

Table des matières

Glossaire.....	i
Liste des abréviations.....	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Introduction générale.....	1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

GENERALITES SUR LE <i>CURCUMA</i>	3
I.1. Bref historique de la découverte du curcuma... ..	3
I.2. Origine phytogéographique	3
I.3. Position systématique.....	3
I.4. Principaux caractères botaniques du genre <i>Curcuma</i>	4
<i>Les feuilles</i>	4
<i>Le rhizome</i>	4
<i>Les fleurs</i>	4
I.5. Ecologie	5
I.6. Aire de distribution	5
I.6.1. Au niveau mondial.....	5
I.6.2. A Madagascar	5
I.7. Utilisation du curcuma.....	6
I.7.1. Utilisation culinaire.....	7
I.7.2. Usage thérapeutique.....	7
Le curcuma dans la recherche thérapeutique	8
I.7.3. Usage cosmétique	8

I.7.4. Usage agronomique	9
I.8. Production et exportation	9
I.10. Composition chimique du rhizome	10
II. Oxydation et antioxydants.....	10
II.1. Oxydation cellulaire.....	10
II.2. Stress oxydatif	11
II.3. Les antioxydants	11
<i>II.3.1. Définition</i>	<i>11</i>
<i>II.3.2. Historique</i>	<i>12</i>
<i>II.3.3. Importance</i>	<i>12</i>
<i>II.3.4. Mode d'action des antioxydants</i>	<i>12</i>
<i>II.3.5. Les antioxydants dans l'alimentation</i>	<i>13</i>
<i>II.3.6. Familles d'additifs antioxydants.....</i>	<i>13</i>
<i>II.3.7. Antioxydants et santé</i>	<i>13</i>
II.4. Les curcuminoïdes	14
III. QUALITE ALIMENTAIRE.....	15
III.1. Analyse sensorielle.....	15
<i>III.1.1. Les épreuves discriminatives.....</i>	<i>16</i>
<i>III.1.2. Les épreuves descriptives</i>	<i>16</i>
<i>III.1.3. Les épreuves hédoniques</i>	<i>16</i>
III.2. Qualité sanitaire.....	16
III.3. Qualité marchande.....	16
III.4. Qualité nutritionnelle.....	16
III.4.1. Les nutriments	17
III.4.2. Les macronutriments	17
III.4.2.1. Les glucides.....	17

III.4.2.2. Les protéines	17
III.4.2.3. Les lipides	18
III.4.3. Les micronutriments.....	18
III.4.3.1. Les sels minéraux	18
III.4.3.2. Les vitamines.....	18
IV. CONSERVATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES	19
IV.1. Définition	19
IV.2. Les différentes techniques de conservation.....	19
IV.2.1. Le froid.....	19
IV.2.2. L'acidité	19
IV.2.3. Le chauffage.....	20
IV.2.4. Séchage et déshydratation	20
IV.2.4.1. Séchage solaire direct.....	20
IV.2.4.2. Séchage solaire indirect.....	20
 MATERIELS ET METHODES	
I. MATERIELS	21
I. Le matériel végétal.....	21
I.1.1. Justification de choix	21
I.1.2. Collecte du matériel végétal	21
I.2. Description du séchoir indirect	21
I.2.1. Boite de séchage.....	22
I.2.2. Claie	22
I.2.3. Capteur solaire	23
I.2.4. Conduit d'évaporation.....	23

II. METHODOLOGIE	23
II.1.Préparation des échantillons	23
II.2.Diagramme de fabrication	25
II.3.Détermination de la teneur en eau	26
II.3.1.Principe	26
II.3.2.Mode opératoire.....	26
II.3.3.Mode de calcul.....	26
II.4.Comparaison de la température en fonction du type de séchoir utilisé	27
II.5.Comparaison de la vitesse de séchage et en fonction du type de séchoir utilisé	27
II.6.Détermination du rendement de séchage	27
I.7.Préparation des poudres de <i>Curcuma</i>	27
II.8.Conditionnement.....	28
II.9.ANALYSE DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE DU CURCUMA.....	28
II.9.1.Dosage des protéines	28
II.9.1.1.But	28
II.9.1.2. Principe.....	28
<i>II.9.1.3. Mode opératoire</i>	29
<i>II.9.1.3.1. Minéralisation</i>	29
<i>II.9.1.3.2. Distillation</i>	29
<i>II.9.1.3.3 .Dosage (Titrimétrie)</i>	29
<i>II.9.1.4. Mode de calcul</i>	29
<i>II.9.1.4.1. Teneur en azote</i>	29
<i>VI.9.1.4.2. Teneur en protéines</i>	30
II.9.2.Détermination de la teneur en matières grasses.....	30
<i>II.9.2.1.But</i>	30
<i>II.9.2.2.Principe</i>	30
<i>II.9.2.3.Mode opératoire</i>	30
<i>II.9.2.4.Mode de calcul</i>	30

II.9.3. Détermination de la matière minérale.....	31
II.9.3.1. Principe.....	31
II.9.3.2. Mode opératoire	31
II.9.3.3. Mode de calcul.....	31
II.9.4. Dosage des caroténoïdes.....	31
II.9.4.1. Principe.....	32
II.9.4.2. Mode opératoire	32
II.9.4.2.1. Préparation des échantillons	32
II.9.4.2.2. Etablissement de la gamme étalon.....	32
II.9.4.2.3. Lecture de la concentration des échantillons	33
II.10. Mesure de la capacité antioxydante par le radical DPPH.....	33
II.10.1. Principe.....	33
II.10.2. Mode opératoire	34
II.10.2.1. Préparation de la solution DPPH	34
II.10.2.2. Préparation du trolox	35
II.10.2.3. Mesure directe de la capacité antioxydante des échantillons par le radical DPPH.....	35
II.10.3. Mode de calcul.....	35
II.11. Analyse sensorielle du <i>Curcuma</i>	36
II.11.1. Objectif.....	36
II.11.2. Principe.....	37
II.11.2. Déroulement du test.....	37
II.11.4. Traitement des données	38

RESULTATS ET DISCUSSION

I. COLLECTE ET TRANSFORMATION.....	39
I.1. Culture de <i>Curcuma</i> et collecte d'échantillon.....	39
II. Teneur en eau et en matière sèche des produits.....	39
II.1.1. Teneur en eau pour les échantillons séchés au Boara	40

II.1.2. Teneur en eau du curcuma séché en plein air	40
II.2. Diagramme de transformation du rhizome	41
II.3. Rendement massique de transformation	42
II.5.Rendements du séchage	43
III. CINETIQUE DU SECHAGE DU RHIZOME	43
III.1. Comparaison de la température en fonction du type de séchoir utilisé.....	43
III.1.1.Variation de la température lors du séchage du curcuma non épluché	43
III.1.2.Variation de la température lors du séchage du curcuma épluché	45
III.2. Cinétique de séchage du produit selon le type de séchoir	46
III.2.1. Cinétique de séchage du curcuma non épluché.....	46
III.2.2. Cinétique de séchage du curcuma épluché.....	47
IV. VALEUR NUTRITIONNELLE DU <i>Curcuma longa</i>	49
IV.1. Teneurs en protéines	49
IV.2. Teneurs en matières grasses	49
IV.3.Teneurs en minéraux	50
IV.4.Teneurs en provitamine A	50
IV.5. Comparaisons statistiques de la valeur nutritionnelle selon le type de traitement et le type de séchoir.....	50
IV.5.Valeur énergétique de <i>Curcuma</i>	51
V. CAPACITE ANTIOXYDANTE	52
VI. ANALYSE SENSORIELLE	52
VI.1.1. Appréciation globale de la couleur	53
VI.1.2.Appréciation globale de l'odeur.....	53
VI.1.3.Appréciation globale du goût.....	54
VI.2.Classement	55
VI. DISCUSSION	57

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....61

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

ABSTRACT

RESUME

Glossaire

Caroténoïde : Précurseur de la vitamine A, présent dans de nombreux végétaux alimentaires, ayant des propriétés d'antioxydant et d'immunostimulant.

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 la propriété de se diviser indéfiniment.

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

Monadique : Présentation des échantillons un à un, individuellement.

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 : Propriété organoleptique perceptible par l'organe olfactif en flairant certains produits.

Organoleptique : Terme qualifiant les substances qui peuvent impressionner les organes sensoriels.

Rhizome : Tige charnue poussant horizontalement sous la surface du sol.

Sujet naïf : Personne n'ayant pas été entraînée à une analyse organoleptique

Liste des abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

AFNOR : Association Française de Normalisation

AVC : Accident Vasculaire Cérébrale

BE : Boara épluché

BNE : Boara non épluché

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

LABASAN : Laboratoire de Biochimie appliquée aux sciences de l'Alimentation et à la Nutrition

MS : Matière sèche

SE : Soleil épluché

SNE : Soleil non épluché

Liste des figures

Figure 1 : <i>Curcuma longa</i> ; KOEH 1897	4
Figure 2 : Rhizome et feuilles de <i>Curcuma longa</i>	4
Figure 3 : Répartition géographique de <i>Curcuma longa</i> à Madagascar	6
Figure 4 : Masque de beauté de curcuma	8
Figure 5 : Elévation de la quantité d'exportation entre 2006 et 2010	9
Figure 6 : Structures chimiques des curcuminoïdes	14
Figure 7: Champ de <i>Curcuma</i> : Beforona (source : auteur)	21
Figure 8: Séchoir solaire indirect Boara.....	22
Figure 9: Boîte du séchage Boara.....	22
Figure 10: Claie du séchage Boara	22
Figure 11: Capteur solaire Boara.....	23
Figure 12: Structure du radical stable DPPH°	34
Figure 13: Présentation des échantillons lors de la dégustation	38
Figure 14: Variation de la température dans le séchoir et en plein air lors du séchage du <i>Curcuma</i> non épluché	44
Figure 15: Variation de la température dans le séchoir et en plein air lors du séchage du <i>Curcuma</i> épluché	45
Figure 16 : Evolution de la MS pour les échantillons non épluchés	47
Figure 17: Evolution de la MS pour les échantillons épluchés	48
Figure 18 : Moyennes des notes obtenues sur la couleur	53
Figure 19 : Moyennes des notes obtenues de l'odeur	54
Figure 20 : Moyennes de l'odeur des produits	55
Figure 21 : Somme des rang des produits.....	56

