelle réhumidification du produit du fait du taux d'humidité de l'air ambiant lors du stockage sur une longue période (DUDEZ, 1996).

5.2.2.2. La durée de séchage

C'est un facteur très important qui conditionne la qualité des produits séchés et dépend de plusieurs autres facteurs dont la taille des morceaux séchés, la température à l'intérieur du séchoir et la teneur en eau des fruits, de l'aire de séchage, niveau d'humidité dans l'air.

5.2.2.3. La teneur en eau des produits

L'eau présente dans les tissus végétaux et animaux peut être plus ou moins disponible et on distingue « l'eau libre » et « l'eau liée ».

- L'eau libre est celle qui s'évapore librement d'une superficie lorsque sa pression de vapeur est supérieure à celle de l'atmosphère qui l'entoure. L'eau libre est la plus facile à éliminer et est d'ailleurs la première à s'évaporer lors du séchage.

- L'eau liée peut être fixée plus ou moins fortement. L'eau liée s'évapore à une vitesse décroissante, elle doit néanmoins être diminuée jusqu'à un seuil d'activité de l'eau (A_w) minimum. Car, elle pourrait être utilisée par les larves d'insectes et les microorganismes pour leur croissance. La plupart des levures se développent à une A_w supérieure à 0.88 et les moisissures à un A_w supérieur 0.80. (BOURGEOIS, 1991).

5.2.2.4. La teneur en eau finale

La teneur en eau finale recommandée dépend cependant des conditions de stockage. Il est important de mesurer la teneur en eau des tranches de produits séchés afin d'éviter des cas de

contamination fongique. Pour un bon degré de séchage, la valeur de l'humidité finale doit être de 12 à 15%. (DUDEZ, 1996).

Activité de l'eau et réactions de détérioration des aliments

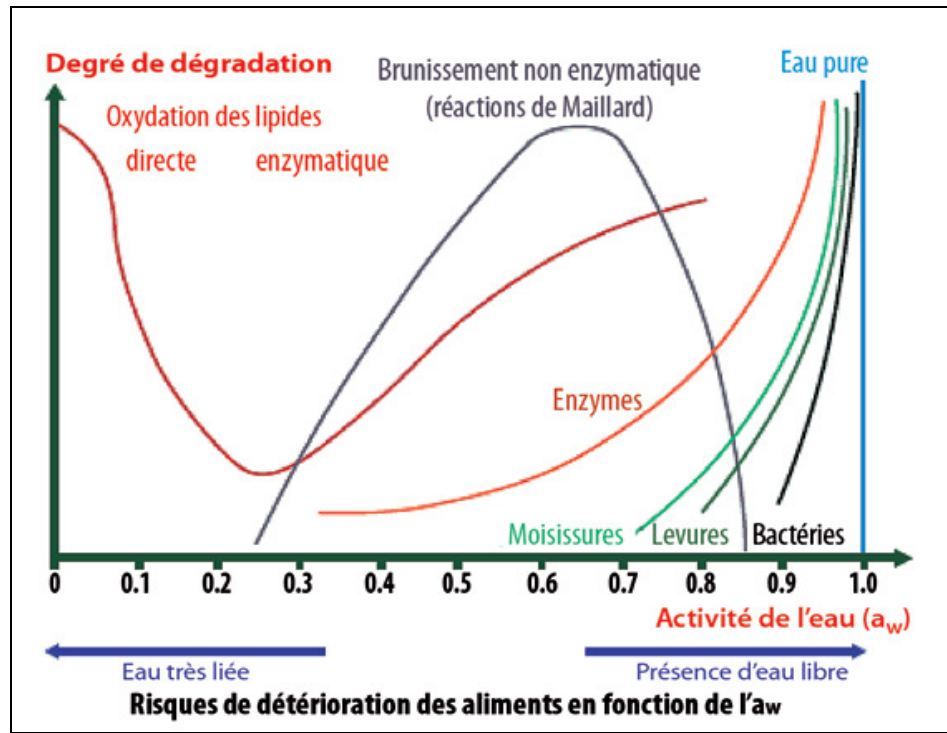


Figure 6 : Principales réactions de dégradations des aliments en fonction de l' A_w (CHEFTEL et CHEFTEL, 1977).

5.2.3. Intérêts du séchage solaire des fruits et légumes

La transformation des fruits et légumes frais en des produits séchés présente divers avantages :

- L'activité de l'eau du produit ainsi traité atteint des valeurs suffisamment basses pour inhiber le développement des microorganismes et stopper les réactions enzymatiques et donc la dégradation de l'aliment (NOUT et al., 2003).

- La diminution du poids et du volume est une économie importante pour le conditionnement, le transport et le stockage.

- Le séchage des fruits et légumes permet d'améliorer leurs indices de digestibilité, de

réduire la dépendance importante en comprimé (vitamine A et C), de donner une meilleure acceptabilité des produits par les consommateurs s'il est sous une forme attrayante, de valoriser les produits locaux et de diversifier les produits existants (RAMBOATIANA, 2010).

- Le séchage permet la conservation des récoltes pour une vente ultérieure. Les produits séchés et bien emballés peuvent être vendus à des prix plus intéressants (GUERSSON, 2004).

- Faire sécher fruits et légumes est une technologie simple et aiderait beaucoup à la diversification du régime alimentaire.

***DEUXIEME PARTIE : MATERIELS
ET METHODES***

I. DESCRIPTION DU SECHOIR SOLAIRE BOARA

Le séchoir solaire, de fabrication locale, mis à notre disposition par l'association Boara est adapté pour les pays disposant de temps d'ensoleillement suffisant tels les pays subtropicaux comme Madagascar.

L'appareil est composé d'une boîte de séchage, de 12 claies, d'un capteur solaire sous forme de toit vitré, d'une porte, et d'une conduite de cheminée.



Figure 7 : Séchoir solaire Boara

- Boîte de séchage

La boîte de séchage est de forme parallélépipédique verticale. La partie externe de cette boîte est construite avec de la tôle plane galvanisée tandis que la face interne, en contact avec les produits à sécher est en tôle plane inoxydable. Une portière isolée fermant une face latérale de l'armoire servant ainsi au chargement et au déchargement des produits. La fermeture de la portière doit être étanche, pour que l'air de séchage ne puisse pas sortir par des fentes sans avoir traversé le produit. L'armoire a été conçue pour faciliter les opérations de chargement et déchargement des produits ainsi que les éventuels travaux de nettoyage. Au niveau de deux faces opposées intérieures de la boîte, des supports de claies en bois ont été fixés pour offrir aux 6 étages de contenance de 12 claies.

Elle est munie d'une conduite de cheminée sur le toit ainsi que d'une ouverture sur sa base pour l'admission de l'air chaud provenant du capteur solaire. La conduite de cheminée est faite avec les mêmes matières que celles de la boîte de séchage et est située en haut de la boîte de séchage. Cette conduite permet d'optimiser le séchage car l'eau évaporée en sort directement.

L'ensemble du cadre repose à 1 m du sol, sur quatre pieds en acier.



Figure 8 : Boîte de séchage

- Claies

Les claies de séchage disposées sous forme de tiroirs se trouvent à l'intérieur de la boîte pour que les rayons solaires ne puissent pas atteindre directement leur contenu. Les claies servent à soutenir le produit tout en permettant le passage de l'air. Elles sont réalisées avec des profilés en bois soudés entre eux pour former un rectangle. Le fond de ce rectangle est constitué par un grillage en plastique soudé aux profilés latéraux, sur lequel on étalera les produits à sécher.



Figure 9 : Claire

- Capteur solaire

Le capteur solaire est formé d'une plaque métallique noire de 400 cm de long, 90 cm de large et 180 cm de hauteur positionnée en dessous d'un cadre vitré dont l'épaisseur est de 4 millimètres; il est légèrement incliné afin de capter efficacement le rayonnement solaire qui traverse la couverture en verre tout au long de la journée surtout à midi. De plus, il se réchauffera plus vite s'il reçoit perpendiculairement le rayonnement solaire.



Figure 10 : Capteur solaire

II. DESCRIPTION DES MATERIELS VEGETAUX ETUDIES

Trois variétés de fruits dont la papaye, la goyave, l'ananas et une variété de légumes, l'oignon, constituent nos matériels d'étude. Ces 3 fruits ont été choisis pour leur richesse en vitamines et ce sont des fruits saisonniers. L'oignon a été étudié parce qu'il est habituellement consommé par les Malgaches et est très abondant sur les marchés.

2.1. La papaye

La photo du *Carica papaya* est présentée sur la figure 11.

2.1.1. Systématique



Règne	: VEGETAL
Sous-règne	: EMBRYOPHYTA
Sous-embranchement	: TRACHEOPHYTINA
Classe	: ANGIOSPERMOPSIDA
Ordre	: BRASSICALES
Famille	: CARICACEAE
Genre	: <i>Carica</i>
Espèce	: <i>papaya</i>
Noms vernaculaires	: papay, mapaza, paza et voapaza.

Figure 11 : *Carica papaya*

2.1.2. Description

Le papayer est un arbuste pouvant atteindre trois à dix mètres de haut. La tige est cylindrique, terminée par un bouquet de feuilles digitées. C'est un arbre dioïque mais il existe également des types hermaphrodites. Les fleurs mâles, en forme d'entonnoir, apparaissent sur de longues panicules ramifiées à l'aisselle des feuilles. Les fleurs femelles à cinq pétales quant à elles, naissent isolées ou par groupe de deux ou trois sur la partie supérieure du tronc. Les fruits appelés papaye, sont arrondis ovoïdes ou presque filiformes selon les variétés. Ils pèsent en moyenne 400 à 800 g, mais certains peuvent atteindre plusieurs kilos. La peau du fruit est verte et

vire au jaune orangé à maturité voire au rouge sombre.

La pulpe de la papaye, de couleur orangée, juteuse et fine, possède une saveur musquée plus ou moins sucrée et parfumée selon les variétés. La papaye renferme une cavité centrale comportant de nombreuses graines noires. Ces graines sont non comestibles.

2.2. La goyave

La photo du *Psidium guajava* est présentée sur la figure 12.

2.2.1. Systématique



Règne	: VEGETAL
Sous-règne	: EMBRYOPHYTA
Sous-embranchement	: TRACHEOPHYTINA
Classe	: ANGIOSPERMOPSIDA
Sous-classe	: ROSIDEAE
Ordre	: MYRTALES
Famille	: MYRTACEE
Genre	: <i>Psidium</i>
Espèces	: <i>guajava</i>
Nom vernaculaire	: goavy

Figure 12 : *Psidium guajava*

2.2.2. Description

Le goyavier est un arbre de 2 à 3 mètres de haut, souvent buissonnant. Le fruit est globuleux, faiblement côtelé, de 5 à 12 cm de long pour un diamètre de 5 à 7 cm. Les fleurs blanches odorantes donnent naissance à des fruits globuleux, ovales ou piriformes. Leur peau verte devient jaune à maturité. La chair blanche, jaune, rose clair ou rougeâtre selon les variétés est granuleuse et ferme près de la peau. Le centre du fruit est plus ou moins juteux et rempli de graines jaunâtres, dures. Le fruit est riche en vitamine C (25 à 1000 mg pour 100g) et son pH est compris entre 3 et 4 (LAVILLE, 1994).

2.3. L'ananas

La photo de l'*Ananas comosus* est présentée dans la figure suivante.

2.3.1. Systématique



Règne	: VEGETAL
Sous-règne	: EMBRYOPHYTA
Sous-embranchement	: TRACHEOPHYTINA
Classe	: ANGIOSPERMOPSIDA
Ordre	: BROMELIALES
Famille	: BROMELIACEAE
Genre	: <i>Ananas</i>
Espèce	: <i>comosus</i>

Noms vernaculaires : Mananasy (merina), fandra (antanala, antaimoro, betsileo), voafandrana ou fandrana (antanosy)

Figure 13 : *Ananas comosus*

2.3.2. Description

L'ananas est une plante tropicale pouvant atteindre 1m à 1,50m, avec de longues feuilles lancéolées de 50cm à 1,80m, dentées en général, mais parfois lisses (RABEARISON, 2012). Les racines sont aériennes et souterraines. La tige, cachée par l'ensemble du feuillage, est un organe court en forme de massue. Elle contient des réserves d'amidon et un ensemble de fibres très résistantes. Le pédoncule floral ou hampe fructifère porte des bractées et prolonge la tige. Ces fleurs sont hermaphrodites, présentant chacune une bractée florale. Le fruit présente une juxtaposition régulière d'unités morphologiques (yeux) portées par un axe (cœur). C'est un fruit composé formé par la fusion des fruits individuels issus de chacune des fleurs. Il est généralement de forme cylindrique et est surmonté par une couronne.

2.4. L'oignon

La photo de l'*Allium cepa* est présentée dans la figure 14.

2.4.1. Systématique



Règne	: VEGETAL
Sous-règne	: EMBRYOPHYTA
Sous-embranchement	: TRACHEOPHYTINA
Classe	: ANGIOSPERMOPSIDA
Sous-Classe	: LILIIDAE
Ordre	: LILIALES
Famille	: LILIACEAE
Genre	: <i>Allium</i>
Espèce	: <i>cepa</i>
Nom vernaculaire	: Tonglobe, rouge de Tanà

Figure 14 : *Allium cepa*

2.4.2. Description

Allium cepa est à la fois une plante potagère et un légume. C'est une plante herbacée, monocotylédone bisannuelle de hauteur de 60 à 100 cm, vivace par son bulbe unique. Les feuilles de couleur verte sont cylindriques et creuses. Les fleurs sont constituées de six sépales, six pétales, six étamines, plus un pistil unique. Le fruit est composé de trois compartiments, qui contiennent les graines. Le bulbe est un organe de réserves de la plante qui entoure un bourgeon central. Certaines variétés ne produisent pas de fleurs. Dans ce cas, des bourgeons spéciaux, appelés bulbilles, se développent à leur place. Ces bulbilles peuvent se détacher de la plante, s'enraciner et être cultivés pour obtenir de nouveaux plants.

Les nombreuses variétés d'oignons sont généralement classées selon la couleur du bulbe : oignons blancs ; oignons jaunes ; oignons rouges.

L'oignon contient de l'eau, ainsi que des glucides, protéines, fibres, vitamines A, C, B, et quelques sels minéraux (calcium, fer, magnésium, potassium, zinc, etc.) et une grande gamme de composés phénoliques tels que les flavonoïdes (principalement la quercétine), les anthocyanines

qui sont des antioxydants (REED, 2009).

La photo de chaque espèce étudiée est présentée dans la figure suivante :



Figure 15 : Fruits et légumes étudiés

III. PREPARATION DES ECHANTILLONS AVANT ANALYSES

3.1. Échantillonnage

Les échantillons de chaque catégorie d'aliment doivent être homogènes du point de vue taille, forme, couleur et degré de maturité. Ils doivent être de la même origine et variété. La constatation de l'aspect extérieur de tous les échantillons (fruits et légumes) s'effectue par simple observation à l'œil nu et en utilisant également les autres organes de sens (le toucher, l'odeur, le goût). Par ailleurs, ils doivent être propres, pratiquement exemptes de meurtrissures, fermes et ne pas contenir de pourritures ou d'altérations qui les rendraient impropres à la consommation. Tous ces critères sont à respecter dans le but d'obtenir des produits finis sains et surtout stables, en particulier du point de vue microbiologique.