Liste des tableaux

Tableau 1 : Gamme étalon de la provitamine A.....	33
Tableau 2 : Variation de l'humidité au cours du séchage	40
Tableau 3 : Rendements sur la base de la matière brute des différentes étapes du séchage de rhizome de Curcuma	42
Tableau 4 : Rendement massique après séchage.....	43
Tableau 5 : Variation de la température dans le séchoir Boara et en plein air au cours du séchage des échantillons non épluchés.....	44
Tableau 6 : Variation de la température dans le séchoir Boara au cours du séchage des échantillons épluchés.....	45
Tableau 7 : Valeur nutritionnelle du <i>Curcuma longa</i>	49
Tableau 8 : Analyse de variance des teneurs en nutriments en fonction du type de traitement et du type de séchoir.....	51
Tableau 9 : Valeurs nutritionnelles et énergétique des différents échantillons étudiés (g% MS)	51
Tableau 10 : Capacité antioxydante (CAO) des échantillons en $\mu\text{mol TE/g MS}$	52
Tableau 11 : Classement et regroupement des groupes non significatifs.....	53
Tableau 12 : Classement et regroupement des groupes non significatifs.....	54
Tableau 13 : Classement et regroupement des groupes non significatifs.....	55
Tableau 14 : χ^2 calculé pour les 2 produits comparés	56
Tableau 15 : Valeur nutritionnelle et énergétique pour une portion de 100g de poudre.....	57
Tableau 16 : Comparaison en macronutriment entre le gingembre et le curcuma.....	57
Tableau 17 : Teneurs en provitamine A (en $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS) du curcuma et autres aliments	58
Tableau 18 : Capacité antioxydante du curcuma comparée à celle d'autres aliments	59
Tableau 19 : Relation entre la capacité antioxydante et la teneur en provitamine A.....	59

Introduction

À ce jour, près de 290 000 espèces de végétaux ont été décrites à travers la planète mais de très nombreuses plantes, en particulier dans la forêt amazonienne, restent encore à découvrir (Encarta, 2009).

La plupart des espèces végétales qui poussent dans le monde entier possèdent des vertus thérapeutiques, car elles contiennent des substances actives qui agissent directement sur l'organisme. L'utilisation de cette thérapie remonte dès l'origine de l'humanité selon les types de maladie qui se manifestent.

Madagascar possède plus de 12 000 espèces végétales. C'est une richesse qui a une part importante quant au développement rapide et durable si elle est bien exploitée et bien gérée. En dehors du développement économique, les plantes possèdent des rôles importants dans la vie des êtres vivants, en particulier celle des êtres humains (Lahatsaravita, 2003).

Madagascar regroupe une multitude d'écosystèmes différents regorgeant tous de divers produits agricoles. Au sein de la végétation luxuriante de Madagascar, on retrouve une diversité d'épices dont la réputation de certaines n'est plus à faire.

Les épices sont des denrées alimentaires très utilisées dans toutes les cuisines pour améliorer le goût, donner de la couleur, mais encore apporter des nutriments essentiels. La plupart des épices sont réputées par leurs effets bénéfiques sur la santé humaine. Le curcuma est parmi les plus connus pour ses effets bénéfiques comme antioxydant et par sa richesse en micronutriments. Le rhizome de *Curcuma* est utilisé le plus souvent sous forme de poudre.

Actuellement, les nutritionnistes s'intéressent de plus en plus aux propriétés antioxydantes des aliments (Wu et al., 2007). Ainsi, les relations entre la consommation d'aliments riches en antioxydants et la diminution du risque d'apparition de certains problèmes de santé sont étudiées, comme les maladies cardiovasculaires, certains cancers comme celui du colon (Chu et al., 2002) et les maladies dégénératives liées à l'âge (Oboh et al., 2007).

Traditionnellement, les Malgaches utilisent la chaleur du soleil pour sécher et déshydrater les denrées alimentaires périssables pendant les périodes de récolte, en vue de les conserver pour une consommation ultérieure. Ces dernières décennies, le Laboratoire de Biochimie appliquée aux sciences de l'Alimentation et à la Nutrition (LABASAN; faculté des

sciences, université d'Antananarivo) s'intéresse à la conservation par séchage des aliments (Razafindratovo et al., 2012).

Le rhizome de *Curcuma* est conservé par séchage, puis réduit en poudre pour faciliter son utilisation. Ainsi, maintes méthodes de séchage sont étudiées, mais ces dernières sont à l'origine des pertes des valeurs nutritionnelles plus ou moins importantes (Andrianoely, 2013). En effet, il est important d'étudier les modalités de séchage, pour mieux connaître les variations qui se présentent dans ces différentes techniques.

Néanmoins, les techniques de séchage améliorées ont pour but de conserver au maximum les éléments nutritifs présents dans le produit frais. Vu que ces biomolécules disparaissent plus ou moins en fonction du type de séchoir, des comparaisons seront faites entre le séchage traditionnel et le séchage avec un séchoir amélioré, pour mieux s'assurer de l'utilité des nouvelles techniques de conservation.

Ainsi l'objectif principal de notre travail intitulé : «Influence du séchage direct et indirect sur la valeur nutritionnelle, la capacité antioxydante et les propriétés organoleptiques du *Curcuma longa* » conduira à une meilleure connaissance de cette épice ; et avec comme objectifs spécifiques d'étudier :

L'influence du mode de séchage sur les propriétés nutritionnelles et organoleptiques

L'évolution de la capacité antioxydante selon le type de séchage.

Le document comporte quatre parties :

la première partie est consacrée à la revue bibliographique,

la deuxième partie décrit les matériels et méthodes utilisés,

la troisième partie présente et discute les résultats obtenus et

la dernière partie comporte une conclusion générale et les perspectives envisagées.

Synthèse bibliographique

I. GENERALITES SUR LE *CURCUMA*

I.1. Bref historique de la découverte du *Curcuma*

La découverte du curcuma est certainement inconnue, vu qu'il est utilisé depuis plus de 3000 ans. En 1280, dans son livre ; «*les merveilles,*» Marco POLO rapporte une ressemblance entre le curcuma et le safran. C'est la plus ancienne comparaison connue entre ces épices. Ainsi le curcuma provient du rhizome du *Curcuma longa* et le safran est obtenu à partir des stigmates des fleurs du *Crocus sativus* (Lamouche, 2011).

I.2. Origine phytogéographique

Plusieurs documents montrent que la plante serait originaire du sud de l'Asie, en particulier de l'Inde où l'on trouve des écrits datant de 3 000 ans. Il y a plusieurs siècles, le curcuma fut implanté dans la méditerranée par la voie commerciale où il est connu en hébreu sous le nom de *karkom*. En Afrique de l'Est et à Madagascar, l'épice aurait été introduite au VIII^e siècle aussi par la voie commerciale (Lahatsaravita, 2003).

I.3. Position systématique

Selon la classification systématique de Carl Von Linné, les taxonomies caractéristiques du *Curcuma longa* sont les suivantes :

Règne : Plantae
Division : Magnoliophyta
Classe : Liliopsida
Ordre : Zingiberales
Famille : Zingiberaceae
Genre : *Curcuma*
Espèce : *longa*

Aujourd'hui, on donne, de par le monde, différentes dénominations au produit obtenu à partir du rhizome du curcuma : *Safran des Indes*, *Safran Peï* (en créole réunionnais), *Tamotamo* (en malgache), *Turmeric* (en anglais), *rizoma dos Indios* (en espagnol) (Lamouche, 2011).

Les noms vernaculaires de *Curcuma longa* en malgache varient selon les ethnies : *Gingisy* ou *Gingiza* pour les Sakalava et Antakarana ; *Tamotamo* pour les Betsimisaraka, Merina, Betsileo, Tanala ; *Vazas* pour les Betsileo ; *Vogotany* pour les Sakalava.

I.4. Principaux caractères botaniques du genre *Curcuma*

Le curcuma est une plante herbacée rhizomateuse. Sa particularité est le rhizome cylindrique de couleur jaune ou orange à l'intérieur, source de la multiplication du curcuma, qui se ramifie pour faire naître de jeunes plantes et forme aux bouts une sorte de tubercule.

Les inflorescences peuvent atteindre 20 cm de haut avec une couleur allant de blanc au vert clair.



Figure 1 : *Curcuma longa* ; (source : Kohel, 1897)

Les feuilles sont oblongues, vertes, alternes, caduques et grandes, d'environ 60 cm de long pour 10 à 15cm de large. Elles présentent un pétiole engainant et portant un limbe penninervé. Pendant la saison sèche, ces feuilles dépérissent et laissent apparaître les tiges florales.

Le rhizome est charnu, écailleux, tubéreux et aromatique. A maturité, il présente de nombreuses ramifications plus ou moins longues. Il est facilement distingué par sa couleur jaune orangé.

Les fleurs sont hermaphrodites en général, irrégulières. Elles ont des couleurs jaune pâle et sont regroupées en inflorescences coniques sous forme d'épis, protégées par des grandes bractées à dominances blanches (Lantonirina, 2014).

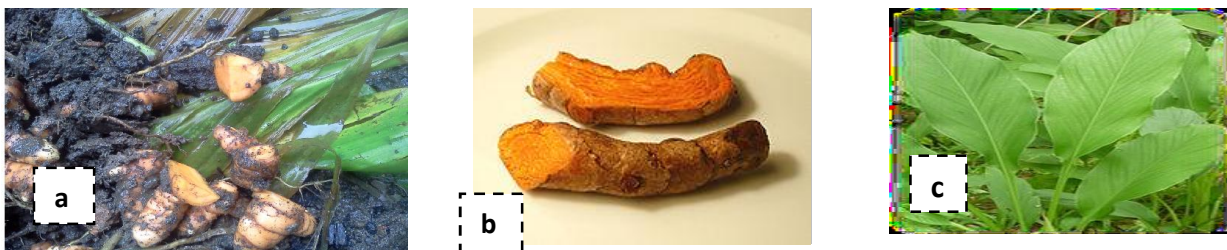


Figure 2: Rhizome et feuilles de *Curcuma longa*

a : rhizomes

b : rhizomes

c : feuilles

Curcuma longa est une plante à usages multiples et dans des domaines très variés. Outre l'usage culinaire et tinctorial, elle tient une place importante dans la médecine traditionnelle de plusieurs pays.

I.5. Ecologie

Le curcuma - *Curcuma longa* - est une plante vivace originaire du sud-est de l'Asie qui pousse souvent en sous-bois. Elle craint le froid, mais préfère les endroits ombrageux. Pendant la saison chaude, elle a besoin de beaucoup d'eau. Elle atteint une hauteur d'environ un mètre, et en été, ses plantations sont parsemées de petites fleurs jaunes ou violettes en forme de calices.

La période de croissance végétative se déroule 7 à 10 mois après la germination des plants. Une fois cette période passée, les feuilles jaunissent et la récolte est prête à être arrachée. Le rendement moyen observé en rhizome frais de *Curcuma* est de 17-23 t/ha si la culture est irriguée et de 6,5- 9 t/ha en culture pluviale. Cependant, ces rendements varient en fonction du cultivar, des conditions pédoclimatiques, de la conduite de l'exploitation, de la période de récolte, etc. (Cardon, 2005)

I.6. Aire de distribution

I.6.1. Au niveau mondial

La plante est très répandue en Chine, en Indonésie, en Jamaïque, en Pérou, en Australie, en Pacifique du Sud, en Europe, aux Comores, aux Mascareignes et aux Seychelles. Les plus grandes diversités de *Curcuma longa* se trouvent en Inde, en Birmanie et en Thaïlande.

I.6.2.A Madagascar

La plante se trouve presque dans toute l'île mais elle pousse en abondance dans le moyen Est et sur les plaines de l'Ouest.

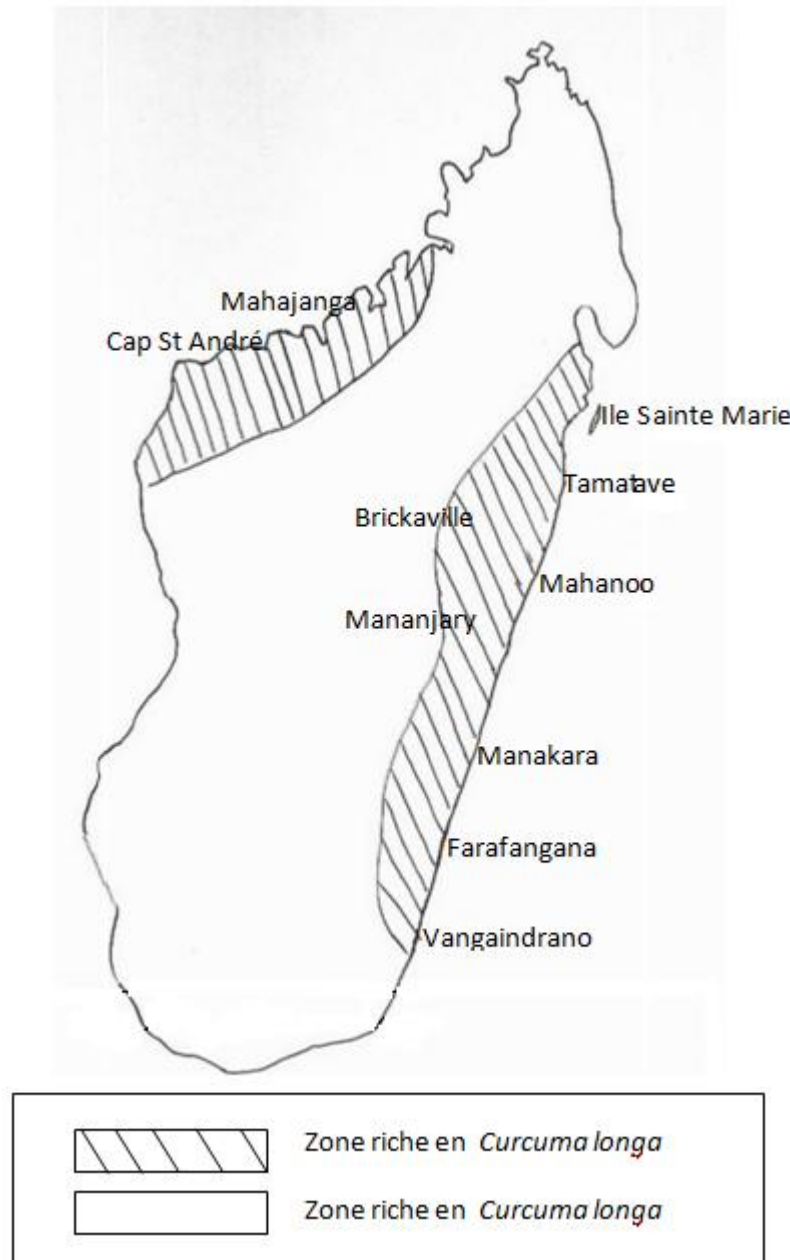


Figure 3 : Répartition géographique de *Curcuma longa* à Madagascar

C'est la région Est (Toamasina) qui constitue le réservoir important de production, comme dans les villes de Brickaville, en passant par Beforona et Moramanga (Lantonirina, 2014).

I.7. Utilisations du curcuma

A Madagascar comme ailleurs, le curcuma est une plante à plusieurs intérêts. Il est avant tout un aliment et souvent utilisé comme épice. D'autres applications sont aussi à considérer ; il s'agit de ses utilisations au niveau médical et cosmétique. Des transformations

sont nécessaires pour rendre le curcuma disponible toute l'année, il est séché puis réduit en poudre.

1.7.1. Utilisation culinaire

Le curcuma est une épice au goût très puissant mais pas piquant du tout. Si le goût du curcuma est prédominant dans une recette sans que d'autres arômes ne soient présents pour faire bonne équipe, il aura tendance à déplaire. Néanmoins, il n'est généralement pas trop difficile de le marier avec diverses épices et le curcuma est très agréable avec des saveurs sucrées ou salées. Le curcuma est aussi un colorant très puissant qui ajoutera une couleur jaune ou orangée à toute recette où il fera honneur de sa présence. Son pigment est d'ailleurs utilisé pour donner la couleur jaune des moutardes commerciales. Il est à l'origine du colorant alimentaire jaune industriel E100 (curcumine) (<http://www.creapharma.ch/curcuma.htm>).

Le curcuma est consommé cuit en général, et la forme la plus utilisée est le curcuma en poudre qui est vendue moins cher que le curcuma frais. On le trouve dans le riz cantonnais comme colorant alimentaire, comme épice dans les sauces et même on le trouve mélangé avec de la pomme de terre et du manioc. L'épice de *Curcuma*, n'est pas très utilisée dans la cuisine traditionnelle malgache. Elle est majoritairement consommée par la communauté indo-pakistanaise (*Karana*) dans ses plats traditionnels.

1.7.2. Usage thérapeutique

L'usage thérapeutique du curcuma est très célèbre au niveau mondial depuis plus de 3000 ans ; alors que ses bienfaits ne sont pas tous connus. Les traitements des maladies de peaux, des maux de tête, des troubles intestinaux ou les rhumes, sont les plus pratiqués (Razafindrazaka, 2012).

Dans la médecine ayurvédique, il est utilisé aussi pour ses puissances anti-inflammatoires. En Chine, le rhizome de cette plante est utilisé comme analgésique topique et pour traiter les coliques, les hépatites et les douleurs de la poitrine (Rakotonirina, 2012)

En Indonésie, les gens l'utilisent pour soigner les affections urinaires et les maladies diarrhéiques. Au Japon et en Corée, cette plante est utilisée pour traiter les douleurs abdominales et les aménorrhées. Aux Comores, le curcuma (connu sous le nom de *Dzindzanu*) est un aliment utilisé traditionnellement pour le lavage abdominal de la femme dans les quarante jours qui suivent l'accouchement. Depuis quelques années, les scientifiques soupçonnent le curcuma d'avoir un effet préventif contre le développement des cellules

cancérogènes, et de stimuler le système immunitaire notamment contre la maladie d'Alzheimer (Bleu et al., 2011).

L'épice est utilisée comme médicament dans la grande ile et dans ce cas, plus souvent consommé crue, majoritairement pour soigner les inflammations et les douleurs d'estomac. On répertorie plusieurs façons de l'utiliser : en le mélangeant avec du miel, du lait ou de l'eau à différentes proportions. Ces pratiques sont connues depuis des générations, principalement dans les premières familles à avoir commercialisé le curcuma.

▪ **Le curcuma dans la recherche thérapeutique**

Les propriétés anticancéreuses que la médecine commence sérieusement à attribuer au curcuma sont dues aux curcuminoïdes, des éléments antioxydants. Il a été montré qu'à âge égal, les Indiens ont huit fois moins de cancer du poumon que les Occidentaux, neuf fois moins de cancer du côlon, 5 fois moins de cancer du sein et jusqu'à dix fois moins de cancer du rein. Les chercheurs expliquaient, entre autres, ces différences, par leur consommation élevée de *Curcuma*, laquelle est en moyenne de 1,5 à 2 g de curcuma par jour (l'équivalent d'un quart à une demi-cuillère à café).

Egalement une question se pose, si le *Curcuma* est vraiment en mesure d'abaisser le taux de cholestérol. Plusieurs expériences européennes faites sur des animaux auxquels on a donné du curcuma, montrèrent que le taux de cholestérol peut diminuer jusqu'à 50 pour cent, tandis qu'une étude indienne appliquant les mêmes tests sur des cobayes humains constata une baisse de quelque 30 pour cent (<http://www.epices-madagascar.fr/epices-madagascar/curcuma.php>).

1.7.3. Usage cosmétique

L'usage esthétique est aussi à considérer, car le *Curcuma* est réputé comme éclaircissant de la peau. On rencontre à Madagascar des femmes aux figures masquées au curcuma (figure 4). Le rhizome a été également utilisé pour la teinture des vêtements.