3.2. Préparation des échantillons avant séchage

On appelle prétraitements, toutes les opérations préliminaires à effectuer sur les produits à sécher avant de les disposer dans la boîte de séchage. La plupart de ces opérations dépendent de la nature du produit. Avant le séchage, un certain nombre d'opérations visant à préparer le produit à sécher est indispensable.

3.2.1. Triage

Le triage est effectué en vue d'éliminer les diverses impuretés et les fruits de mauvaises qualités : fruits immatures, altérés, avariés et pourris. En effet, ces fruits peuvent contaminer le

lot et nuire la qualité du produit fini. Cette opération permet ainsi d'obtenir des fruits ou légumes de maturité homogène. Elle s'effectue manuellement sur la table de préparation.

3.2.2. Pesage

Il permet de déterminer le poids initial de la matière première avant toute modalité de transformation. La connaissance de ce poids initial est utile au calcul du rendement en chaque étape de la préparation jusqu'à la fin du séchage. Il est effectué sur une balance de précision. Cette étape permet d'établir le bilan matière pour chaque étape.

3.2.3. Lavage

Il est primordial d'utiliser des matières premières propres dans toute activité de transformation alimentaire. Ainsi, le lavage, suivi de l'égouttage, a pour but d'éliminer les impuretés telles que la terre, le sable, les résidus chimiques et les microorganismes superficiels. Il peut se faire par aspersion d'eau ou bien par immersion dans de l'eau chlorée (1 ml de Sûr'eau dans 10 L d'eau).

3.2.4. Egouttage

Cette opération permet d'éliminer une grande partie de l'eau de lavage qui risque d'interférer sur la composition du produit à sécher.

3.2.5. Epluchage / Parage

Il est effectué dans le but d'éliminer les parties non comestibles ou indésirables du fruit telles que la peau, noyau, les graines. Il se procède manuellement sur une table d'épluchage soit à l'aide de couteau, ou de dénoyauteuse.

3.2.6. Pesage

Le pesage entre chaque étape de la fabrication a pour but d'établir le bilan matière. Il est effectué sur une balance de précision.

3.2.7. Découpage

Pour obtenir un séchage uniforme il faut que l'épaisseur des tranches soit le plus homogène possible, pour éviter de sécher un mélange hétérogène de tranches fines et de tranches épaisses. Le découpage s'effectue manuellement

- Pour le cas de la papaye et de l'ananas : la pulpe est coupée en tranches fines



Figure 16 : Pulpe de papaye coupée en tranche fine

- pour le cas de la goyave : la pulpe est découpée en morceaux puis broyée



Figure 17 : Préparation de purée de goyave

Les grains contenus dans la purée sont enlevés à l'aide d'une presse purée.

3.3. Séchage

Après les différents prétraitements nécessaires, les produits sont disposés sur chaque claie (pour le séchage solaire indirect) ou sur la natte (pour le séchage solaire direct à l'air libre) en faisant attention à ne pas mettre les tranches les uns sur les autres, la disposition devant être la plus régulière possible. Pour faciliter cette disposition, on peut faire des alignements. Il faut donc faire attention à ne pas surcharger le séchoir. La détermination de la quantité requise pour chaque produit à sécher repose sur les expériences pratiqués et les résultats obtenus en différentes situations, en respectant le principe d'obtenir un produit de bonne qualité.



Figure 18 : Disposition des produits sur la claie (à gauche) et sur la natte (à droite)

Le suivi de l'humidité de chaque échantillon permet d'obtenir les données relatives à la cinétique de séchage.

Il nous a paru intéressant de voir l'humidité atteinte au temps de mi- séchage. Le temps de mi- séchage étant la moitié du temps nécessaire au séchage complet des échantillons.

3.3.1. Détermination de la teneur en eau

La teneur en eau d'un aliment est la quantité d'eau perdue par la substance lorsque l'humidité relative est nulle. C'est un paramètre essentiel pour l'évaluation et la maîtrise des risques d'altération des aliments.

3.3.1.1. Principe

La méthode utilisée consiste en une dessiccation de l'échantillon à une température de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ (AFNOR, 1993).

3.3.1.2. Mode opératoire

Une quantité bien déterminée de l'échantillon est introduite dans une capsule, préalablement tarée, et séchés à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 24h à l'étuve. Des pesages sont effectués à intervalles de temps réguliers jusqu'à ce que le poids soit constant, les pesages étant toujours précédés de refroidissement.

3.3.1.3. Mode de calcul

L'humidité (H%) exprimée en grammes pour cent grammes de produit est donnée par la formule :

$$H\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100$$

Avec :

m_0 : masse en g de la capsule vide

m_1 : masse en g de la prise d'essai et de la capsule avant séchage

m_2 : masse en g de la prise d'essai et la capsule après séchage

La teneur en matière sèche (MS%) est déduite de celle de l'humidité selon la relation suivante :

$$MS\% = 100 - H\%$$

3.4. Détermination du rendement de séchage

Le pesage après le séchage a pour but d'évaluer le rendement de séchage. Il est effectué sur une balance de précision.

Le calcul de rendement est basé sur le calcul classique du rapport de poids final sur le poids initial.

- Rendement de séchage :

$$R_{\text{séchage}} = \frac{\text{masse produit séché}}{\text{masse produit utilisé}} \times 100$$

- Rendement après parage :

$$R_{\text{parage}} = \frac{\text{masse produit paré}}{\text{masse produit brut}} \times 100$$

3.5. Diagramme de fabrication

Le diagramme général de fabrication de fruits et légumes séchés est illustré par la figure suivante :

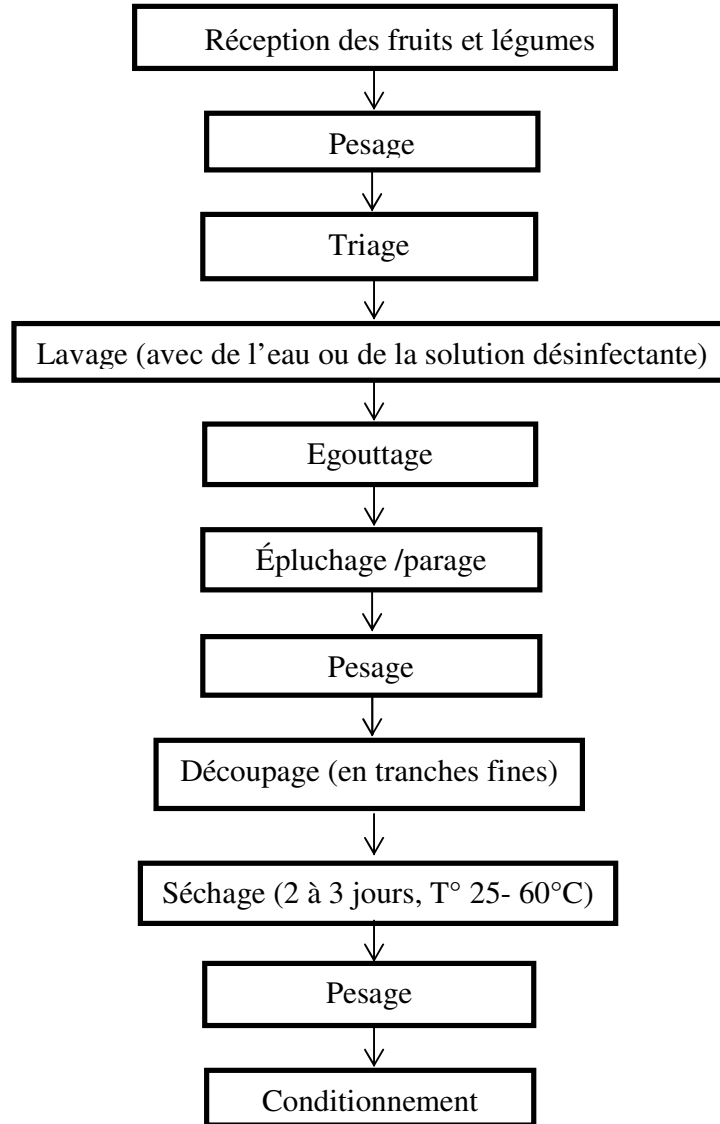


Figure 19 : Diagramme général de fabrication de fruits et légumes séchés

3.6. Conditionnement

Le conditionnement est un moyen de conservation après transformation des produits. Il doit tenir compte de la salubrité de la denrée à entreposer afin d'éviter toute sorte de

contamination que ce soit physique ou chimique ou surtout microbiologique (par les microflores bactériennes ou fongiques indésirables) pouvant être source d'altération provoquant la dégradation organoleptique (par leurs activités enzymatiques). Lors de l'expérimentation, nous avons conditionné les produits séchés dans du sachet plastique fermé hermétiquement (matière imperméable à l'eau).

IV. ANALYSES NUTRITIONNELLES

4.1. Détermination de la teneur en sucres réducteurs

4.1.1. Principe

On détermine la quantité de sucres réducteurs nécessaires pour réduire une quantité de dioxyde de cuivre contenu dans la liqueur de Fehling. Cette réduction de la liqueur de Fehling est rendue visible par changement de couleur à l'ébullition de la solution initialement bleue, devient jaune en présence de ferrocyanure de potassium.

4.1.2. Mode opératoire

- Défécation des fruits et légumes

Pour chacun des quatre échantillons (papaye, goyave, ananas et oignon), 10 g (échantillons frais ou séchés) ont été broyés, mélangés avec 50 ml d'eau distillée, puis mise en agitation pendant 15 mn. Le mélange est ensuite filtré avec un papier filtre (MN 616, Ø90 mm) et le jus obtenu est utilisé pour la détermination des sucres réducteurs.

Environ 0,6 ml de solution de CARREZ I est ajouté à ce jus. Après une agitation, 0,6 ml de la solution CARREZ II y est versée et le tout est de nouveau agité. Pour obtenir la solution défécquée, une filtration est effectuée.

En effet, les hydrates de carbones à doser se trouvent généralement mélangées à d'autres substances ou en suspension comme eux et pouvant empêcher ou fausser le dosage des sucres. Ces substances étrangères doivent être éliminées sans que la teneur en hydrate de carbone s'en trouve modifiée, par défécation en provoquant la formation d'un précipité dans le liquide. Les agents de défécation ou clarification doivent avoir une action sélective.

Les réactifs de Carrez (hexacyanoferrate II de K et de sulfate de Zn) agissent par

adsorption. Ils provoquent la formation d'un précipité à l'état naissant entraînant les substances étrangères par occlusion.

- Détermination de la teneur en sucres réducteurs (protocole de l'ACSQDA)

La solution déféquée est dosée avec 10ml de Liqueur de Fehling. Dès l'apparition d'une couleur jaune, le volume de la solution déféquée permettant de réduire la liqueur de Fehling est noté.

4.1.3. Mode de calcul

La teneur en sucres réducteurs (% SR), exprimée en grammes pour cent grammes de produit est donnée par la formule :

$$\% \text{ SR} = 25 / \text{VE}$$

Avec VE : Volume de la solution déféquée versé (ml)

4.2. Dosage de l'acidité titrable

Le but est de mesurer approximativement la teneur totale en acides naturels présents dans l'échantillon.

4.2.1. Principe

Le dosage est effectué par titration avec des bases fortes en présence de phénolphtaléine par virage de la coloration.

4.2.2. Mode opératoire

Environ 20 g d'échantillons (frais ou séchés) ont été broyés, mélangés avec 60 ml d'eau distillée, puis mis en agitation pendant 15mn. Le mélange est ensuite filtré et le jus obtenu est utilisé pour la détermination de l'acidité titrable.

Après l'obtention du jus, 25 ml sont dilués dans 25 ml d'eau distillée. L'acidité du jus est mise en évidence par titration avec de la soude (NaOH) 0,1N après avoir ajouté 2 gouttes de phénolphtaléine.

L'apparition d'une couleur rose violacée indique la neutralisation. Le volume de soude nécessaire à la neutralisation de tous les acides est proportionnel à l'acidité du jus.

4.2.3. Mode de calcul

L'acidité titrable (%A), exprimée en milliéquivalent pour cent grammes de produit est donné par la formule :

$$A\% = \frac{V_1 \times 100}{V_0 \times m}$$

Avec :

V_1 : Volume de soude versé (ml)

V_0 : Volume de l'extrait (ml)

m : Masse de l'échantillon

4.3. Détermination de la teneur en caroténoïdes

Les apports en vitamine A peuvent être exprimés en microgrammes (1 μg = un millionième de gramme) d'équivalent rétinol (ER) ou en unités internationales (UI). 1 μg équivaut à 3,33 UI; 1 IU équivaut à 0,3 μg de rétinol.

4.3.1. Principe

Le dosage repose sur l'extraction de la provitamine A par l'hexane, le report de la valeur de la densité optique obtenue sur une gamme étalon de vitamine A à 450 nm préalablement établie et la lecture de la concentration correspondante.

4.3.2. Mode opératoire

- Préparation de l'échantillon

Environ 1g de l'échantillon (frais ou séché) est introduit dans un mortier. Après ajout de 10 ml d'hexane, l'ensemble est homogénéisé. Le mélange est transféré dans une bouteille ambrée pour éviter la destruction par la lumière. 10ml de l'hexane sont rajoutés, le mélange est agité pendant 5 à 10 minutes. L'extrait est ensuite filtré.

Le culot a été de nouveau traité avec 15ml d'hexane, la procédure est répétée pour extraire les pigments restants du carotène. On met ensuite tout l'extrait dans une bouteille ambrée

placée dans un réfrigérateur sombre pendant 5min avant la lecture de la densité à 450nm au spectrophotomètre.