Figure 4: Masque de beauté de *Curcuma*

I.7.4. Usage agronomique

La poudre de *Curcuma* est aussi utilisée comme pesticide. Cet usage n'est pas encore très bien connu. Quelques récentes publications scientifiques rapportent l'activité antifongique et antibactérienne des matières actives du curcuma comme l'extrait polyphénolique orange et l'extrait curcumine. Il apparaît que certains organismes sont très sensibles au curcuma (*Sporothrix* ou *Paracoccidioides*, mais pas *Aspergillus*) ; son action inhibitrice sur l'adhésion de *Candida sp* sur les plantes s'avérait plus puissante que celle d'une molécule de référence. Quelques auteurs soulignent, dans leurs conclusions, que la curcumine pourrait être l'un des composés les plus actifs jamais découverts contre *Paracoccidioides brasiliensis*, agent d'une mycose tropicale négligée (Razafindranaivo, 2010).

A Beforona, les paysans connaissent l'utilisation de la poudre de *Curcuma* dans la culture du riz pour se débarrasser des parasites.

I.8. Production et exportation

La filière *Curcuma* est en développement ces dernières années dans la grande île. La culture de la plante *Curcuma longa* est très rentable, et très adaptée surtout au climat de la région de Toamasina. Avec la méthode de culture traditionnelle, une surface de quelques dizaines d'hectares peut en assurer une production de 2 à 6 tonnes mais qui peut atteindre, selon les paysans de Beforona, une quinzaine de tonnes. En général, la monoculture est la technique utilisée pour la production du curcuma, mais il ne dérange pas les autres cultures en cas de mélange.

Madagascar est le 11ème pays exportateur de *Curcuma* et fournit 3,4% des importations mondiales et ce chiffre ne cesse d'augmenter. Ainsi, en 2010, Madagascar a exporté dans le monde 59 tonnes de *Curcuma* représentant 107 000 \$. On observe, en effet,

une augmentation de 34% des exportations du *Curcuma* malgache entre 2006 et 2010 (Lamouche; 2011).

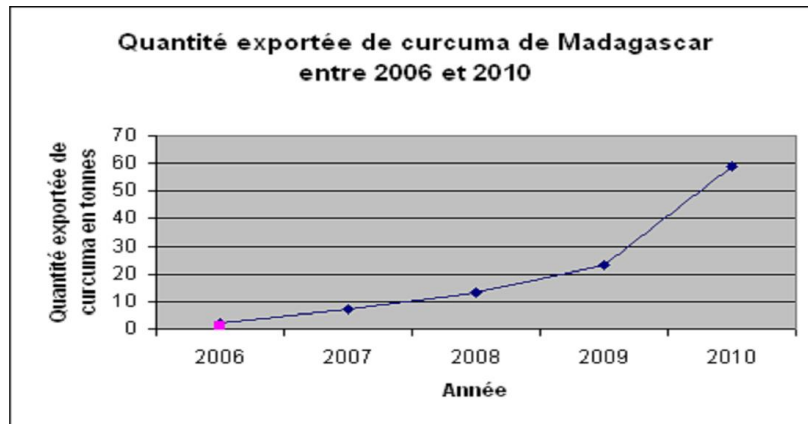


Figure 5: Exportation de curcuma entre 2006 et 2010

I.9. Composition chimique du rhizome de *Curcuma longa*

Le rhizome contient :

- de l'amidon
- de l'huile essentielle
- des colorants
- des curcuminoïdes dont la curcumine
- des vitamines

Le rhizome de *Curcuma* se distingue grâce à ses curcuminoïdes jaunes qui sont des puissants antioxydants. Ceux-ci freinent le facteur nucléaire kappa-B, substance jouant un rôle dans de nombreux processus inflammatoires qui neutralisent nettement les radicaux libres. Il est aussi réputé pour sa richesse en minéraux ([www. Consoglobe.org](http://www.Consoglobe.org)).

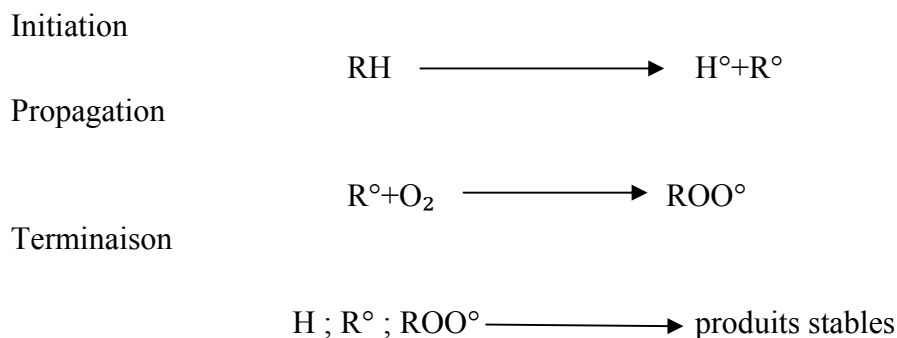
II. OXYDATION ET ANTIOXYDANTS

L'oxydation fait partie d'une réaction d'oxydoréduction qui transfère des électrons d'une substance vers un agent oxydant. Cette réaction peut produire des radicaux qui entraînent des réactions en chaîne destructrices

II.1. Oxydation cellulaire

Bien que les réactions d'oxydation soient nécessaires à la vie, elles peuvent aussi être destructrices : les plantes et les animaux utilisent et produisent de nombreux antioxydants pour se protéger, tels le glutathion, la vitamine C et la vitamine E, ou des enzymes telles la catalase, la superoxyde dismutase et certaines peroxydases.

Il existe 3 phases au cours de l'oxydation :



Une déficience ou une absence de production d'enzymes antioxydantes entraîne un stress oxydatif pouvant endommager ou détruire les cellules. De même, notre organisme est capable de produire, à partir de l'acide aminé cystéine, un antioxydant puissant, l'acide α lipoïque, encore appelé lipoate.

II.2. Stress oxydatif

Le stress oxydatif se définit comme étant un déséquilibre profond de la balance entre les prooxydants et les antioxydants en faveur des premiers, ce qui conduit à des dégâts cellulaires irréversibles (Pincemail et al., 1998, Sies, 1991). Le stress oxydatif est surtout favorisé par le vieillissement, les rayons ultraviolets, le tabac (Bonne et al. 2000), la pollution, certains médicaments, les produits chimiques ou les pesticides (Wang et al., 2011).

Le stress oxydatif a été mis en cause dans la pathogénèse de nombreuses maladies humaines, l'utilisation des antioxydants en pharmacologie est donc beaucoup étudiée pour traiter notamment les accidents vasculaires cérébraux et les maladies neurodégénératives. Toutefois, la question se pose si le stress oxydatif est la cause ou la conséquence de ces maladies. Les antioxydants sont aussi des ingrédients importants des compléments alimentaires dans le but d'entretenir la santé et de prévenir certaines maladies, comme le cancer ou les maladies coronariennes.

II.3. Les antioxydants

II.3.1. Définition

Un antioxydant est une molécule qui diminue ou empêche l'oxydation d'autres substances chimiques. Toute substance qui, en faible concentration par rapport au substrat susceptible d'être oxydé, prévient ou ralentit l'oxydation de ce substrat (Halliwell, 1999).

Les antioxydants sont capables de stopper ces réactions en chaîne en se réduisant avec les radicaux et annihilant ainsi leur action. Ces propriétés se trouvent beaucoup dans les familles des thiols et des phénols

II.3.2. Historique

Le terme « antioxydant » (on dit parfois *antioxygène*) était à l'origine utilisé pour désigner les substances chimiques qui empêchent les réactions avec l'oxygène. À la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle, les propriétés des antioxydants ont été largement étudiées pour leur utilisation dans les procédés industriels afin de réduire par exemple la corrosion des métaux, la vulcanisation du caoutchouc et la polymérisation des carburants dans les moteurs à explosion.

En biologie, les premières recherches sur les antioxydants concernèrent la réduction de l'oxydation des acides gras insaturés, cause du rancissement. L'activité antioxydante était facilement mesurée en enfermant des corps gras dans des récipients hermétiques avec de l'oxygène, puis en vérifiant le taux d'absorption de ce dernier. Cependant, ce n'est qu'avec l'identification des vitamines A, C et E qu'est apparue l'importance des antioxydants dans la biochimie des organismes vivants ([www. Wikipedia.org/antioxydant](http://www.Wikipedia.org/antioxydant)).

II.3.3. Importance

Un paradoxe du métabolisme de la vie sur Terre est que la majorité des êtres vivants ont besoin de dioxygène pour assurer leur existence alors que le dioxygène est une molécule hautement réactive qui produit des dégradations sur les organismes vivants. Cependant, les organismes possèdent un système d'antioxydants et d'enzymes qui agissent ensemble pour empêcher l'endommagement des composants des cellules comme l'ADN, les lipides et les protéines.

Les antioxydants empêchent la formation des molécules très réactives ou provoquent l'élimination de ces espèces avant d'endommager les constituants de la cellule.

II.3.4. Mode d'action des antioxydants

Les mécanismes possibles des antioxydants ont été étudiés à partir du moment où l'on a compris qu'une substance antioxydante devait être elle-même facilement oxydable. Les recherches sur l'action de la vitamine E dans la limitation de l'oxydation des lipides ont démontré son rôle dans l'élimination des molécules contenant un atome d'oxygène actif avant que ces derniers n'attaquent les cellules (www.wikipedia.org/antioxydant).

Les mécanismes d'action des antioxydants sont divers, incluant le captage de l'oxygène singulet, la désactivation des radicaux par réaction d'addition covalente, la réduction de radicaux ou de peroxydes, la complexation d'ions et de métaux de transition.

Il y a deux options pour la réaction d'oxydation :

- soit intercepter les radicaux libres responsables de la réaction en chaîne,
- soit éviter la décomposition des hydroperoxydes dans les radicaux libres.

II.3.5. Les antioxydants dans l'alimentation

Les antioxydants les plus connus sont le β -carotène (provitamines A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol (vitamine E), les polyphénols et le lycopène. Ceux-ci incluent les flavonoïdes (très répandus parmi les végétaux), les tanins (dans le cacao, le café, le thé, le raisin, etc.), les anthocyanes (notamment dans les fruits rouges) et les acides phénoliques (dans les céréales, les fruits et les légumes).

La présence d'antioxydants est souvent alléguée comme argument publicitaire pour un effet bénéfique sur la santé.

II.3.6. Familles d'additifs antioxydants

Les nombreux additifs antioxydants utilisés dans l'industrie agroalimentaire se répartissent en huit familles :

- acide ascorbique ou vitamine C (E300), ascorbates de sodium (E301), de calcium (E302), acide diacétyl 5-6-1-ascorbique (E303), acide palmityl 6-1-ascorbique (E304) ;
- acide citrique (E330), citrates de sodium (E331), de potassium (E332) et de calcium (E333) ;
- acide tartrique (E334), tartrates de sodium (E335), potassium (E336) et de sodium et de potassium (E337) ;
- butylhydroxyanisol (E320) et butylhydroxytoluol (E321) ;
- gallates d'octyle (E311) ou de dodécyle (E312) ;
- lactates de sodium (E325), de potassium (E326) ou de calcium (E327) ;
- lécithines (E322) ;
- tocophérols naturels (E306), α -tocophérol de synthèse (E307), γ -tocophérol de synthèse (E308) et δ -tocophérol de synthèse (E309), l'ensemble des tocophérols constituant la vitamine E ([www. Wikipedia.org/antioxydant](http://www.Wikipedia.org/antioxydant)).

II.3.7. Antioxydants et santé

De nombreuses études ont tenté d'étudier l'impact de la prise de suppléments alimentaires d'antioxydants dans la prévention de différentes maladies.

Les antioxydants sont utilisés dans le traitement des accidents vasculaires cérébraux (AVC). Ils sont utilisés également pour l'entretien de la bonne santé et ils aident à prévenir certaines maladies telles que les cancers et les maladies coronariennes.

De même, certaines recherches ont estimé qu'une diminution du risque de cancer de 15% et une diminution de 20% de la mortalité (toutes causes) peut être attribuée à une alimentation enrichie en fruits et légumes (Gupta et al, 2009).

II.4. Les curcuminoïdes

Les curcuminoïdes sont des molécules polyphénoliques. On en dénombre trois :

1. la curcumine, aussi dénommée diféruloylméthane et ses molécules dérivées,
2. la déméthoxycurcumine et
3. la bisdéméthoxycurcumine. (Portes, 2008)

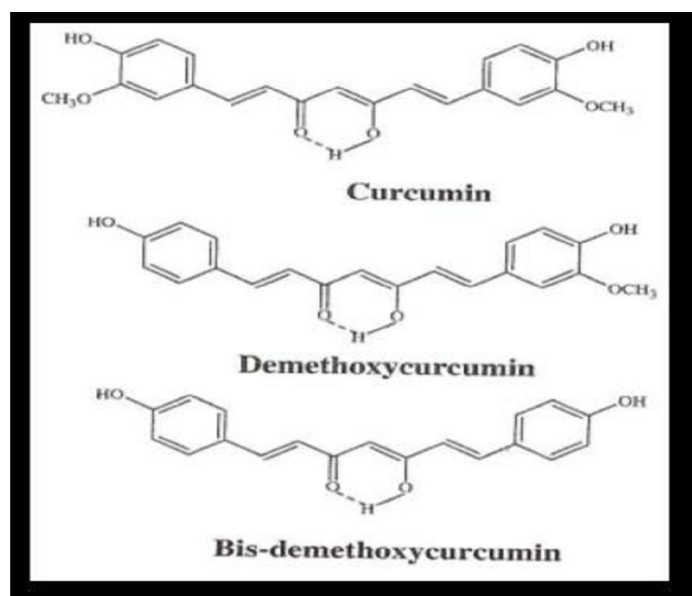


Figure 6: Structures chimiques des curcuminoïdes

L'extraction du rhizome à l'alcool éthylique, à l'acétone ou au chlorure de méthylène permet d'obtenir de 6 à 10% d'oléorésine. Celle-ci contient 35 à 45% de curcuminoïdes. Ces trois composants confèrent au curcuma ses propriétés médicinales et sa couleur jaune orangé, si caractéristique. L'huile essentielle obtenue par distillation des rhizomes à la vapeur permet de mettre en avant son arôme et flaveur typiques (Wolf, 2011).

A pH neutre et acide, la curcumine se comporte comme un donneur de proton et à pH basique comme un donneur d'électron à l'origine de ses propriétés antioxydantes.

Ces propriétés s'expliquent par l'effet de la curcumine sur la régulation de la peroxydation lipidique qui joue un rôle primordial dans les inflammations, les maladies

cardiaques et les cancers. Les curcuminoïdes maintiendraient l'activité d'enzymes antioxydantes et limitant ainsi cette peroxydation lipidique. (Singh, 2011)

Lorsqu'elle est utilisée seule, la curcumine est très rapidement éliminée par l'organisme. La pipérine une molécule présente dans le poivre noir, est capable d'inhiber les voies d'élimination de la curcumine, et de multiplier sa biodisponibilité par un facteur 20 (Aggarwal, 2007)

Quant à la tolérance, d'après les données disponibles, la curcumine ne produit aucune toxicité ni aucun effet secondaire chez l'homme même employée à très forte dose. L'agence de Santé Américaine FDA classe le curcuma parmi les substances saines et sans danger, en tant que GRAS (General Recognition And Safety). Ce statut réglementaire a été admis à l'huile (GRAS 3085) et à l'oléorésine (GRAS 3087) du *Curcuma*. En industrie agroalimentaire, la curcumine étant utilisée comme colorant alimentaire, celle-ci est nommée E100.

III. QUALITE ALIMENTAIRE

Il existe un lien étroit entre la qualité d'un aliment et l'état sanitaire du consommateur. En effet un aliment de mauvaise qualité est une source de maladie ou de dysfonctionnement vis-à-vis du consommateur.

La notion de qualité est un domaine très vaste et complexe à définir et à expliquer. Selon les normes ISO-9000, c'est « l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés ou implicites » de tous les utilisateurs. Quatre composantes essentielles garantissent la qualité alimentaire :

- La qualité nutritionnelle
- La qualité organoleptique (ou sensorielle)
- La qualité sanitaire
- La qualité marchande

III.1. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle représente l'ensemble des méthodes, des outils et des instruments qui permettent d'évaluer les qualités organoleptiques d'un produit, c'est-à-dire les caractéristiques faisant intervenir les organes de sens de l'être humain (Elias et al, 2003 ; AFNOR, 1992). Elle permet de décrire et de quantifier de manière systématique l'ensemble des perceptions humaines telles que le goût, l'odorat, la vue, le toucher et l'ouïe (Lefebvre et al., 2003).

Il existe trois catégories d'épreuves d'évaluation sensorielle (Lawless et Heymann, 1998):

III.1.1. Les épreuves discriminatives :

Elles visent à détecter la présence ou l'absence de différences sensorielles entre produits et ne requièrent pas un entraînement spécifique

III.1.2. Les épreuves descriptives :

Elles visent à décrire et quantifier les différences perçues entre plusieurs produits. Ces méthodes demandent des panélistes entraînés spécifiquement sur les produits et font intervenir la notion quantitative de termes descriptifs : les descripteurs. La méthode de référence est le profil conventionnel

III.1.3. Les épreuves hédoniques

Elles mesurent le plaisir ou l'aversion suscitée par un produit lors de sa consommation et sont utilisées sur des panels de consommateurs. Les évaluations hédoniques, réalisées par des consommateurs non avertis, étudient l'acceptabilité ou la préférence d'un produit alimentaire à travers le plaisir qu'engendre sa dégustation ou sa consommation.

III.2. Qualité sanitaire

La qualité sanitaire implique l'absence des microorganismes nuisibles dans les aliments. Outre les caractéristiques de fraîcheur, leur consommation ne doit pas présenter de risque pour la santé. Un des effets les mieux connus des microorganismes contaminants des aliments est la dégradation de la qualité. Cette dernière est toujours associée avec la qualité hygiénique

III.3. Qualité marchande

La qualité marchande d'un aliment ou produit alimentaire implique une diversité de terme tel que ; acceptabilité en terme de coût (prix abordable et être à la porté de toutes les couches sociales) qui est associée directement à :

- sa disponibilité sur le marché (le produit doit être abondant et disponible dans le temps et dans l'espace).
- sa facilité à le produire (les techniques et les procédures de production ne doivent pas être complexes et trop longues pour assurer sa qualité).

III.4. Qualité nutritionnelle

Selon AFNOR, la qualité nutritionnelle d'un aliment est l'aptitude d'un produit à satisfaire ses consommateurs. Elle est déterminée par la valeur alimentaire d'un produit, c'est-à-dire son apport en macronutriments et en micronutriments.

III.4.1. Les nutriments

Tout ce qui est capable de réparer la perte des parties solides ou liquides de notre corps mérite le nom de nutriment (Yahia, 2006). Les aliments entrant dans la composition d'un régime alimentaire sont des mélanges de différentes catégories de nutriments, présents en quantités variables. On distingue les macronutriments (protéines, glucides et lipides) et les micronutriments (vitamines, oligoéléments et minéraux). Les premiers doivent être apportés en grandes quantités à l'organisme, les seconds ne sont nécessaires qu'à raison de quelques grammes, voire de quelques milligrammes quotidiens.

III.4.2. Les macronutriments

III.4.2.1. Les glucides

Ce sont des composés organiques naturels ou artificiels dans lesquels l'hydrogène et l'oxygène sont combinés avec le carbone. La plupart de ces composés ont pour formule brute $C_m(H_2O)_n$. Les glucides constituent le groupe des composés organiques les plus abondants dans la nature. Ils sont produits par les plantes vertes et par certaines bactéries, via le procédé de photosynthèse : les plantes et les bactéries fixent le gaz carbonique de l'air et synthétisent les glucides en utilisant l'énergie solaire.

On distingue

- les glucides simples (monosaccharides) qui sont formés d'une seule chaîne linéaire ou cyclique, contenant 3 à 6 atomes de carbones. Les plus connus sont le glucose et le fructose (Shneider, 1995).
- Et les polysaccharides ou sucres complexes composés de plusieurs monosaccharides. Ils se trouvent surtout dans les graines de céréales (blé, riz, maïs...) aussi bien que dans les racines, les tubercules et les rhizomes (patate douce, curcuma,...).

➤ L'amidon

L'amidon est un homopolyside présent naturellement dans les grains de céréales et les graines des légumineuses, les racines et les fruits amylicés (banane). Dans le cas des tubercules et les rhizomes, l'amidon est appelé féculé. D'une manière générale, ce glucide est l'une des principales sources d'énergie de l'alimentation humaine et animale, mais c'est aussi un élément de structure, de texture ou de consistance de beaucoup de préparations culinaires ; il fait partie des additifs alimentaires.