- Etablissement de la gamme

Le dosage doit s'effectuer à des concentrations en vitamine A comprises entre 0,015 et 0,06 mg/ml. C'est une méthode de NDWULA et al., 2004 à laquelle nous avons apporté quelques modifications. Pour ce faire, une solution mère de concentration 0,36 mg/ml est préparée à partir d'une capsule de vitamine A de 100.000 UI (fournie par le CSB d'Ambohipo). Par la suite, des dilutions sont faites à partir de la solution mère et les densités optiques sont lues pour chacune des concentrations obtenues permettant ainsi l'obtention du courbe étalon $DO = f [C]$. En reportant les points de la gamme étalon sur le graphique, l'équation de la droite linéaire peut s'écrire sous la forme $D .O.450nm = a*[vitamine A] + b$

Tableau 5 : Gamme étalon de la vitamine A

Concentration (mg/ml)	Absorbance à 450nm
0,015	0,078
0,03	0,317
0,06	0,68

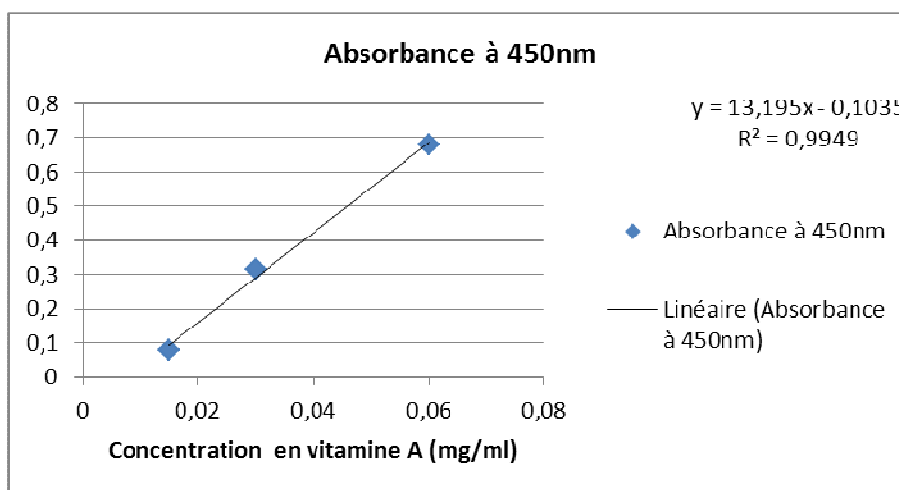


Figure 20 : Courbe étalon de la vitamine A $DO = f [C]$

La densité optique pour chaque extrait, reportée sur la gamme, permet d'obtenir la concentration en mg/ ml de provitamine A de l'échantillon.

Après la détermination de la valeur des paramètres "a" et "b", il est possible de déduire la teneur en caroténoïdes de l'extrait. Les résultats obtenus sont exprimés en µg/100g de MS.

$$\text{Teneur en caroténoïdes} = \frac{[\text{vitamine A}] \times V \times D \times 100 \times 100}{m \times \text{MS}}$$

Avec :

V : volume total de l'extrait ;

D : facteur de dilution

m : masse de la prise d'essai ;

MS : matière sèche

On peut déduire les pertes en caroténoïdes de chaque échantillon par la formule :

$$\% \text{ perte} = \frac{[\text{caroténoïdes}]_{\text{initiale}} - [\text{caroténoïdes}]_{\text{éch}}}{[\text{caroténoïdes}]_{\text{initiale}}} * 100$$

Avec :

[caroténoïdes] initiale : teneur caroténoïdes de l'échantillon frais exprimée en µg/100g de MS

[caroténoïdes] éch : teneur en caroténoïdes de l'échantillon séché exprimée en µg/ 100g de MS

4.4. Détermination de la teneur vitamine C

La méthode pour le dosage de la teneur en vitamine C mise en œuvre est celle du protocole de l'AOAC, 1991.

4.4.1. Principe

On utilise le 2-6-dichlorophénol-indo-phénol (DCPIP) qui possède plusieurs particularités: il permet l'oxydation de la vitamine C en milieu acide, il est coloré sous sa forme oxydée (en bleu en milieu basique, en rose en milieu acide) et incolore sous sa forme réduite.

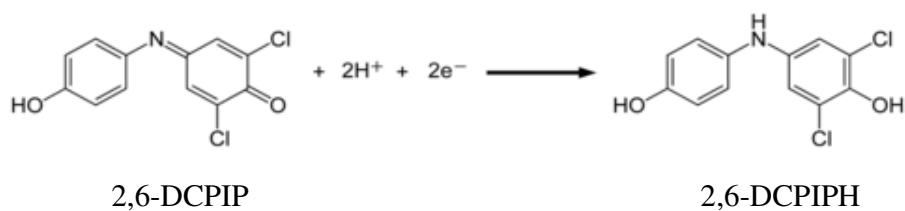


Figure 21 : Réaction de réduction du 2,6-DCPIP

Le DCPIP mis dans la burette sera versé goutte à goutte dans une solution contenant de la vitamine C. Le dosage sera obtenu lorsque la solution de vitamine C vire en rose. L'acide métaphosphorique est utilisé pour stabiliser la vitamine C sous forme réduite d'acide ascorbique et dès que toute la vitamine C est oxydée et le DCPIP rendu incolore, la première goutte de DCPIP en excès va colorer en rose la solution.

4.4.2. Mode opératoire

Les réactifs utilisés sont : le sel de DCPIP, le NaHCO₃, la vitamine C 250 mg/L et l'acide métaphosphorique 20 g/L.

Pour réaliser le dosage, la solution de DCPIP a été étalonnée avec une solution de vitamine C de concentration connue à laquelle correspond un volume de DCPIP pris comme référence lors des dosages.

- Préparation de la solution de DCPIP 250 mg/L (PM=290,08 g/mol)

Une solution de DCPIP est préparée en dissolvant 250 mg de sel de DCPIP dans 250 ml

d'eau distillée additionnée de 210 mg de NaHCO₃. On agite vigoureusement. Après dissolution totale, on la complète à 1 L avec de l'eau distillée dégazée. On l'a met à l'abri de la lumière.

- Préparation de la solution étalon de vitamine C 250 mg/L (PM=176,13 g/ mol)

La solution étalon de vitamine C est obtenue en dissolvant 25mg de vitamine C dans 100 ml d'acide métaphosphorique à 20 g/L.

- Préparation de l'échantillon à doser

Environ 10 g d'échantillon broyé sont pesés et mis dans une fiole jaugée protégée de la lumière. On y ajoute 40ml de solution d'acide métaphosphorique (MPA) 4%. Le tout est agité durant 5min à 4°C. Après cela, le mélange est centrifugé à 1000 rpm pendant 5 min à 4 °C. Le surnageant est transvasé dans une autre fiole jaugée.

On ajoute 40ml de solution d'acide métaphosphorique au culot. Le tout est agité durant 5min à 4°C à l'abri de la lumière. Après cela, le mélange est centrifugé à 1000 rpm pendant 5 min à 4 °C. Les deux surnageants sont rassemblés, la solution d'extrait de l'échantillon est ainsi obtenue.

- Dosage de la solution de vitamine C

On dose un petit volume de vitamine C (1 ou 2 ml) avec de la solution de DCPIP. Si le volume de DCPIP versé est trop important, une dilution de la solution de vitamine C est réalisée avec de l'acide métaphosphorique pour qu'une prise d'essais de 10 ou 20 ml de solution diluée correspondant à une chute de 10 à 20 ml.

- Dilution de la solution étalon de vitamine C

On prépare 95ml d'une dilution 1/6 de la solution étalon. Pour cela, à 5 ml de la solution étalon de vitamine C sont ajoutés 105 ml d'acide métaphosphorique. Soit D cette solution.

- Étalonnage

Dans un erlenmeyer, 5 ml de la solution D est additionnée de 15 ml d'acide métaphosphorique. La solution de DCPIP est versée dans un bécher contenant 1 ml de ce mélange jusqu'à observation d'une couleur rose persistante au moins 30 secondes.

- Dosage de la vitamine C de l'échantillon

Pour le dosage, 5ml de la solution de l'extrait de l'échantillon sont additionnés de 15 ml d'acide métaphosphorique. La solution de DCPIP est versée dans un erlenmeyer contenant 1 ml de ce mélange jusqu'à observation d'une couleur rose persistante au moins 30 secondes.

4.4.3. Mode de calcul

L'étalonnage permet de connaître la masse de vitamine C oxydée par un volume VE de DCPIP. Le volume VE de DCPIP versé lors du dosage permet de connaître la masse de vitamine C dans la prise d'essai puis dans la fiole jaugée qui correspond à une masse de vitamine C de l'échantillon initial.

- Détermination de la concentration en vitamine C de la solution D

La concentration de la solution D (C2) est obtenue par la formule suivante :

$$C2 = \frac{C1.V1}{V2}$$

Avec :

C1 : concentration initiale en vitamine C (mg/L)

V1 : volume initial de la solution de vitamine C (ml)

V2 : volume de la solution D (ml)

La concentration en vitamine C de la solution D permet de déterminer la concentration de la solution de DCPIP versée lors du dosage :

$$[DCPIP] = \frac{C2.Vv_{itc}}{VE}$$

Avec :

C2 : concentration de la solution D (mg/ml)

Vv_{itc} : volume de la solution D prise pour le dosage (ml)

VE : volume de la solution de 2,6- DCPIP versée (ml)

- Détermination de la concentration en vitamine C de l'échantillon

La concentration en vitamine C de l'échantillon exprimée en mg/L est déterminée par la formule suivante :

$$C_{éch} = \frac{[DCPIP].VE}{V_{éch}}$$

Avec :

[DCPIP] : concentration de la solution de DCPIP versé lors du dosage (mg/L)

VE : volume de la solution de DCPIP versé lors du dosage (ml)

V_{éch} : volume de l'extrait prise lors du dosage (ml)

On peut déduire les pertes en vitamine C de chaque échantillon par la formule :

$$\% \text{ perte} = \frac{[\text{vitamine C}]_{\text{initiale}} - [\text{vitamine C}]_{\text{de l'échantillon}}}{[\text{vitamine C}]_{\text{initiale}}} * 100$$

Avec :

[vitamine C] initiale : teneur en vitamine C de l'échantillon frais exprimée en mg par 100g de matière sèche

[vitamine C] de l'échantillon : teneur en vitamine C de l'échantillon séché, exprimée en mg par 100g de matière sèche

V. MESURE DE LA CAPACITE ANTIOXYDANTE TOTALE PAR LE RADICAL DPPH

La méthode utilisée est celle de la mesure directe décrite par SERPEN et al., (2007) à laquelle RANOVONA Z. (2012) a apporté quelques modifications.

5.1. Principe

Le DPPH ou 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle agit en tant qu'un radical libre stable efficace réduit par un antioxydant, montrant un spectre d'absorption à 517 nm avec une couleur violette ; la réduction de ce radical se traduit par coloration jaune (LEE et al., 2001).

La réaction de la réduction de DPPH avec les antioxydants est montrée ci-dessous :

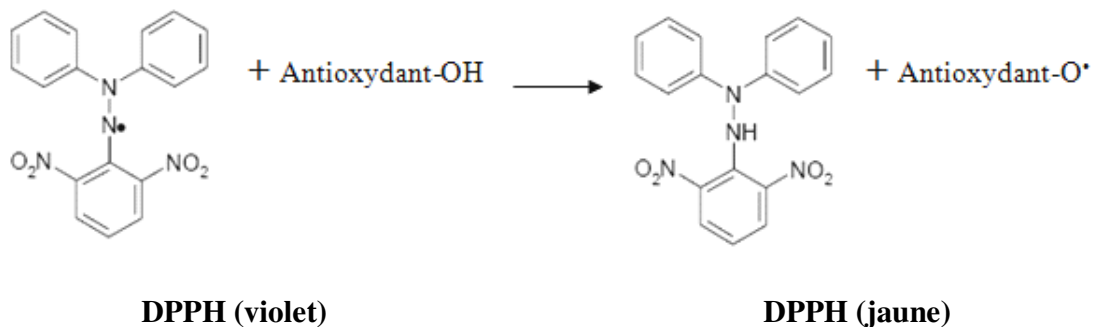


Figure 22 : Réaction de réduction de DPPH

5.2. Préparation de la solution de DPPH, vérification de sa stabilité et de la linéarité de son tracé

On prépare une solution de DPPH à 10^{-4} mol/l en dissolvant 10 mg de DPPH dans 250 ml de méthanol et protégeant celle-ci de la lumière. Cette solution est préparée à l'avance car la solubilisation peut être difficile. Dans un premier temps, il est nécessaire de vérifier la stabilité et l'intervalle de linéarité de la solution mère.

Les résultats obtenus pour chacun des échantillons testés sont comparés à ceux obtenus pour le Trolox (antioxydant de synthèse qui est un analogue structural de la vitamine E), qui est pris comme référence. Il faut donc tracer une droite d'étalonnage du Trolox.

5.3. Préparation de la solution de Trolox

Une solution mère de Trolox à 5,19 mM est préparée en dissolvant 32,5 mg de Trolox

dans 25ml de méthanol. Des solutions filles sont préparées à partir de cette solution mère. Pour cela, des séries de dilutions sont réalisées avec du méthanol, au 1/2, 1/4, 1/10, 1/20.

Puis dans un tube Ependorf, on prélève 20 µl de chaque solution fille et on les laisse agir avec 1,7ml de DPPH, puis le mélange est agité rapidement au vortex. La densité optique de chaque mélange est ensuite lue au spectrophotomètre contre du méthanol comme blanc. Lors de la première analyse, les densités optiques sont lues toutes les 2 minutes jusqu'à obtention d'un plateau, afin de vérifier la stabilité des solutions.

5.4. Mesure directe de la capacité antioxydante sur les échantillons

Environ 20mg de l'échantillon sont pesés (ou 20 µl les échantillons liquides) et mis dans un tube à essai protégé de la lumière. Une quantité de DPPH multiple de 1,7 ml y est ajouté (exemple: 5,1 ml (3x); 6,8 ml (4x); ou 8,5 ml (5x), selon la concentration en composés antioxydants de l'échantillon). En effet, pour les échantillons riches en antioxydants, si on ajoute seulement 1,7 ml de DPPH, la solution de DPPH va être décolorée très vite, et la valeur d'absorbance lue risque d'être hors gamme. Le tout est agité au vortex pendant 30 secondes à t=3min, t= 15 min et t= 25 min. Après cela, le tube est centrifugé à 6000 rpm pendant 2 minutes à 4°C. Pour chaque échantillon, il doit s'écouler exactement 30 minutes entre l'ajout du DPPH dans le tube et la lecture de la densité optique du surnageant à 517nm.

Avant la lecture de la densité optique, le surnageant est transvasé dans un autre tube à essai protégé de la lumière. Puis, afin de vérifier sa stabilité, sa densité optique est lue toutes les 5 minutes pendant 30 minutes. Pour plus de précision, il est préférable de ne pas laisser les cuvettes dans le spectrophotomètre mais de les renouveler toutes les 5 minutes et en prélevant à nouveau aussi du surnageant (car le méthanol réagit parfois avec le plastique des cuvettes).