III.4.2.2. Protéines

Les protéines sont des polymères linéaires, ou chaînes d'acides aminés. La fonction principale des protéines est de participer à la construction des tissus, de

synthétiser des enzymes et certaines hormones comme l'insuline, ainsi que d'autres substances complexes impliquées dans les processus vitaux. Les protéines animales et végétales ne sont pas utilisées telles quelles mais dégradées par des enzymes digestives (*protéases*) en acides aminés.

III.4.2.3. Les lipides

Ce sont des molécules organiques insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques apolaires comme benzène, chloroforme, éther,...

Le cholestérol, les stéroïdes, qui sont des dérivés polyisopréniques, sont rattachés aux lipides, en raison de leur insolubilité dans l'eau.

Ils ont un rôle de précurseurs : stéroïdes, vitamines, prostaglandines. Ils sont une réserve énergétique mobilisable (1g lipides → 9 Kcal) et les membranes biologiques ont une structure lipidique

III.4.3. Les micronutriments

III.4.3.1. Les sels minéraux

Ces substances, qui doivent toutes faire partie du régime alimentaire, sont divisées en deux catégories ; les *éléments principaux* : calcium, phosphore, magnésium, sodium, fer, iode, et potassium ; et les *oligoéléments* : cuivre, cobalt, manganèse, fluor et zinc présents à l'état de traces dans l'organisme

Les sels minéraux (non organiques) sont nécessaires à la composition des tissus ; ils participent également à certains processus comme celui du fonctionnement des enzymes, la contraction musculaire, les réactions nerveuses et la coagulation du sang.

III.4.3.2. Les vitamines

À l'instar de certains oligo-éléments, les vitamines sont des cofacteurs de réactions enzymatiques. Elles doivent être apportées par l'alimentation, car l'homme ne peut pas les synthétiser en quantité suffisante. Ce sont des substances de faible poids moléculaire. Les vitamines ne sont ni une source d'énergie, ni des « briques structurales ».

On distingue deux catégories de vitamines selon leur solubilité:

- ✓ Les vitamines liposolubles : A, D, E, K.

- ✓ Les vitamines hydrosolubles : B1, B2, B5, B6, B12, acide folique, C, PP.

Il n'existe de risque de surdosage que pour les vitamines A et D. Les sources et les fonctions des diverses vitamines sont bien connues (Moudon, 1989).

IV. CONSERVATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES

IV.1. Définition

Les conservations des aliments sont des manières utilisées depuis l'antiquité et plusieurs générations ont amélioré ces différentes techniques dont la plupart permettent d'augmenter la durée de stockage des aliments.

Les techniques de conservation des aliments sont des manœuvres physiques, chimiques et biologiques dont les objectifs sont soit de réduire, ralentir ou détruire les microorganismes, soit de ramener le pH à un niveau qui empêche la prolifération microbienne ; soit de ramener l'activité de l'eau à un niveau qui évite l'altération du produit.

Le séchage permet de conserver la viande, le poisson, les fruits, les racines et les tubercules ainsi que les légumes à feuilles vertes. La farine de manioc et la farine de banane peuvent être préparées par la technique de séchage.

IV.2. Les différentes techniques de conservation

IV.2.1. Le froid

En général, une température de conservation basse ralentit la croissance microbienne et l'altération. Cependant, la conservation des denrées périssables pour des longues durées n'est possible qu'à des températures négatives.

Les congélateurs à -20°C sont les plus connus et la conservation y est possible pour plusieurs semaines ou plusieurs mois. Un stockage de longue durée nécessite une température de -80°C, c'est-à-dire la température de la glace sèche est nécessaire.

IV.2.2. L'acidité

Le pH est un facteur important pour la conservation des denrées alimentaires. Un pH inférieur ou égal à 5 inhibe la croissance de la plupart des microorganismes surtout d'altération. Ainsi, l'acidification est souvent utilisée comme moyen de conservation dans la fabrication de conserve au vinaigre. En plus du vinaigre, le procédé de fabrication ajoute une grande quantité de sucre ou de sel suivant le cas, afin d'abaisser l'activité de l'eau.

IV.2.3. Le chauffage

La chaleur est appliquée pour réduire la charge microbienne ou pour tuer les microbes. Elle est appliquée pour la conservation des aliments liquides et humides (Dadda et al.; 2008). La chaleur est surtout utilisée pour la conservation en boîte. Le couple temps /température est important pour la mise en conserve, et dépend de la nature de l'aliment, de son pH, de sa taille, de sa consistance et de sa densité.

L'inconvénient de cette technique, est que des chauffages assez longs permettant d'obtenir des produits stériles peuvent modifier l'aliment de sorte qu'il peut devenir cette fois-ci impropre à la consommation et réduire sa valeur nutritionnelle.

La pasteurisation est un autre procédé de stérilisation, dans lequel les liquides tels que le lait et les jus de fruits, sont chauffés à un couple temps/température très précis. Cette technique ne permet pas d'avoir des produits stériles, mais permet de réduire les charges microbiennes d'altération et pathogènes et d'augmenter la durée de conservation des produits.

IV.2.4. Le séchage et la déshydratation

La technique de séchage est connue comme la plus ancienne utilisée pour la conservation des denrées alimentaires. C'est une technique dont le facteur le plus important est la température (chaleur), qui, appliquée au produit solide provoque une déshydratation de l'aliment (Dumont ; 2010).

Le séchage se fait par le soleil, et peut être fait directement (à l'air libre) ou indirectement (utilisation de séchoir). D'autres méthodes sont utilisées pour la déshydratation, mais sont plus coûteuses et plus sophistiquées (lyophilisation et atomisation).

IV.2.4.1.Séchage solaire direct (Rozis, 1995)

C'est un séchoir naturel où le soleil et l'air frappent directement les produits sans contrôle ou favorisation particuliers. Les produits sont posés soit sur des claies soit sur des nattes ou même laissés sur le sol.

IV.2.4.2.Séchage solaire indirect

Il est composé d'un collecteur qui recueille l'énergie solaire et d'une enceinte de séchage séparée qui abrite les produits à sécher au soleil. Le séchoir que nous avons utilisé pour cette étude, est de ce type.

Matériels et méthodes

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

I. MATERIELS

I. Le matériel végétal

Le matériel d'étude est constitué de rhizomes de *Curcuma longa*.

I.1.1. Justification de choix

Préalablement, des entretiens ont été effectués auprès des paysans pour déterminer les variétés existantes ainsi que le calendrier et les modes de culture. Il a été également demandé les traitements post-récolte et les modalités d'utilisation et de consommation de la plante→.

I.1.2. Collecte du matériel végétal

La collecte a été effectuée à Beforona (région Est de l'île), une zone très réputée pour la culture d'épices comme le gingembre et le curcuma. Elle a eu lieu au mois de juin 2014. Les échantillons ont été collectés sur un même champ, afin d'éviter les variations liées aux conditions édaphiques et climatiques. Ainsi, 50kg de *Curcuma* de même espèce (*Curcuma longa*) sont récoltés. Cette espèce de *Curcuma* diffère des autres par le rhizome qui présente moins de ramifications (bourgeons).



Figure 7: Champ de *Curcuma* : Beforona (source : auteur)

Durant le trajet, les échantillons sont mis dans des sacs en jute et dans la mesure du possible conservés à température ambiante ou à basse température, pour éviter la dessiccation.

I.2. Description du séchoir solaire indirect

L'appareil, prêté par l'association Boara, comprend une boîte de séchage, douze claies superposées, un capteur solaire sous forme de toit vitré, une porte, et un conduit d'aération et d'évaporation. Il s'agit d'un séchoir solaire indirect. Nous l'avons dénommé « séchoir Boara » pendant la suite de notre travail.



Figure 8: Séchoir solaire indirect Boara

1.2.1. Boîte de séchage

La boîte de séchage est faite en tôle plane noire (TPN), de 72 cm de large, de 95 cm de hauteur. Elle est munie d'un conduit d'évaporation sur le toit ainsi que d'une ouverture au niveau de sa base pour l'admission de l'air chaud provenant du capteur solaire.



Derrière

Devant

Figure 9: Boîte du séchage Boara

1.2.2. 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 dimensions des claies sont identiques (60 cm x 40 cm). Les rhizomes sont étalés sur des tamis.



Figure 10: Claie du séchage Boara

I.2.3. 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 mm; il est légèrement incliné afin de capter efficacement le rayonnement solaire tout au long de la journée surtout à midi. De plus, il se réchauffera plus vite s'il reçoit perpendiculairement le rayonnement solaire.

Ce capteur solaire est relié à la partie basse de la boîte du séchoir, et la claie de la position la plus proche (claie n°1) est la plus chauffée.



Figure 11: Capteur solaire Boara

I.2.4. Conduit d'évaporation

Le conduit d'évaporation est fait du même matériel que la boîte de séchage. Il permet d'optimiser le séchage car l'eau évaporée en sort directement.

II. METHODOLOGIE

II.1. Préparation des échantillons

Afin d'avoir des échantillons propres pour les analyses, les étapes suivantes ont été réalisés avant le séchage.

- **Triage** : le triage consiste à éliminer les *Curcuma* abîmés (taches noires, brisures,...) et permet d'obtenir du matériel exempt de défaut.

Matériels et méthodes

- Lavage : un lavage soigneux avant séchage élimine les éléments indésirables sur la peau: terre, micro-organisme, traces de traitement phytosanitaire, souillures et larves d'insectes.
- Pesage : le pesage est nécessaire afin de connaître la quantité d'eau évaporée à chaque étape et lors du séchage et de prévoir la masse de la matière sèche à la fin du séchage. Il est réalisé avant chaque opération.
- Epluchage : l'épluchage permet d'enlever la peau du curcuma, il est fait avec un couteau en acier inoxydable pour éviter le brunissement
- Découpage : le curcuma est tranché en lamelles ou en rondelles pour maximiser les surfaces à sécher.
- Séchage : le temps de séchage dépend des conditions climatiques et de la teneur en eau initiale des produits à séchés.
- Broyage : le broyage permet d'obtenir la poudre du curcuma utilisable et conservable.