5.5. Mode de calcul

Les résultats sont exprimés en µmol de Trolox équivalent par mg de matière sèche (T.E. /g de MS). En reportant les points de la gamme étalon sur un graphique avec en abscisses, la concentration en Trolox en µM et en ordonnées, la densité optique à 517 nm, on peut tracer la droite de régression linéaire (exemple : tableau 7, figure 11) dont l'équation est :

$$\text{D.O. 517nm} = a * [\text{Trolox}] + b$$

Après la détermination de la valeur des paramètres “a” et “b”, il est possible de déduire la concentration en trolox du mélange :

$$[\text{Trolox}] = \frac{\text{D.O. 517nm} - b}{a}$$

Tableau 6 : Exemple d’absorbances des solutions filles de trolox

[Trolox]	Absorbance (517 nm)
60,4	0,031
30,2	0,366
15,1	0,857
6,0	1,018
3,0	1,140

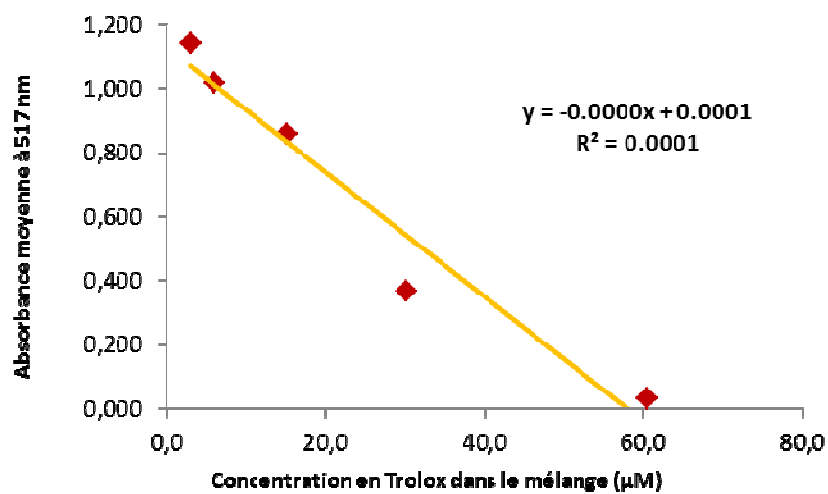


Figure 23 : Exemple de courbe étalon de Trolox : Abs (517nm) = f ([Trolox])

Afin d’exprimer la capacité antioxydante (CAO) des échantillons en µmol de Trolox Equivalent (T.E.) par gramme de MS, c’est nécessaire d’effectuer des séries de conversion, donnant la formule :

$$\text{CAO } (\mu\text{mol TE/g MS}) = \frac{[\text{Trolox}] * v}{MS}$$

Avec :

[Trolox] : concentration en Trolox en μmol

D.O. $_{517\text{nm}}$: Densité Optique de l'échantillon à 517nm

a : pente de la droite de régression

b : ordonnée à l'origine de la droite

v : volume de DPPH ajouté à l'échantillon (en litres)

MS : masse sèche de l'échantillon à analyser (en g)

On peut déduire les pertes en capacité antioxydante de chaque échantillon par la formule :

$$\% \text{ perte} = \frac{\text{CAO initiale} - \text{CAO de l'échantillon}}{\text{CAO initiale}} * 100$$

Avec :

CAO initiale : capacité antioxydante de l'échantillon frais exprimée en μmol de T.E. /g de MS

CAO de l'échantillon : capacité antioxydante de l'échantillon, après un temps d'exposition donné, exprimée en μmol de T.E. /g de MS

VI. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES PRODUITS SECHES PAR LE SECHOIR BOARA

6.1. Echantillonnage

L'échantillon analysé (échantillon séché par le séchoir solaire Boara) est représentatif du lot et le prélèvement respecte les précautions d'asepsie c'est-à-dire que tous les matériels de prélèvement ont été stérilisés. Il est transporté au laboratoire d'analyse dans des bocaux en verre stériles.

6.2. Préparation de la suspension mère

On prépare une solution d'eau péptonée (EPT) en dissolvant 20g de peptones dans 1000ml d'eau distillée. Cette solution est ensuite stérilisée à l'autoclave à 121°C pendant 20 minutes. Une suspension-mère est préparée en dissolvant 25g d'échantillons séchés dans 225ml d'EPT dans un erlenmeyer stérile.

6.3. Préparation des dilutions (NF V08-010)

Une dilution en cascade est effectuée à partir de la suspension mère : 1 ml de la suspension mère est introduit dans un tube stérile, puis additionné de 9 ml d'eau distillée, c'est la dilution 10^{-1} . 1ml de ce mélange est ensuite versé dans un autre tube contenant 9ml de diluant. Cette solution correspond à la dilution 10^{-2} et ainsi de suite jusqu'à la dilution finale. Ces dilutions sont utilisées dans le dénombrement des bactéries.

6.4. Dénombrement des germes d'altérations

6.4.1. Dénombrement des Flores Aérobie Mésophile Totales (FAMT) (NF V 08-060) (LEVRAL et VIERLING, 1997 ; MEYER et al., 1984)

Dans la flore totale ou germe mésophile aérobie (à 30°C en général), on regroupe aussi bien les bactéries que les champignons.

Le dénombrement des germes totaux est réalisé car il constitue un indicateur de la qualité sanitaire d'un aliment. Il donne une idée de la qualité de germes présents naturellement dans le produit brut. Les FAMT sont mises en évidence par une culture sur milieu Plate Count Agar.

6.4.1.1. Principe

L'utilisation d'un milieu sélectif pour la détermination du nombre total des germes mésophiles dont la teneur en substances nutritives (glucose, peptone de caséine, extrait de levure) permet la culture de ces microorganismes. On recherche sur les échantillons séchés, les microorganismes aptes à former des colonies (de couleur blanchâtre) visibles sur gélose pour dénombrement après 3 jours d'incubation à 30°C.

6.4.1.2. Mode opératoire

Environ 1 ml de l'inoculum correspondant aux dilutions de la solution mère, 10^{-1} et 10^{-2} est ensemencé en profondeur dans une boîte de Pétri. Il est réalisé en 2 exemplaires. L'incubation s'effectue pendant 72h à 30°C.

N.B: afin d'assurer l'asepsie, toutes les manipulations ont été effectuées sous une hotte à flux laminaire verticale.

6.4.2. Dénombrement des levures et moisissures (NFV08-059)

Les flores fongiques, c'est-à-dire les levures et les moisissures, des indicateurs d'altération du produit.

Le déroulement de l'ensemencement en profondeur pour la numération des levures et moisissures est le même que pour celui de la FAMT mais se différencie par le milieu utilisé qui est le Gélose de Sabouraud.

L'incubation se fait dans une étuve à 30°C pendant 5 jours avant de dénombrer les colonies (de couleur blanchâtre).

6.5. Dénombrement des germes indicateurs de contaminations fécales et humaines :

Escherichia coli (V 08 053)

Escherichia coli : est un type de coliforme fécal, une bactérie qui est associée aux déchets animal ou humain. Leur seule présence dans les produits affecte l'image même de l'usine car cela indique une défaillance dans la bonne pratique d'hygiène le long de la fabrication.

6.5.1. Principe

Le milieu Tripton Bile agar (TBX) est un milieu sélectif qui permet le développement d'*Escherichia coli*. L'ensemencement de l'inoculum dans ce milieu permettra donc de compter les colonies en tant que *E. coli*. Cette bactérie fait partie des germes indicateurs de contamination fécale.

6.5.2. Mode opératoire

2 boîtes de Pétri sont utilisées pour chaque dilution, l'ensemencement se fait en profondeur. 1 ml de l'inoculum est introduit dans chaque boîte, ensuite, la gélose en surfusion y est coulée. L'incubation s'effectue à 44 °C pendant 24h.

6.6. Recherche des germes pathogènes : *Salmonella* (V 08-052)

Salmonella sp. sont des entérobactéries qui provoquent une toxi-infection alimentaire. La présence de ces germes traduit une contamination fécale récente ou une recontamination après traitement. On effectue tout d'abord un enrichissement sélectif des salmonelles en utilisant le bouillon de Rappaport-Vassiliadis Soja. Ces derniers peuvent s'y multiplier grâce à la présence de vert malachite et de chlorure de magnésium.

6.6.1. Pré-enrichissement sur RAPPAPORT-VASSILIADIS SOJA

Le bouillon de Rappaport-Vassiliadis Soja est utilisé pour l'enrichissement sélectif des Salmonelles. Ces derniers peuvent s'y multiplier grâce à la présence de vert malachite et de chlorure de magnésium.

6.6.2. Culture sur HEKTOEN ENTERIC AGAR

6.5.2.1. Principe

Ce milieu solide de couleur marron rougeâtre est sélectif pour *Salmonella* par la présence de sels biliaires qui suppriment la croissance de germes indésirables. Le genre *Salmonella* produit des colonies bleu-vertes après incubation à 37°C pendant 24h (LARPENT, 1997).

6.5.2.2. Mode opératoire

A l'aide d'une anse, l'inoculum est ensemencé en stries sur le milieu HEKTOEN contenu dans une boîte de Pétri.

6.7. Mode de calcul pour le cas d'un dénombrement (NF ISO 7218)

Le nombre total de microorganismes (N) présents dans l'échantillon pour essai est obtenu par la formule suivante :

$$N = \frac{\sum c}{V(n_1 + 0,1 n_2)d} * \frac{V_{SM}}{V_{PR}}$$

Avec :

C : Nombre total de colonies sur les boîtes retenues

V : volume de l'inoculum

n₁ : nombre de boîtes comptées à la dilution retenue la plus faible.

n₂ : nombre de boîtes comptées à la seconde dilution retenue.

d : facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages sont réalisés

V_{SM} : volume de la suspension mère en ml.

V_{PR} : volume de produit (ml) ou masse de produit (g) ou surface de produit (cm²) ayant constitué la suspension mère.

N.B : Sont retenues les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies

VII. ANALYSE SENSORIELLE

L'analyse sensorielle est une science multidisciplinaire qui fait appel à des dégustateurs et à leur sens de la vue, de l'odorat, du goût, du toucher et de l'ouïe pour mesurer les caractéristiques sensorielles et l'acceptabilité de produits alimentaires, essentiellement nouveaux. Ainsi aucun instrument ne peut reproduire ou remplacer la réaction humaine, ce qui fait que l'élément «évaluation sensorielle» de toute étude alimentaire est essentiel (WATTS et al., 1991).

L'épreuve hédonique a été menée afin de connaître le degré d'appréciation des consommateurs de chaque produit séché. 80 consommateurs naïfs ont été recrutés. Le test s'est déroulé au sein du laboratoire de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo. Chaque sujet doit exprimer son avis sur le caractère agréable ou désagréable, sur une échelle de cotation de 1 à 9 en remplissant une fiche individuelle (annexe 5). Plus les points attribués sont élevés, plus les produits sont appréciés

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. CARACTERISTIQUES DU SECHAGE

Tableau 7 : Températures moyennes relevées dans le séchoir au cours de la journée

Heure	9	11	13	16
T° (°C)	25	45	60	45

La température moyenne dans le séchoir varie de 25°C à 60°C au cours de la journée.

1.1. Cinétique de séchage

Les paramètres opératoires de séchage sont présentés dans le tableau 8 pour tous les échantillons: temps de séchage et teneur en eau finale la plus basse atteinte. La durée de séchage est différente pour chaque produit.

Tableau 8 : Humidité exprimée en g pour 100g de MS (H%) et matière sèche exprimée en g pour 100g MS et temps de séchage des échantillons*

	Début de l'exposition	Temps de mi- séchage	Fin de l'exposition
Papaye	0h	8h	16h
H%	92,21± 0,56	17,7± 15,34	9,6± 1,62
MS%	7,79 ± 0,56	82,30 ± 15,34	90,40 ± 1,62
Goyave	0h	5h	10h
H%	86,65± 0,08	20,56± 0,08	15,77± 0,52
MS%	15,35 ± 0,08	79,44 ± 0,08	84,23 ± 0,52
Ananas	0h	9h	18h
H%	91,06± 0,60	33,22± 0,87	15,94± 1,37
MS%	8,94 ± 0,60	66,78 ± 0,87	84,06 ± 1,37
Oignon	0h	4h	8h
H%	76,87± 0,39	21,09± 0,21	9,01± 0,32
MS%	23,13 ± 0,39	78,91 ± 0,21	90,99 ± 0,32

*Chaque valeur représente la moyenne de trois essais

Tous les échantillons frais sont très riches en eau (92,21% pour la papaye fraîche, 86,65% pour la goyave fraîche, 91,06% pour l'ananas frais et 76,87% pour l'oignon frais) et sont de ce fait pauvre en matière sèche. Les teneurs en eau minimales atteintes après séchage varient entre 9,01% et 24,45%. Les durées de séchage pour atteindre la teneur en eau minimale sont comprises entre 8h pour l'oignon et 18h pour l'ananas.

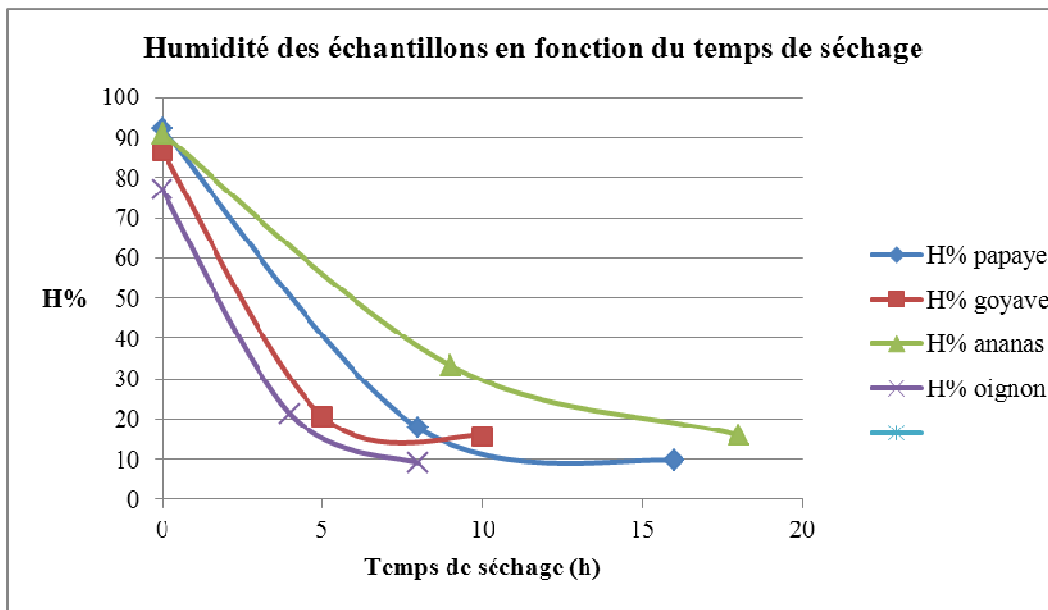


Figure 24 : Courbes de la cinétique de séchage des échantillons

La teneur en eau finale de l'oignon est la plus faible (9,01%), suivie de celle de la papaye et de la goyave (respectivement 9,6% et 15,77%). L'humidité de l'ananas séché est la plus élevée (15,94%). Les 4 courbes de cinétiques de séchage obtenues montrent toutefois des allures presque comparables. En effet, dans l'intervalle de temps allant du début de séchage au temps de mi-séchage, les pertes en eau sont très importantes et l'allure des courbes est très décroissante. Après le temps de mi-séchage, la décroissance est plus progressive.

La comparaison de l'humidité des échantillons séchés par le séchoir Boara et de celle des échantillons séchés par le séchage solaire à l'air libre est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Comparaison de l'humidité (g pour 100g de matière brute) et du temps de séchage (h) des échantillons séchés par le séchoir Boara et des échantillons séchés par le séchage solaire à l'air libre*

	Séchage par le séchoir Boara		Séchage à l'air libre	
	H%	Temps de séchage	H%	Temps de séchage
Papaye	9,6± 1,62	16h	19,18 ± 1,56	20h
Goyave	15,77± 0,52	10h	15,37 ± 0,24	12h
Ananas	15,94± 1,37	18h	24,45 ± 0,58	24h
Oignon	9,01 ± 0,32	8h	14,23 ± 0,29	12h

*Chaque valeur représente la moyenne de trois essais

Le séchage, qu'il soit naturel à l'air libre ou effectué sur un séchoir, a permis de réduire considérablement la teneur en eau du produit. L'humidité passe de 92,21% à 9,6% pour la papaye séchée par le séchoir Boara, de 92,21% à 19,18% pour celle séchée par le séchage à l'air libre. Pour l'oignon, la teneur en eau passe de 76,87% à 9,01% pour celui séché par le séchoir Boara et de 76,87% à 14,23% pour celui séché à l'air libre.

Si on considère la teneur en eau finale, la différence entre les deux modes de séchage est plus accentuée pour la papaye, l'ananas et l'oignon. Pour la goyave les teneurs en eau finales sont assez similaires. De plus le temps de séchage est plus court pour les échantillons séchés par le séchoir Boara.

Les teneurs en eau des fruits et légumes séchés étudiés Boara par le séchoir sont comprises entre 9 et 15%. Ces teneurs assez faibles en eau liée montrent que ces produits se prêtent à une bonne conservation, les teneurs en eau recommandée pour les fruits et légumes séchés devant être inférieures à 15%.

Le séchage des produits à l'aide du séchoir est généralement plus efficace que le séchage solaire à l'air libre.

1.2. Rendements de transformation pour chaque échantillon

Les rendements obtenus après le parage et le séchage échantillon sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Rendements (%) de parage et de séchage*

	Masse de départ	Masse enlevée	R parage	R séchage
Papaye	100	21,02	78,92	9,01
Goyave	100	39,28	60,71	11,52
Ananas	100	35,01	64,99	14,77
Oignon	100	18,76	81,22	18,00

**Le rendement considéré est calculé sur trois essais*

Les rendements de parage sont compris entre 60,71% et 78,92%, ces valeurs indiquent une quantité non négligeable des parties non comestibles.

Les valeurs de rendement de séchage sont comprises entre 9,01% et 18,00%. Celle de l'oignon est la plus élevée (18%) suivi de celle de l'ananas (14%). Le rendement de séchage de la papaye est le plus faible (9,01%).

Les rendements de séchage des fruits et légumes sont compris entre 10 à 14%, on peut dire que ces rendements sont satisfaisants.

II. CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES

2.1. Teneur en sucres réducteurs

L'utilisation de la liqueur de Fehling a permis de déterminer la teneur en sucres réducteurs des échantillons analysés.

Les teneurs en sucres réducteurs des échantillons sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Teneurs en sucres réducteurs des échantillons en g /100g de matière brute (MB)

Echantillon	Frais	Séché
Papaye	8,92	12,5
Goyave	3,67	7,81
Ananas	6,25	12,5
Oignon	3,12	4,46

Les teneurs en sucres réducteurs des échantillons frais varient entre 3,12g/100g de MB (pour l'oignon frais) et 8,92g/100g de MB pour la papaye fraîche. Celles des échantillons séchés varient entre 4,46g/100g de MB (pour l'oignon séché) et 12,5g/100g de MB (pour la papaye et l'ananas séchés). La teneur en sucres réducteurs est plus concentrée pour tous les échantillons séchés.

Cette teneur est élevée pour tous les échantillons séchés. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que lors du séchage, il y a élimination d'eau et augmentation des matières sèches du produit. Ce qui correspond à une concentration remarquable d'éléments nutritifs, d'où l'augmentation de la teneur en sucres réducteurs.

2.2. Acidité titrable

Les acidités titrables des échantillons sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Acidités titrables des échantillons frais et séchés, exprimées en milliéquivalent (méq) par 100g de masse brute (MB)

Echantillon	Frais	Séché
Papaye	6	6,8
Goyave	14	30
Ananas	10	34,5
Oignon	8	20,5

Après le séchage l'acidité titrable augmente considérablement pour chaque échantillon sauf pour celle de la papaye qui reste faible à la fin du séchage (6,8 méq/100g de MB).

L'acidité ne s'évapore pas pendant le séchage, donc le fruit séché est normalement plus acide que le frais. Exemple l'acidité titrable de la mangue fraîche est comprise entre 5,5 et 10 méq par 100g de masse brute et pour la mangue séchée, il est compris entre 27,3 et 67 méq/100g de MB.

2.3. Teneur en caroténoïdes

Les teneurs en caroténoïdes des échantillons sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Teneurs en caroténoïdes des échantillons ($\mu\text{g}/100\text{ g de MS}$)

Echantillon	Etat de l'échantillon	Teneur en caroténoïdes	% Perte
Papaye	fraîche	1114,28	0
	séchage Boara	943,29	15,34
	séchage naturel	902	19,05
Goyave	fraîche	276,49	0
	séchage Boara	107,01	61,29
	séchage naturel	54,96	80,12
Ananas	frais	452,26	0
	séchage Boara	261,77	42,11
	séchage naturel	182,66	59,61
Oignon	frais	96,77	0
	séchage Boara	64,29	33,56
	séchage naturel	45,41	53,07

La papaye fraîche est la plus riche en caroténoïdes (1114,28 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS). La goyave et l'ananas en comportent beaucoup moins, respectivement 276,49 μg et 452,26 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS. L'oignon en est très pauvre avec 96,77 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS.

Les résultats montrent que la teneur en caroténoïdes de chaque échantillon diminue au cours du séchage. La diminution étant plus importante pour les produits séchés par le séchage naturel à l'air libre que pour les produits séchés par le séchoir.

2.4. Teneur en vitamine C

Les teneurs en vitamine C des échantillons sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Teneur en vitamine C des échantillons (mg/100g de MS)

Echantillon	Etat de l'échantillon	Teneur en vitamine C	% Perte
Papaye	fraîche	67,3	0
	séchage Boara	48,02	28,64
	séchage naturel	27,76	58,75
Goyave	fraîche	216,11	0
	séchage Boara	126,37	41,52
	séchage naturel	29,84	86,19
Ananas	frais	40,52	0
	séchage Boara	32,66	19,39
	séchage naturel	15,05	62,85
Oignon	frais	28,7	0
	séchage	18,55	35,36
	séchage naturel	12,02	58,11

La goyave est la plus riche en vitamine C (216,11 mg). La teneur en vitamine C de tous les échantillons diminue au cours du séchage. Les résultats montrent que les échantillons séchés par le séchoir Boara ont tous un meilleur taux de vitamine C.

Les teneurs en vitamine A et en vitamine C de chaque échantillon diminuent après le séchage. Cette diminution peut être liée au fait que les vitamines A et C sont sensibles à la chaleur et aux différentes réactions d'oxydation.

Les pertes en vitamines sont considérables lors du séchage naturel. L'utilisation du séchoir Boara limite ces pertes. Et malgré toutes ces pertes durant le séchage, la consommation en ces produits séchés reste intéressante.

III. CAPACITE ANTIOXYDANTE

Après vérification, la solution de DPPH est stable et linéaire. De même, les solutions filles de trolox sont également stables et peuvent être utilisées comme référence. Les mesures ont été faites ensuite sur les échantillons, la stabilité de la réaction étant vérifiée en mesurant l'absorbance toutes les 5 minutes pendant 25 minutes. La valeur de la capacité antioxydante prise en compte pour tous les échantillons est celle mesurée au temps $t = 25$ min, quand la réaction est considérée comme stabilisée.

3.1. Capacité antioxydante des échantillons

Tableau 15 : Comparaison de la capacité antioxydante des échantillons séchés par les deux modes de séchage*

Echantillon	Etat de l'échantillon	CAO ($\mu\text{mol T. E} / \text{g MS}$)	% Perte
Papaye	fraîche	191,93	0
	séchage Boara	136,2	29,04
	séchage naturel	46,83	75,6
Goyave	fraîche	177,18	0
	séchage Boara	174,7	29,04
	séchage naturel	100,36	43,36
Ananas	frais	168,15	0
	séchage Boara	68,09	59,51
	séchage naturel	45,39	73,01
Oignon	frais	68,29	0
	séchage	25,49	62,67
	séchage naturel	22,69	66,77

*Chaque valeur représente la moyenne de trois essais

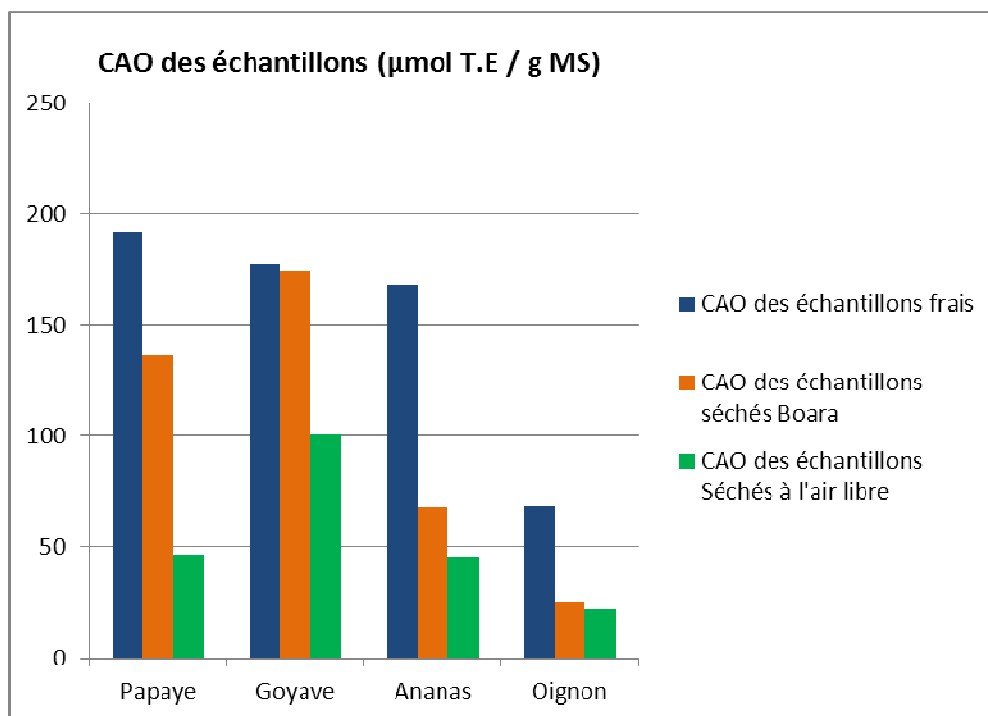


Figure 25 : Capacité antioxydante des échantillons frais et séchés ($\mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$)

Les capacités antioxydantes des échantillons séchés par le séchage solaire à l'air libre sont plus faibles ($46,83 \mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$ pour la papaye, $100,36 \mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$ pour la goyave, $45,39 \mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$ pour l'ananas et $22,69 \mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$ pour l'oignon) par rapport à celles des échantillons séchés par le séchoir Boara ($136,20 \mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$ pour la papaye, $174,70 \mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$ pour la goyave $68,09 \mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$ pour l'ananas et $25,49 \mu\text{mol T.E} / \text{g MS}$ pour l'oignon).

Les pertes sont plus importantes pour les échantillons séchés à l'air libre que pour les échantillons séchés par le séchoir Boara.

Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les antioxydants sont très sensibles à la chaleur et aux rayonnements solaires. Lors du séchage solaire direct à l'air libre, le soleil frappe directement les produits d'où la perte plus grande. L'utilisation du séchoir solaire préserve donc mieux la teneur en CAO des produits.

3.2. Cinétique de séchage des échantillons séchés avec le séchoir Boara

Le temps de séchage a été déterminé pour tous les échantillons. C'est le temps qu'il faut pour atteindre l'humidité minimale. Il nous a paru intéressant de voir la capacité antioxydante et l'humidité atteintes au temps mi- séchage. On définit le temps de mi- séchage comme la moitié du temps nécessaire au séchage complet des échantillons séchés par le séchoir Boara.

La capacité antioxydante et l'humidité de chaque échantillon sont suivies au cours du séchage.

Tableau 16 : Humidité (g pour 100g de matière brute) et CAO ($\mu\text{mol Trolox Equivalent / g MS}$) des échantillons séchés par le séchoir solaire Boara en fonction du temps d'exposition*

Temps d'exposition	Echantillon	Humidité	CAO
0 heure	Papaye fraîche	92,21 \pm 0,56	191,93 \pm 0,68
8 heures	Papaye à mi- séchage	17,70 \pm 15,34	140,80 \pm 15,34
16 heures	Papaye séchée	9,60 \pm 1,62	136,20 \pm 1,62
0 heure	Goyave fraîche	86,65 \pm 0,08	177,18 \pm 1,38
5 heures	Goyave à mi- séchage	20,56 \pm 0,08	176,10 \pm 16,36
10 heures	Goyave séchée	15,77 \pm 0,52	174,70 \pm 11,56
0 heure	Ananas frais	91,06 \pm 0,60	168,15 \pm 0,01
9 heures	Ananas à mi- séchage	33,22 \pm 0,87	75,22 \pm 1,70
18 heures	Ananas séché	15,94 \pm 1,37	68,09 \pm 1,70
0 heure	Oignon frais	76,87 \pm 0,39	68,29 \pm 0,02
4 heures	Oignon à mi- séchage	21,09 \pm 0,21	26,20 \pm 1,27
8 heures	Oignon séché	9,01 \pm 0,32	25,49 \pm 0,22