II.2. Diagramme de fabrication

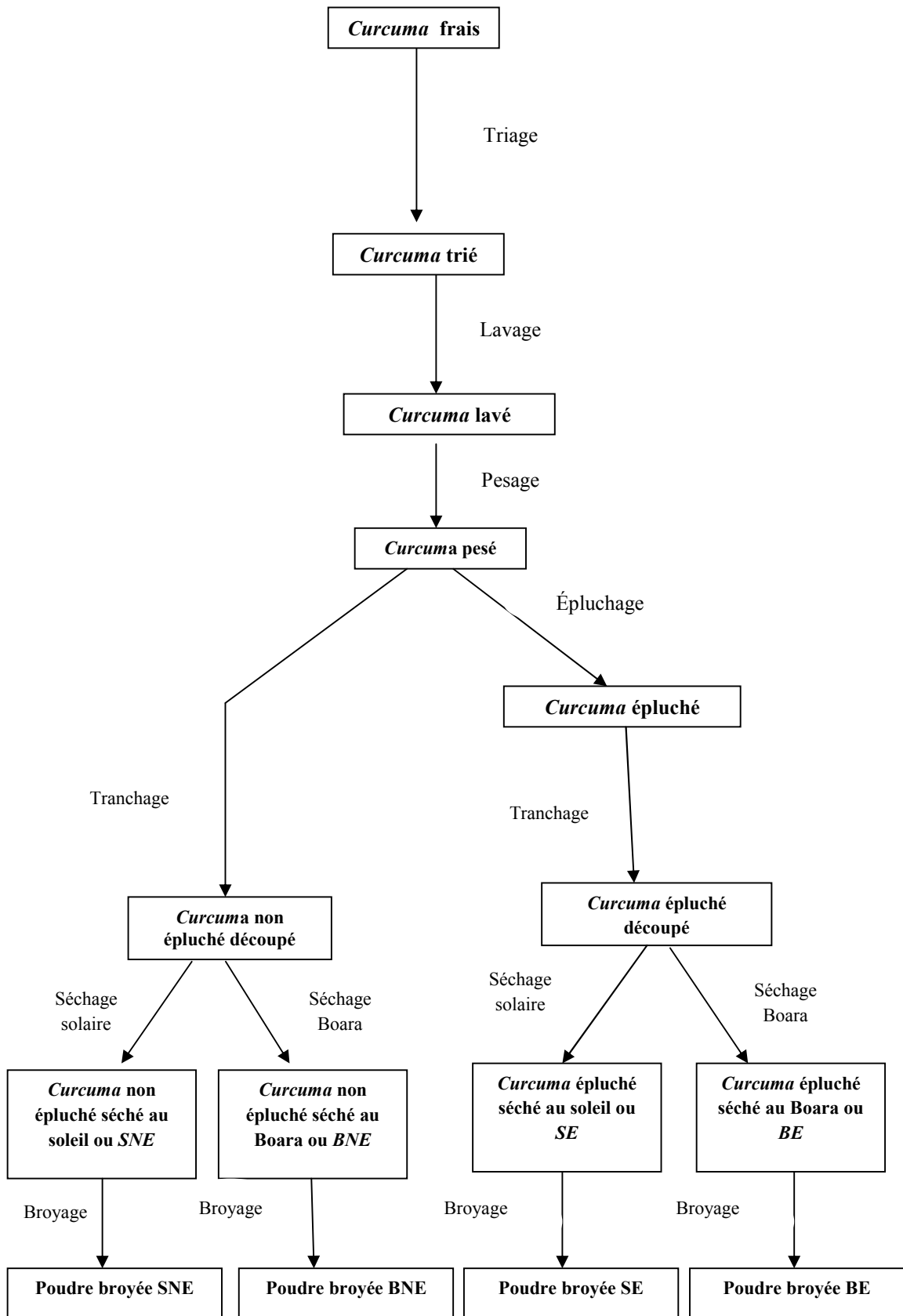


Figure 12 : Diagramme de fabrication

II.3. Détermination de la teneur en eau

L'eau représente une portion importante dans les aliments où elle participe aux différentes réactions biochimiques des cellules vivantes. C'est un facteur primordial pour évaluer et maîtriser le produit final de conservation.

Deux types de séchoir ont été utilisés : séchoir Boara et séchoir solaire direct (claire exposée directement au soleil). Pour mieux suivre le déroulement du séchage, 7kg d'échantillons ont été étalés sur chaque claie. Toutes les 3 heures, 3g d'échantillons ont été prélevés de la claie du séchoir Boara et celle exposée au soleil pour la détermination de la teneur en MS. La mesure a été effectuée en triple. Ce prélèvement a été répété jusqu'à ce que la teneur en matière sèche se soit stabilisée.

II.3.1.Principe

L'évaluation de la teneur en eau est faite par le séchage à l'air libre (soleil direct), séchage au moyen d'un séchoir (soleil indirect : Boara) et l'utilisation d'une étuve à 103 ± 2 °C. L'évaporation de l'eau au cours du séchage, permet de déterminer la quantité résidant dans le curcuma en faisant des prélèvements à des temps déterminés.

II.3.2.Mode opératoire

Le séchage commence par un découpage en lamelle ou en rondelle du produit pour maximiser la surface d'évaporation. Ensuite des pesages de 7Kg pour chaque type de séchage et d'échantillon sont réalisés; puis posés sur des claies.

Les échantillons découpés sont étalés sur la claie en position 1, pour le séchage Boara; puis la claie 2 est retirée du séchoir et utilisée pour sécher les échantillons directement au soleil.

II.3.3.Mode de calcul

La détermination de la MS (matière sèche) est faite en triple, une quantité bien déterminée de chaque échantillon est introduite dans une capsule préalablement tarée et séchée à 103 ± 2 °C à l'étuve durant 24 h, ensuite l'échantillon est de nouveau pesé et le poids noté.

Les pesées sont toujours précédées de refroidissement de 30 min au dessiccateur. La capsule est de nouveau mise à l'étuve et l'opération se fait renouvelée à intervalle de temps de 3h et autant de fois jusqu'à ce que le poids soit constant.

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

$$H\% = \frac{M-m}{M-m_0} \times 100$$

M : poids de capsule et échantillon avant séchage en g

m₀ : poids de capsule vide

m : poids du capsule et échantillon après séchage en g

H% : teneur en eau pour 100g de l'échantillon

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

MS% : teneur en matière sèche pour 100g de l'échantillon

II.4. Comparaison de la température en fonction du type de séchoir utilisé

Des relevés de température ont également été effectués, pour cela un thermomètre est placé sur la claie en position 1 (position la plus basse dans la boîte à séchage, la plus chaude) dans le séchoir et un autre thermomètre sur la claie exposée directement au soleil.

Ainsi toutes les 3h de temps, les températures ont été enregistrées avant de procéder au prélèvement d'échantillons.

II.5. Comparaison de la vitesse de séchage en fonction du type de séchoir utilisé

Cet essai avait pour objectif de mesurer l'évolution de la perte en eau et de la température de séchage des rhizomes.

Cette mesure a été réalisée à la fois sur les échantillons épluchés et sur les échantillons non épluchés.

II.6. Détermination du rendement de séchage

La détermination du rendement matière est donnée par le poids du produit obtenu après séchage. L'obtention des rendements matière sur la base de la matière brute a été effectuée en mesurant le poids du produit avant et après chaque opération considérée.

Ainsi une quantité déterminée avant séchage (7kg) pour chaque échantillon est pesée, et à la fin du séchage la quantité restante est mesurée.

I.7. Préparation des poudres de *Curcuma*

Après séchage, les échantillons sont mis dans un moulin (Blender Robot coupe : GT 500) pour être transformés en poudre. Un seul moulin est utilisé pour avoir la même qualité de poudre (grains de même taille)

II.8. Conditionnement

Les poudres de *Curcuma* sont mises dans des contenants en plastique fermés hermétiquement, afin de les préserver de l'oxydation de l'air. Elles serviront aux différentes analyses.

II.9. Analyse de la valeur nutritionnelle du curcuma

II.8.1. Dosage des protéines

La quantité de protéines contenue dans un aliment peut être déterminée par différentes techniques mais nous avons travaillé sur une méthode classique qui est celle de KJELDAHL.

II.9.1.1. But

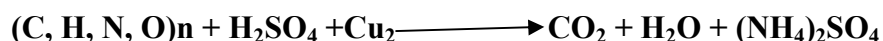
Le but de la manipulation est de déterminer la quantité de protéines totales contenues dans chaque échantillon.

II.9.1.2. Principe

Il repose sur la minéralisation sulfurique de l'azote des composés organiques suivi d'un dosage à l'aide de l'appareil de KJELDAHL. L'acide sulfurique concentré et à l'ébullition dégrade les composés organiques libérant le carbone et l'hydrogène sous forme de CO₂ et de H₂O tandis que l'azote est fixé aux ions sulfate sous forme de sulfate d'ammonium.

Après minéralisation, les échantillons sont mis dans un distillateur où chacun est distillé avant de passer à leur titration.

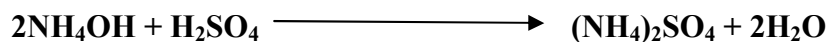
a. Reaction de mineralisation



b. Reaction de distillation



c. Reaction de titrimétrie



II.9.1.3. Mode opératoire

II.9.1.3.1. Minéralisation

Un gramme pour chaque échantillon a été introduit dans chaque matras suivi d'un ajout de 0,7g de catalyseur de $K_2SO_4/CuSO_4$. Un ajout de 10 ml de H_2SO_4 concentré dans chacun des matras est réalisé.

Ensuite les matras ont été placés sur la rampe de minéralisation puis chauffés d'abord avec précaution en surveillant la formation des mousses et éviter le chauffage de l'appareil. La digestion est laissée s'opérer jusqu'à ce que le milieu devienne clair (environ 6 heures). La solution est laissée se refroidir pendant 4h avant de passer à la distillation.

II.9.1.3.2. Distillation

Avant la distillation, 5 erlenmeyers, sont préparés préalablement pour les 5 essais. Puis un ajustement de 10ml d'acide borique à 4% dans chaque erlenmeyer est réalisé. Ensuite 2gouttes de réactif de Tashiro sont rajoutées dans chaque erlenmeyer. La distillation se fait un à un pour les 5matras contenant les échantillons minéralisés.