*Chaque valeur représente la moyenne de trois essais

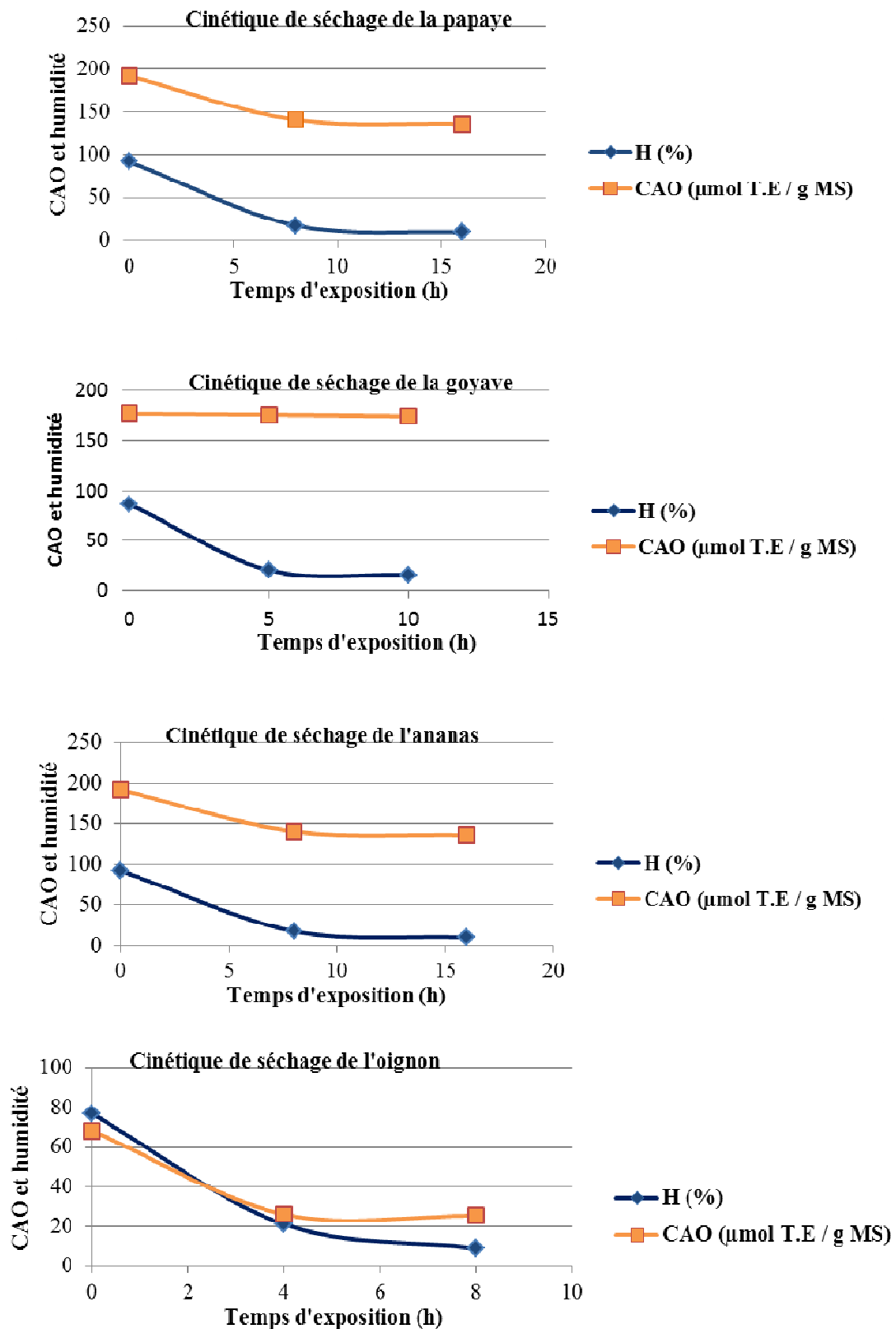


Figure 26 : Courbes de l'humidité et de la capacité antioxydante des échantillons séchés par le séchoir solaire Boara en fonction du temps d'exposition

La durée de séchage est différente pour chaque espèce étudiée. Pour la papaye et l’ananas, elle est plus ou moins longue (16h et 18h respectivement). Tandis que pour la goyave et l’oignon, elle est assez courte (10h pour la goyave et 8h pour l’oignon).

Au début de l’exposition (échantillon frais), la capacité antioxydante et la teneur en eau de chaque échantillon sont toutes élevées. Pour la papaye, l’ananas et l’oignon, la capacité antioxydante diminue progressivement avec la teneur en eau jusqu’au mi- séchage et tendent à se stabiliser jusqu’à la fin de l’exposition. Tandis que pour la goyave, du début jusqu’à la fin de l’exposition, elle reste stable même si sa teneur en eau diminue rapidement jusqu’au mi- séchage et tend à se stabiliser à la fin.

Les résultats obtenus, selon la mesure directe par le radical DPPH révèle que la CAO des fruits et légumes ainsi que la teneur en eau diminuent au cours du séchage.

Tableau 17 : Perte en capacité antioxydante des échantillons séchés par le séchoir Boara pendant le stockage*

Echantillon	CAO ($\mu\text{mol Trolox Equivalent /g MS}$)	% Perte
Papaye séchée	136,20 \pm 1,62	0,00
Papaye stockée	126,30 \pm 3,68	7,27
Goyave séchée	174,70 \pm 11,56	0,00
Goyave stockée	160,30 \pm 7,38	8,24
Ananas séché	68,09 \pm 1,70	0,00
Ananas stocké	64,50 \pm 5,94	5,27
Oignon séché	25,49 \pm 0,22	0,00
Oignon stocké	24,92 \pm 0,11	2,24

*Chaque valeur représente la moyenne de trois essais

Après 30 jours de stockage, les pertes en CAO par rapport aux quantités initialement présentées dans les produits venant d’être séchés à leur maximum sont faibles, elles varient de 2,24 à 8,24 %.

Tableau 18 : Récapitulation des résultats des analyses nutritionnelles des échantillons frais et séchés par le séchoir Boara

	Analyses	Echantillon frais	Echantillon séché
Papaye	Teneur en eau (g/100g de MB)	92,21	9,6
	Teneur en SR (g/100g de MB)	8,92	12,5
	Acidité titrable (méq/100g de MB)	6	6,8
	Teneur en caroténoïdes (µg/100g de MS)	1114,28	943,29
	Teneur en vitamine C (mg/100g de MS)	67,3	48,02
	CAO (µmol Trolox Equivalent / g MS)	191,93	136,2
Goyave	Teneur en eau (g/100g de MB)	86,65	15,77
	Teneur en SR (g/100g de MB)	3,67	7,81
	Acidité titrable (méq/100g de MB)	14	30
	Teneur en caroténoïdes (µg/100g de MS)	276,49	107,01
	Teneur en vitamine C (mg/100g de MS)	216,11	126,37
	CAO (µmol Trolox Equivalent / g MS)	177,18	174,7
Ananas	Teneur en eau (g/100g de MB)	91,06	15,94
	Teneur en SR (g/100g de MB)	6,25	12,5
	Acidité titrable (méq/100g de MB)	10	34,5
	Teneur en caroténoïdes (µg/100g de MS)	452,26	261,77
	Teneur en vitamine C (mg/100g de MS)	40,52	32,66
	CAO (µmol Trolox Equivalent / g MS)	168,15	68,09
Oignon	Teneur en eau (g/100g de MB)	76,87	9,01
	Teneur en SR (g/100g de MB)	3,12	4,46
	Acidité titrable (méq/100g de MB)	8	20,5
	Teneur en caroténoïdes (µg/100g de MS)	96,77	64,29
	Teneur en vitamine C (mg/100g de MS)	28,7	18,55
	CAO (µmol Trolox Equivalent / g MS)	68,29	25,49

IV. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Les résultats des analyses microbiologiques sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 19 : Concentrations en microorganismes des produits séchés analysés

	Papaye	Goyave	Ananas	Oignon	Critères microbiologiques (DLEAA, 2009)
FAMT	$1,6.10^3/g$	$2,4.10^3/g$	$6,1.10^2/g$	$7,6.10^3/g$	$1,0.10^4$ (fruits) $1,0.10^5$ (oignon)
Levures & moisissures	$<10^1/g$	$<10^1/g$	$<10^1/g$	$3,5.10^2/g$	$5,0.10^3/g$
<i>Salmonella</i>	Absence/25g	Absence/25g	Absence/25g	Absence/25g	Absence/25g
<i>Escherichia coli</i>	Absence/g	Absence/g	Absence/g	Absence/g	$10^2/g$

Les échantillons analysés contiennent tous des FAMT à des concentrations différentes pour chaque échantillon. La concentration en FAMT la plus élevée est trouvée dans l'oignon séché: $7,6.10^3/g$. Celle de la papaye est la plus faible ($1,6.10^3/g$). L'oignon contient également le plus levures et de moisissures ($3,5.10^2/g$), pour les autres produits (papaye, goyave et ananas) ce taux est inférieur à $10^1/g$. *Salmonella* et *Escherichia coli* sont absents (respectivement par 25grammes et par grammes) dans tous les produits séchés.

Ils contiennent tous des Flores aérobies mésophiles totales ainsi que des levures et de moisissures à des concentrations inférieures aux critères microbiologiques: par exemple la concentration en flore aérobie mésophile totale de la papaye est de $1,6.10^3/g$ contre $1.10^4/g$ pour les critères microbiologiques des fruits séchés. Tandis que l'*E-coli* et *salmonella* sont absents pour tous les échantillons testés. On peut dire alors qu'aucune contamination fécale et humaine n'est détectée dans ces produits mais également des germes pathogènes. Tous les échantillons testés sont satisfaisants du point de vue microbiologique.

V. ANALYSE SENSORIELLE

L'analyse sensorielle a été faite sur les échantillons séchés par le séchoir Boara.

Tableau 20 : Moyenne des notes d'appréciation des produits séchés

Echantillon	Valeur hédonique
Papaye séchée	6,34
Goyave séchée	6,36
Ananas séché	7,64
Oignon séché	6,17

Une note supérieure à 5 correspond à une appréciation du produit.

La papaye séchée, la goyave séchée et l'oignon séché présentent les valeurs hédoniques respectivement 6,34, 6,36 et 6,17. Ces échantillons sont moyennement appréciés par les juges. L'ananas (Vh=7,64) semble être plus appréciée.

Les valeurs hédoniques obtenues par tous les produits séchés sont supérieures à la moyenne 5. On peut dire que tous ces produits sont appréciés par les consommateurs.

Tableau 21 : Appréciation globale des produits analysés en pourcentage de sujets

	Notes < à 5	Notes égale à 5	Notes > à 5
Papaye	15,94 %	4,34 %	79,7 %
Goyave	5,79 %	8,69 %	85,50 %
Ananas	1,28%	1,28%	97,43%
Oignon	12,82%	17,94%	69,23%

La note égale à 5 qualifie l'indifférence (produit ni apprécié, ni non apprécié)

L'ananas séché est le produit le plus apprécié avec 97,43% des personnes qui lui ont attribué une note supérieure à 5.

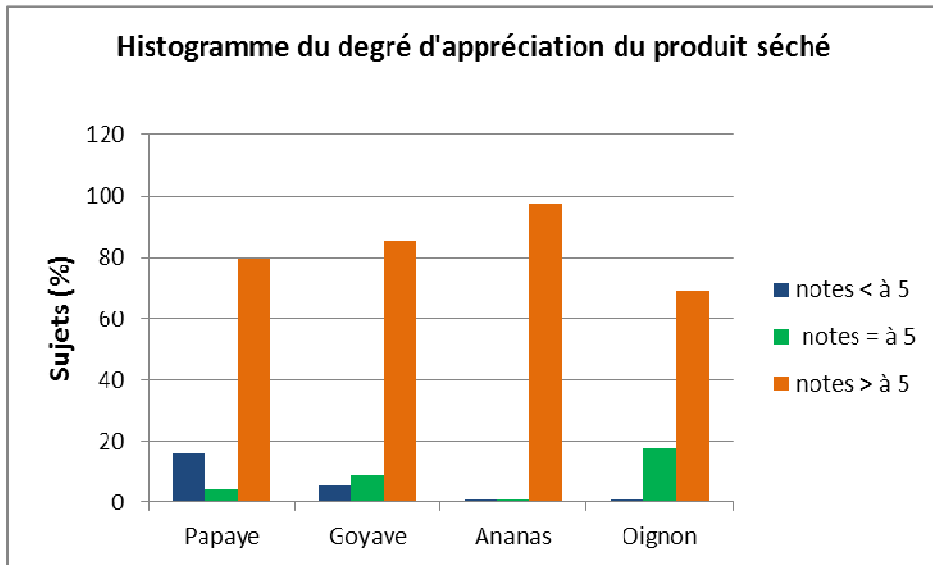


Figure 27 : Degré d'appréciation du produit séché

69 % des sujets ont donné une note supérieure à 5 pour l'oignon séché. Pour la papaye, la goyave et l'ananas, les pourcentages de sujet appréciant le produit sont plus élevés : pour l'ananas, 97,43% des sujets ont donné une note supérieure à 5.

*Conclusion générale et
perspectives*

Conclusion :

Ce travail nous a permis :

- de déterminer et de comparer les paramètres de séchage (la durée de séchage ainsi que les teneurs en eau minimales pouvant être atteintes) des fruits et légumes séchés par le séchoir solaire Boara avec ceux des fruits et légumes séchés à l'air libre.
- de relever les températures moyennes dans le séchoir Boara au cours d'une journée.
- de voir comment les caractéristiques nutritionnelles des fruits et légumes peuvent être influencées par le mode de séchage.
- de montrer que les deux modes de séchage provoquent par ailleurs une baisse des teneurs en caroténoïdes et vitamine C ainsi que de la capacité antioxydante. Toutefois, les vitamines et les antioxydants sont mieux préservés avec le séchoir solaire Boara.
- de montrer que les résultats des analyses microbiologiques des produits séchés par le séchoir Boara sont satisfaisants par rapport aux normes en vigueur, concernant les fruits et légumes séchés.
- de démontrer que le séchage utilisant le séchoir Boara, s'effectuant à l'abri du soleil donne de meilleurs résultats sur les qualités nutritionnelles et microbiologiques des produits séchés par rapport à celui réalisé au soleil direct et à l'air libre.
- d'évaluer le degré d'appréciation, par les consommateurs, des produits séchés avec le séchoir Boara.

Au final, il ressort de notre travail que le séchoir solaire Boara mériterait d'être recommandé auprès des producteurs pour la conservation de leur récolte dans de bonnes conditions. En effet, il semble mieux préserver les vitamines et les antioxydants des produits que le séchage traditionnel.

Perspectives :

Toutefois, ce travail n'est pas parfait. A l'avenir il serait intéressant :

- d'utiliser le séchoir Boara le séchage avec d'autres fruits et légumes
- de mesurer l'Aw des produits au cours du séchage
- d'estimer la durée de conservation des produits séchés
- d'étudier l'évolution des teneurs en caroténoïdes et en vitamine C au cours du stockage des fruits et légumes secs.
- d'effectuer le séchage sur des fruits et légumes préalablement traités (saturés en sucre par exemple).
- de déterminer et d'évaluer les caractéristiques organoleptiques de chaque produit en identifiant les descripteurs dominants.
- d'exploiter les résultats obtenus au laboratoire pour passer à l'échelle industrielle.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

1. ABOUNDA S., 2005. Effet de la cuisson à eau et de la friture sur la teneur en carotène de deux variétés de Patates Douce (*Ipomea batatas*) des provinces du Littoral et du centre du Cameroun. Mémoire de Maîtrise Université de Douala Cameroun, pp 7 -8.
2. AFNOR, 1993. Corps gras, grains oléagineuses, produits dérivés, AFNOR, 663p
3. ALAIS C., LINDEN G., 1991. Biochimie alimentaire, 2^eéd. Masson, Paris, 245p.
4. ALEXANDER R.J., 1997, Sweeteners: Nutritive. Eagan Press Handbook Series. www.EUFIC.org
5. AMIOT-CARLIN M., CAILLAVET F., CAUSSE M., COMBRIS P., DALLONGEVILLE J., PADILLA M., RENARD C., SOLER L., 2007. Les fruits et légumes dans l'alimentation. Enjeux et déterminants de la consommation. Expertise scientifique collective, INRA. France, 80p.
6. ANDERSON R.A., ROUSSEL A.M., ZOUARI N., MAHJOUB S., MATHEAU J.M., KERKENI A., 2001. Potential antioxidant effects of zinc and chromium supplementation in people with type 2 diabetes mellitus. J. Am. Coll. Nutr., 20, 212-218.
7. ANDRIATSITOHAINA M.V.T., 2011. Compotes de fruits en pots plastiques : formulation, sélection, étude de conservabilité : Cas de la société CODAL. Mémoire en fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur agronome. ESSA, Département Industries Agricoles et Alimentaires.
8. AOAC, 1991. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Washington DC.
9. ASEHRAOU A., FAID M., AKHARTOUF R., 1993. Pure culture fermentation of green olives by Lactobacillus strains. Microbiologie-Aliments-Nutrition, 11, pp 221-228.
10. AURELIE D., 2011. Sucres naturels et extraits de fruits. Propriétés et intérêts nutritionnels. Nutritis, pp 9-11.
11. BELLEVILLE, 2001. Bionichepharma. Canada ; LTD

12. BIENG F., 2005. Contribution à l'étude phytochimique des pulpes de *Dioscorea schimperiana*. Mémoire de Maîtrise, Université de Douala Cameroun, pp 8-11.
13. BONNIN E., RENARD C., THIBAUT J.F., DUCRO P., 1997. Les enzymes de dégradation des parois végétales: mode d'action et utilisation alimentaires. Enzymes en Agro-alimentaire. Larreta-Garde V., Ed. Techniques et Documentations. Lavoisier, pp 168-200.
14. BOURGEOIS C.M., LEVEAU J.Y., 1991. Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Le contrôle microbiologique. Volume 3. LAVOISIER : Tec et doc, APRIA, Paris, pp 27 – 276.
15. BRETON A., 1985. Identification des moisissures. Dans : Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle. BOTTON, Ed. Masson Paris, pp 34-209.
16. BRUNETON J., 1993. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 2e édition, Lavoisier, Paris, pp 211 - 213.
17. CAROLE B., 2008. Etude électrochimique de molécules antioxydantes et de leur association en milieux homogène et biphasique - Application aux produits dermocosmétiques. Thèse de doctorat en Génie des procédés et environnement .Université Toulouse III.
18. CARSENTI O., MICHEL S., 2009. Etude clinique et activités biologiques de la papaye, *Carica papaya* L., Caricaceae. 63p. Thèse de doctorat : Pharmacie. Paris, Descartes.
19. CHALCHAT J.C., 1997. Les plantes ; sources naturelles d'antioxydant. Ital. EPPOS N°spécial de Janvier 97, pp 213 - 230.
20. CHARLES F., 2004. Emballages actifs et conservation des fruits et légumes frais et / ou faiblement transformés : Etude d'un emballage sous atmosphère modifiée assisté par un sachet absorbeur de gaz. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier.
21. CHEFTEL J.C., CHEFTEL H, 1977. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Ed. Technique et documentation. Lavoisier, Paris, vol. 1, 381p.

22. CHERIOT S., 2007. Rôle des produits de réaction de Maillard dans l'inhibition de l'oxydation enzymatique des phénols et des lipides. Thèse pour obtenir le grade de Docteur en Sciences de l'aliment. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech).
23. CITE, 2005. Synthèse d'étude de filière : La transformation des fruits à Madagascar.
24. COMELADE E., 1999. Technologie et hygiène alimentaire : Les nutriments, 7ème éd. Paris : JACQUES LANORE, 144p
25. CTA, 2008. Le séchage des produits agricoles. Centre technique de coopération agricole et rurale. Programme de Radio Rurale, Pays Bas.
26. CUN C.H., LESGARDS G., 1993. Aliments: Etude de certaines propriétés physicochimiques des pectines. Cahiers de nutrition et de diététique, 28 (5), pp 292-297.
27. DANIEL, MEIER, SCHLATTER, FRISCHKNECHT, 1999. Selected phenolic compounds in cultivated plants: ecologic functions, health implications, and modulation by pesticides. Environ. Health Perspect, 107, pp 109-114.
28. DAVID W., PETERA, VICTOR W., 1985. Précis de biochimie de Harper, 6e éd. ESKA, Paris, 746p.
29. DE RITTER E., PURCELL A.E., 1981. Carotenoids Analytical methods. Dans: Carotenoids as colorants and vitamin A precursors. Ed. BAUERNFEIND J.C., Academic Inc London LTD, pp 815-820.
30. DELPHINE D., 2003. Qualité microbiologique des fruits et légumes : flores, altérations, risques sanitaires, prévention. Rapport de Recherche Bibliographique, 2p.
31. DLEAA, 2009. Direction des laboratoires d'expertises et d'analyses alimentaires. Centre québécois d'inspection des aliments et de santé animale ; lignes directrices pour l'interprétation des résultats analytiques en microbiologie alimentaire, Québec, Canada.
32. DONALD M.L., MARTIN F., 2002. Manuel sightand life sur les troubles dus à la carence en vitamine A (TCVA), 172p.

33. DUDEZ P., 1996. Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes, 159p.
34. EITENMILLER R., YE L., LANDEN J., WO, 2008. Ascorbic acid : vitamin C. Elaboration d'une table de composition nutritionnelle des aliments vecteurs de glucides simples. CREDOC.
35. ETOURNAUD A., 2007. Chimie des denrées alimentaires. Glucides
36. FAO, 1970. Pour mieux se nourrir. Guide à l'usage de l'éducateur à Madagascar, Rome: FAO, 128p
37. FAO, 2001. La nutrition dans les pays en développement. Rome: FAO, 565p.
38. FAO/WHO, 2002. Vitamin and mineral requirements in human nutrition.
39. GERVAISE I.M., 2004. Analyse des antioxydants naturels dans les matières premières et les produits. Polyphénols, Euro forum, Paris.
40. GOULD G. W. 2000. Préservation des denrées alimentaires : Présent, passé et future.
41. GRAY J., PICTON S., 1992. Molecular biology of fruit ripening and its manipulation with antisense genes. Plant Molecular Biology, Kluwer Academic Publishers. 19: 69-87.
42. GRIERSON D., 1987. Senescence in fruits. Hort Science 22(5): 859-862.
43. GUERSSON N., 2004. Les nouvelles mesures en matière de réglementation : l'étiquetage des denrées alimentaires.
44. HARINIRINA P., 2009. Optimisation des procédés de production de la confiture artisanale. Mémoire en fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur agronome. ESSA, Département Industries Agricoles et Alimentaires, 112p.
45. HUANG D., OUB, PRIOR R.L., 2005. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53 (6): 1841-1856.
46. INSTAT, 2005 à 2008. Statistiques agricoles, Annuaire 2005 à 2008. Service de la statistique agricole.

47. JIALAL I., FULLER C.J., HUET B.A., 1995. The effect of alpha-tocopherol supplementation on LDL oxidation. A dose-response study. *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology* 15(2), 190-198.
48. KREGGER, VAN R., 1987. Classification of yeasts. In: *The yeasts*, Rose and Harrison 2nd edition, London, pp 5-55.
49. LAREN M.D.S., FRIGG M., 2002. Guide pratique sur la vitamine A dans la santé et la maladie. *Voir et Vivre*, seconde édition, Suisse, pp 1 - 39.
50. LARPENT J.P., 1997. *Microbiologie des aliments : techniques de labo*. Londres, Paris, New York : Technique et documentation Lavoisier, pp 111-127.
51. LAVILLE E., 1994. La protection de fruits tropicaux après récolte. CIRAD- COLEAP, 189p.
52. LE GOFF A., 2001. Influence de la structure fine des pectinases sur le mode d'action d'endopolygalacturonase sauvage et mutant du champignon *Fusarium moniliform*. Thèse de doctorat d'état. Université de Nantes France.
53. LEE D., KIM N., LEE S., 2001. 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl Hydrate, a Stable Free Radical, Is an α -Glycosidase Inhibitor, *J Biological & pharmaceutical bulletin*, Volume 24, No 6, pp 727-728.
54. LEVRAL G., VIERLING E., 1997. *Microbiologie et toxicologie des aliments : hygiène et sécurité alimentaires*, 2éd. Alsace-Lorraine : Doin éditeurs.
55. LEVY J., BOSIN E., FELDMAN B., 1995. Lycopene is a more potent inhibitor of human cancer cell proliferation than either carotene or beta-carotene. *Nutr. Cancer*, 24, 257-266.
56. MADET N., 2004. L'acide ascorbique et son utilisation en tant qu'additif dans les industries alimentaires.
57. MAEP, 2004. Enquête annuelle sur la production agricole campagne. Filière de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche et action du MAEP, Tome.

58. MALEWIAK M.I., LEYNAUD-ROUAD C., SERVILLE Y., 1992. Aliments et nutriments In: DUPIN H., CUQ J.L, MALEWIAK M.I, LEYNAUD-ROUAD C., BERTHIER A.M. Alimentation et nutrition humaine. ESF éditeur, Paris. pp 85 – 167
59. MARIE H., 2007. La régulation transcriptionnelle de l'expression génique dans le fruit de tomate : caractérisation fonctionnelle de promoteurs fruit-spécifiques et d'un cofacteur de la transcription de type MBF1. Thèse de Doctorat. Institut national de polytechnique de Toulouse.
60. MEYER A., DEJANA J., LECLERC H., 1984. Cours de microbiologie générale. Paris, Doin éditeur, 309p.
61. NAIDU K., 2003. Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An overview. Nutr. J. 21, 2-7.
62. NDAWULA J., KABASA J.D., BYARUHANGA Y. B., 2004. Alterations in fruit and vegetable b-carotene and vitamin C content caused by open-sun drying, visqueen-covered and polyethylene-covered solar-dryers. African Health Sciences, 126p.
63. NOUT R., HOUNHOUGAN J., BOEKEL T.V., 2003. Les aliments transformations-conservations et qualités. 263p.
64. PARK P.J., JUNG W.K., 2001. Purification and characterization of antioxidative peptides from protein hydrolysate of lecithin-free egg yolk. Journal of the American oil Chemists Society, 78(6), 651-656.
65. PECH J.C., RAYNAL J., 1994. Physiologie des fruits à noyau lors du développement et de la maturation sur l'arbre. Qualité post-récolte et produits dérivés chez les fruits à noyau.
66. PINCEMAIL J., MEURISSE M., LIMET R., DEFRAIGNE J.O., 1999. Méthodes d'évaluation du stress oxydatif chez l'homme : importance en matière de prévention. Medi- sphère.

67. RABEARISON N.I., 2012. Conception et mise au point de complément nutritionnel à base d'ananas et d'*Aloema croclada* : Jus et Pâte. Mémoire en fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur agronome. ESSA, Département Industries Agricoles et Alimentaires.
68. RABENIARIFENO J., 2010. Projet de création d'une entreprise de production d'ananas et de papayes confits sis à Antananarivo Renivohitra. Département Gestion, Université d'Antananarivo, 1p.
69. RALISON C., BADER E., DELIGIA C., DOP M.C., 2005. Profil Nutritionnel de Madagascar. Division de l'Alimentation et de la Nutrition, FAO, 49p (http://www.fao.org/es/ESN/nutrition/profiles_en.stm).
70. RAMAROSON M.K., 2013. La mise au point de vinaigres au sirop d'ananas et au sirop de pok-pok. Mémoire en fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur agronome. ESSA, Département Industries Agricoles et Alimentaires.
71. RAMBOATIANA F., 2010. Contribution de l'utilisation de fruits séchés comme support de remèdes homéopathiques : cas de la purée de papaye séchée. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome Option Industries Agricoles et Alimentaires.
72. RANOVONA Z., 2012. Caractéristiques nutritionnelles, capacité antioxydante et facteurs antinutritionnels de quelques légumes feuilles malgaches. Mémoire pour l'obtention du diplôme de DEA, Option Biochimie Alimentaire. Département de Biochimie Fondamentale et appliquée. Université d'Antananarivo.
73. RATSIMANDRATRA F., 2004. Contribution à la valorisation de l'ananas d'Arivonimamo : cas du jus d'ananas et des ananas séchés ; Mémoire de fin d'études, Département IAA-ESSA, 149p.
74. RAZAFINDRATOVO L.V., RALISON C., RAJAONARISON N.S. et RABEHARINRASANA L.M., 2012. Etuvage et lyophilisation des légumes feuilles. Bulletins de l'académie Malgache, XCI/1.

75. REED C., 2009. Onions (*Allium cepa*, Liliaceae) Fresh Bulbs for Consumption from China, DRAFT FOR CONSULTATION MAF Biosecurity New Zealand.
76. RENARD C., 2005. Effects of conventional (boiling on the polyphenols and cell walls of pears). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85(2), 310-318.
77. ROSSET P., 2002. La chaîne du froid en agroalimentaire. 21 Ed, Sciences et Technologies, 45
78. SAUBERLICH H.E., 1994. Pharmacology of vitamin C. *Annual review of nutrition*, 14, 371-391.
79. SERPEN A., GOKMEN V., PELLEGRINI N., FOGLIANO V., 2007. Direct measurement of the total antioxidant capacity of cereal products. *Journal of Cereal Science*, 48, 816-820.
80. SHIRIMPTON D.H., 1993. Nutritional aspects of Vitamins. In: *The technology of Vitamins in food*. Ed: Berry Ottaway P., Kluwer Academic Publishers. pp 22-25.
81. SIES H., STAHL W., 1995. Vitamin E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. *Am. J. Clin. Nutr.*, 62, 1315S-1321S.
82. SILOU T., 2003. Besoins et offre de technologie post-récolte dans l'agroalimentaire en Afrique subsaharienne: Rôle des technologues dans le développement de la petite entreprise. *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles*, 35p.
83. SIMPSON K.L., TSOU T.C. 1987. Biochemical methodology for the assessment of carotenoid. *International Vitamin A consultative group*, Washington, 45p.
84. TONNELAT J., 1968. *Biophysique I Energétique, cinétique, isotope*. Masson et Cie, Paris.
85. TREBITSCH T., GOLDSCHMIDT E. E., 1993. Ethylene induced de novo synthesis of chlorophyllase, a chlorophyll degrading enzyme in citrus fruit peel. *Proc Natl Acad Sci, USA* 90: 9441-9445.

86. VAMOS-VIGYAZO L., MIHALYI K., 1976. Review of the International Litterature on Diphenol Oxidases of Peaches Cultivars. *Confructa*, 6, pp 234-241.
87. VORAGEN A., PILNIK W., THIBAUT J. F., AXELOS M., RENARD C., 1995. Pectin. *Food Polysaccharides and their Applications*. Ed. STEPHEN, pp 287-339.
88. WATTS B. M., YLIMAKI G.L., JEFFERY L.E., ELIAS L.G., 1991. Basic sensory methods for food evaluation. Centre de recherches pour le développement international, 145p.
89. WEIL, 1995. *Biochimie générale*, 7ème éd. Masson, Paris, 572p
90. WEINMAN S., MEHUL P., 2004. *Toute la biochimie*. DUNOD, Paris, 452p.
91. WELL J., BONNET J., BOULANGER Y., DUBERTRET G., MONTREUIL J., 1998. *Biochimie Générale*. Masson, Paris, pp 1 - 283.
92. YANG, HOFFMAN, 1984. *Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants*.
93. ZAFIMAHOVA K., 2006. Contribution à la valorisation du gingembre de Beforona : Cas du séchage. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome Option Industries Agricoles et Alimentaires.

Webographie

www.cta.int, 2012.

Annexes

Annexe 1 : Modes d'utilisation des produits séchés (DUDEZ P., 1996)

Il existe trois grands modes d'utilisation des produits séchés :

- la consommation en l'état : cela concerne principalement les fruits. La mangue, la banane, l'ananas, la papaye ne nécessitent aucune préparation particulière ;
- la réhydratation : la plupart des légumes séchés doivent être réhydratés dans une petite quantité d'eau avant la cuisson. La durée de la réhydratation varie en fonction des produits : 10 à 15 minutes pour l'oignon, la tomate, le chou, 30 minutes pour la carotte, la courge, le haricot vert, les tubercules. Après la réhydratation, le produit reprend du volume et se prépare comme le produit frais avec cependant un temps de cuisson plus court ;
- l'incorporation directe dans les plats cuisinés : La tomate, l'oignon, les piments et les légumes à feuille (chou, épinard) peuvent être réduits en poudre et directement ajoutés au plat ou dans la sauce.

Annexe 2 : Réactifs utilisés pour le dosage des sucres réducteurs

- La liqueur de Fehling est préparée en mélangeant des volumes égaux :
 - De la solution A contenant 3,5 mol/L d'hydroxyde de sodium et 1 mol/L de tartrate de sodium et potassium.
 - De la solution B solution de sulfate de cuivre II.

- La solution de CARREZ I :

- La solution de CARREZ II :

Mélanger 10g de l'échantillon avec 50ml d'eau distillée Quelques millilitres de la solution déféquée sont prélevés et versés goutte à goutte dans la liqueur de Fehling, l'ébullition étant maintenue.

Annexe 3 : Stabilité et linéarité de la solution de DPPH

Lors de la première analyse, la stabilité et la linéarité de la solution de DPPH ont été vérifiées pour s'assurer que la solution de DPPH peut encore être utilisée pour les analyses. Pour cela, des courbes de stabilités ont été tracées : Absorbances DPPH= f (temps) et une droite de calibration a aussi été tracée : Absorbance = f ([DPPH]).

Absorbances à 517 nm des solutions filles de DPPH en fonction du temps :

temps (min)	Concentration des solutions de DPPH (μM)				
	100	50	25	10	5
0	1,080	0,573	0,159	0,051	0,046
10	1,078	0,572	0,152	0,045	0,044
20	1,086	0,572	0,148	0,042	0,043
30	1,090	0,574	0,146	0,039	0,043
40	1,093	0,576	0,143	0,036	0,042
50	1,096	0,577	0,143	0,036	0,042
60	1,096	0,577	0,143	0,036	0,042

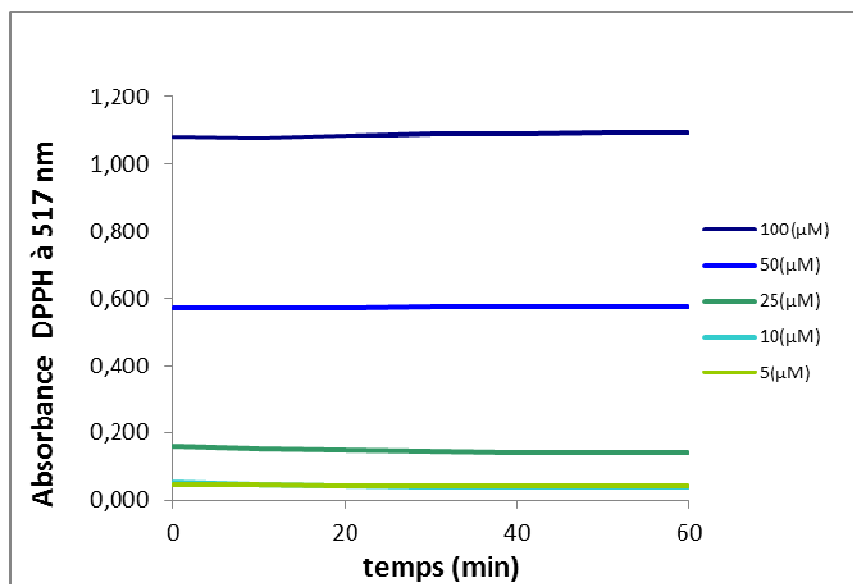


Figure a : Courbes de stabilité de la solution de DPPH Absorbances DPPH = f (temps)

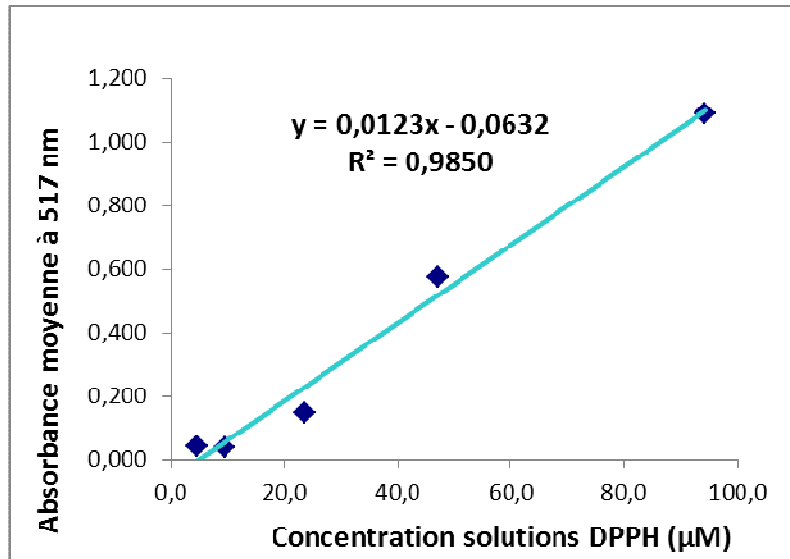


Figure b : Droite de calibration de la solution de DPPH : Absorbance = f ([DPPH])

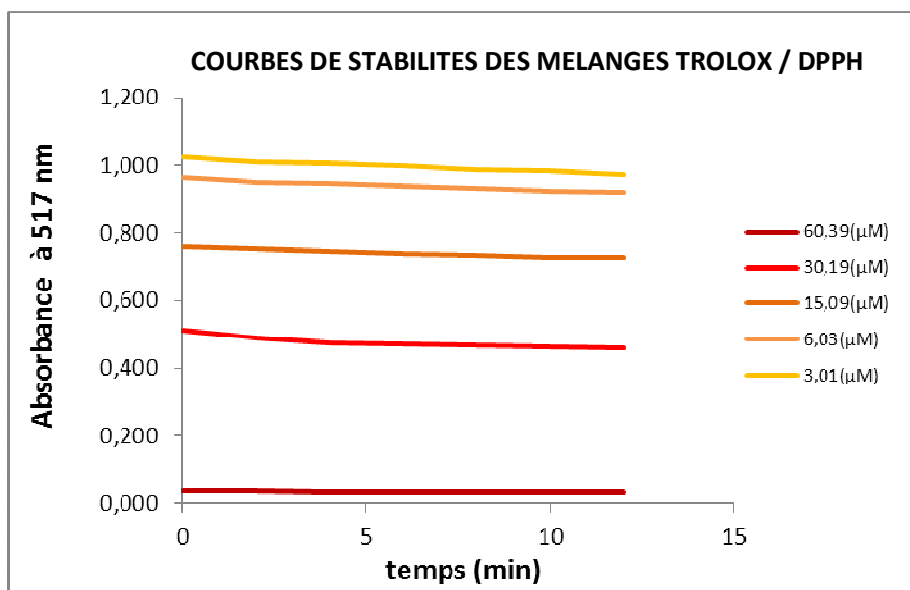
Les courbes de stabilité (Figure a) montrent que la solution de DPPH est suffisamment stable pour pouvoir être utilisée pendant une heure sans qu'elle se détériore. La droite de calibration (Figure b) montre aussi que les solutions filles de DPPH donnent une courbe linéaire avec un R^2 supérieur à 0,99. Cela signifie que l'absorbance de la solution est bien proportionnelle à la concentration de radicaux libres de DPPH dans la solution mesurée.

Annexe 4 : Stabilité des solutions filles de Trolox

Lors de la première analyse, la stabilité des solutions filles de Trolox préparées pour la gamme étalon a été vérifiée. Pour cela, l'absorbance des différentes solutions a été mesurée toutes les 2 minutes, et les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Absorbances à 517 nm des solutions filles de Trolox en fonction du temps

temps (min)	Concentration des solutions filles de Trolox (μM)				
	0,060	0,030	0,015	0,006	0,003
0	0,037	0,512	0,760	0,966	1,024
2	0,035	0,489	0,752	0,952	1,011
4	0,034	0,475	0,744	0,945	1,005
6	0,034	0,472	0,737	0,938	0,997
8	0,034	0,467	0,732	0,933	0,989
10	0,034	0,465	0,727	0,926	0,982
12	0,033	0,460	0,724	0,920	0,974



Courbes de stabilité des solutions filles de Trolox : Absorbance = f (temps)

Les courbes présentées sur cette figure montrent que les solutions filles de Trolox sont stables au cours du temps et qu'elles peuvent effectivement servir de référence pour la mesure de la capacité antioxydante des échantillons.

Titre : « Etude des modalités de séchage de fruits et légumes au moyen du séchoir solaire Boara. Qualités nutritionnelles et microbiologiques des produits obtenus »

Auteur : HARISOAMAHEFA Hanitriniony

Encadreurs : Pr. Charlotte RALISON et Dr. Lalao Valérie RAZAFINDRATOVO

Résumé :

Le séchage solaire, par exposition directe au soleil, sur des nattes ou sur les toits des habitations, est la méthode traditionnellement utilisée à Madagascar pour conserver les fruits et légumes. Le présent mémoire étudie et compare l'efficacité de deux modes de séchage solaire, traditionnel d'une part et utilisant le séchoir indirect proposé par l'association Boara d'autre part. L'étude des qualités nutritionnelles et microbiologiques des produits séchés est également effectuée.

Quatre espèces de fruits et légumes : papaye, goyave, ananas et oignon ont été sélectionnées pour notre étude. Les durées de séchage pour atteindre la teneur en eau minimale sont plus courtes avec le séchoir : par exemple 8h contre 12h pour l'oignon. La teneur en eau finale des produits séchés par le séchoir est de 9,06% contre 19,18% pour la papaye. Les rendements de séchage sont satisfaisants : 18% pour l'oignon, 14% l'ananas et 11,52% et 9,01% pour la goyave et la papaye respectivement.

La teneur en sucres réducteurs pour l'ananas frais est de 6,25g par 100g de MB. Celle de l'ananas séché est de 12,5g par 100g de MB. L'acidité titrable pour l'ananas frais est de 10 méq par 100g de MB. Après le séchage, elle est de 34,5 méq par 100g de MB.

Les produits séchés par le séchoir Boara ont tous un meilleur taux en caroténoïdes et en vitamine C que ceux séchés à l'air libre. A titre d'exemple, la teneur en caroténoïde de la papaye séchée avec le séchoir Boara est de 943,29 µg de MS contre 902 µg/100g de MS pour celle séchée à l'air libre. Pour la teneur vitamine C : 126,37 mg/100g de MS pour la goyave séchée avec le séchoir contre 29,84 mg/100g pour celle séchée à l'air libre. La capacité antioxydante est également mieux préservée pour chaque produit séché par le séchoir Boara : 136,20 µmol TE / g MS contre 46,83 µmol TE / g MS pour la papaye séchée.

Les produits séchés obtenus sont satisfaisants du point de vue microbiologique. Les analyses sensorielles ont montré qu'ils sont généralement tous appréciés.

Ces résultats ont permis de déterminer les avantages de l'utilisation d'un séchoir solaire indirect pour sécher les fruits et légumes. Les produits obtenus par le séchoir sont de bonnes qualités nutritionnelles et microbiologiques.

Mots clés : Fruits, légumes, séchage, séchoir Boara, qualités nutritionnelles.

Title: « Study of drying methods of fruits and vegetables using the Boara solar dryer. Nutritional and microbiological qualities of products obtained »

Author: Hanitriniony HARISOAMAHEFA

Advisor: Pr. Charlotte RALISON and Dr. Lalao Valerie RAZAFINDRATOVO

Abstract:

The solar drying by direct sunlight, on mats or on the roofs of houses, is the traditional method used in Madagascar to preserve fruits and vegetables. This memory studied and compared the effectiveness of two types of solar drying, traditional on one hand and Boara indirect dryer combination on the other. The study on nutritional and microbiological quality of dried products was also performed.

Four species of fruits and vegetables: papaya, guava, pineapple and onion were selected for this study. Drying times to reach the minimum moisture content are shorter with the dryer for example 8h against 12h for onion.

The final water content of the kiln dried products is 9.06% against 19.18% for papaya. Yields are satisfactory: 18% onion, 14% pineapple and 11.52% and 9.01% for the guava and papaya respectively.

The reducing sugars content in fresh pineapple is 6.25 g per 100g gross weight. That of dried pineapple is 12.5 g per 100g gross weight. The titratable acidity of fresh pineapple is 10 meq per 100g weight. After drying, it is 34.5 meq per 100g weight.

Products dried using the Boara dryer have a better rate in carotenoids and vitamin C than those dried in the open air. The carotenoid content of the dried papaya: 943.29 mg against 902 mg/100 g edible MS to MS. For vitamin C content: 126.37 mg/100g DM for dried guava by the dryer against 29.84 mg/100g for that dried in the open air. The antioxidant capacity is also better preserved for products dried by the Boara dryer: 136.20 $\mu\text{mol TE / g DM}$ against 46.83 $\mu\text{mol TE / g DM}$ for papaya.

The obtained dried products are acceptable in the microbiological point of view. Sensory analysis showed that they are all generally appreciated.

These results were used to determine the benefits of using an indirect method of solar dryer fruits and vegetables. The dried products obtained are of good nutritional and microbiological qualities.

Keywords: Fruits, vegetables, drying, Boara dryer, nutritional qualities.