Tour à tour chaque Erlen Meyer est placé au distillateur. Ensuite un transfert vers le matras M (matras du distillateur), de la solution à doser et connexion du matras et l'erlenmeyer (un à un) au distillateur ont effectués. Le distillateur est réglé d'une façon à ce que la distillation se fait automatiquement.

II.9.1.3.3 .Dosage (Titrimétrie)

Une burette remplie au 1/20 d'une solution de H_2SO_4 à 0.1N et ajustée au zéro. Goutte à goutte l'acide est versé dans chacun des erlenmeyers jusqu'au virage au rose. Enfin le volume de H_2SO_4 versé est noté.

II.9.1.4. Mode de calcul

II.9.1.4.1. Teneur en Azote

La teneur en azote est calculée par la formule :

$$N\% = \frac{v \times n \times 0.014}{m} \times 100$$

v: volume d'acide sulfurique 0,1N nécessaire pour obtenir le virage.

n : normalité d'acide sulfurique (0,1N) nécessaire pour obtenir le virage.

m : poids sec en g de la prise d'essai

II.9.1.4.2. Teneur en protéines

Concentration massique en protéines sachant que l'azote représente 16% en masse des protéines, est donnée par la formule suivante :

$$P\% = N\% \times 6,25$$

II.9.2. Détermination de la teneur en matière grasse (AFNOR, 1993)

II.9.2.1. But

Le but de cette manipulation est de déterminer la quantité de lipide présente dans les 5 échantillons.

II.9.2.2. Principe

Après extraction des lipides par le solvant n-hexane, une évaporation du solvant est faite pour avoir de la matière grasse pure.

II.9.2.3. Mode opératoire

Chaque échantillon (3g) est introduit dans une cartouche exempte de matières grasses. Les 2 bouts sont couverts avec du coton, puis la cartouche est placée dans un extracteur (Soxhlet). Pour stabiliser l'ébullition une bille de verre est introduite dans un ballon, puis l'ensemble est pesé.

Ensuite le solvant d'extraction n-hexane est versé dans le Soxhlet jusqu'à un volume recouvrant la cartouche, soit environ les 2/3 du ballon. Le tout est placé sur un chauffe-ballon réglé à une température de 45°C jusqu'à ce que le solvant soit limpide (environ 5h de temps). Après extraction, un refroidissement de 2h est réalisé. Puis le solvant est éliminé sous vide à l'aide d'un évaporateur. Avant pesage les ballons sont laissés à l'air libre pour permettre l'évaporation du solvant restant.

II.9.2.4. Mode de calcul:

Le taux de lipides de l'échantillon est calculé selon la formule ci-dessous :

$$\%lipide = \frac{\text{masse lipide}}{\text{masse prise d'essai}} \times 100$$

II.8.3. Détermination de la matière minérale

II.9.3.1. Principe

La matière minérale ou cendres brutes représente la partie d'un produit qui reste une fois que la matière organique en a été totalement extraite. Les cendres brutes sont obtenues par destruction de toutes particules charbonneuses. Elle contient tous les éléments minéraux présents dans l'échantillon.

II.9.3.2. Mode opératoire

Dans une capsule préalablement pesée, 2g pour chaque échantillon sont introduits, puis la capsule est mise dans l'incinérateur pendant 21h à 450°C jusqu'à obtention des cendres blanches à gris clair, apparemment dépourvues de particules charbonneuses. Après refroidissement de la capsule dans un dessiccateur, le pesage est effectué.

II.9.3.3. Mode de calcul

La quantité de la cendre est calculée par la formule :

$$C = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100$$

m₀ : masse de la capsule d'incinération vide (g)

m₁ : masse de la capsule d'incinération munie de l'échantillon avant l'incinération (g)

m₂ : masse de la capsule d'incinération munie de l'échantillon après l'incinération (g)

II.9.4. Dosage des caroténoïdes (Ndwula et al., 2004)

La provitamine A, précurseur de la vitamine A est la forme active de la vitamine A, directement assimilable par l'organisme. Le bêta-carotène est le précurseur le plus puissant de la vitamine (Ndwula et al., 2004). Un microgramme de rétinol correspond à 6µg de bêta-carotène.

1unité internationale (UI) —————> 3,33µg de rétinol

II.8.4.1.Principe

Le dosage repose sur l'extraction de la vitamine 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.

II.9.4.2. Mode opératoire

II.9.4.2.1.Préparation des échantillons

Environ 1g de poudre de chaque échantillon de curcuma 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 prévenir la destruction par la lumière. 15 ml de l'hexane sont rajoutés, la bouteille est agitée pendant 5 à 10 minutes. L'extrait est filtré par la suite avec un papier filtre.

Le culot est de nouveau traité avec 15 ml d'hexane, la procédure est répétée pour extraire tous pigments restants du carotène. Ensuite tout l'extrait est mis dans une bouteille ambrée placée dans un réfrigérateur sombre pendant 5 minutes avant la lecture de la densité optique à 450 nm au spectrophotomètre.

II.9.4.2.2.Etablissement de la gamme étalon

Le dosage est effectué à des concentrations en vitamine A comprises entre 0,015 et 0,06 mg/ml. La méthode utilisée est celle de Ndwula et al. (2004), où une gamme de concentrations en vitamine A différente est utilisée. Pour ce faire, une solution mère de concentration 0,36 mg/ml est préparée à partir d'une capsule de vitamine A de 100.000UI (don du Service nutritionnelle).

Par la suite, des dilutions sont faites à partir de la solution mère, pour obtenir des concentrations de 0,015 mg/ml; 0,03 mg/ml; 0,06 mg/ml et les densités optiques sont lues pour chacune des concentrations obtenues. La courbe $DO = f[C]$, est tracé. En reportant les points de la gamme étalon sur le graphique, l'équation de la droite linéaire peut s'écrire sous la forme :

$$D.O.450nm = a*[vitamineA] + b.$$

Tableau 1 : Gamme étalon de la provitamine A

Concentration (mg /ml)	0,015	0,03	0,06
Absorbance à 450nm	0,081	0,299	0,677

II.9.4.2.3. Lecture de la concentration des échantillons

La densité optique pour chaque extrait est reportée sur la gamme, la concentration en mg/ml de provitamine A de l'échantillon est ainsi obtenue.

Après la détermination de la valeur des paramètres "a" et "b", il est possible de déduire la teneur en provitamine A de l'extrait. Les résultats obtenus sont exprimés en µg par 100g de matière sèche (MS).

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

Avec :

V : volume total de l'extrait

D : facteur de dilution

m : masse de la prise d'essai

MS : matière sèche

II.10. Mesure de la capacité antioxydante par le radical DPPH

II.10.1. Principe

La détermination de la capacité antioxydante du curcuma est importante car c'est grâce à cette propriété que l'épice fait partie des plantes les plus bénéfiques sur le plan sanitaire. Pour mesurer cette propriété la méthode directe est utilisée.

Cette méthode a été décrite par Serpen et al (2007), puis modifiée par Ranovona (2011). Le 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH°) est un radical stable et coloré, qui est

centré sur l'azote. Ce produit a un maximum d'absorption dans le visible qui se situe entre 515-517 nm dans le méthanol et l'éthanol.

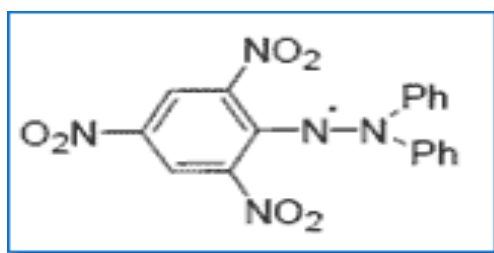
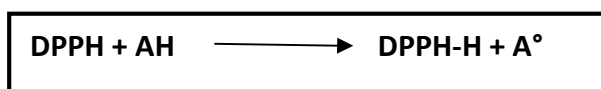


Figure12 : Structure du radical stable DPPH°

La réduction du DPPH par un donneur d'atome H (AH) conduit à la 2,2-diphényls-1-picrylhydrazine incolore (DPPH-H) et au radical (A°).



Où (AH) représente un composé capable de céder un hydrogène radical DPPH (violet) pour le transformer en diphényle picrylhydrazine (jaune).

Un antioxydant est capable de dégrader le radical DPPH ; c'est-à-dire donner un électron singulet au radical synthétique DPPH de coloration violette pour le stabiliser en DPPH de coloration jaune-verte. Cette propriété nous permet de mesurer la capacité antioxydante de nos échantillons en quantifiant la diminution et l'absorption de la solution de DPPH à 517nm.

II.10.2. Mode opératoire

II.10.2.1. Préparation de la solution de DPPH

La préparation de cette solution mère doit être contrôlée de sa stabilité et de sa linéarité. Pour cela, la solution doit être protégée de la lumière afin d'éviter une oxydation.

On prépare une solution de DPPH à 10^{-4} mol/l (=100µM) en dissolvant 10mg de DPPH dans 250ml de méthanol et protégeant celle-ci de la lumière. Cette solution est préparée à l'avance car la solubilisation peut être difficile.

Il est important de vérifier dans un premier temps, la stabilité et la linéarité de l'échantillon mère (DPPH). Ainsi les résultats obtenus pour chacun des échantillons sont analysés et sont comparés à ceux obtenus avec le trolox (antioxydant) qui est pris comme solution de référence. Alors il est nécessaire de tracer une droite de calibration du trolox.

II.10.2.2. Préparation du trolox

Une solution mère de trolox à 5,19 mM est préparée en dissolvant 32,5 mg de trolox dans 25 ml de méthanol. Des solutions filles sont préparées à partir de cette solution mère. Pour cela, des dilutions sont effectuées avec du méthanol, au 1/2, 1/4, 1/10, 1/20.

Un prélèvement de 20 µl de chaque solution fille est réalisé dans un tube Ependorf et laissé réagir avec 1,7 ml 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.

II.10.2.3. Mesure directe de la capacité antioxydante des échantillons par le radical DPPH

Environ 20 mg de chaque échantillon de curcuma préalablement broyé sont pesés et mis dans un tube à essai protégé de la lumière. Une quantité de DPPH multiple de 1,7 ml y est ajoutée (exemple : 3,4 ml (2x); 5,1 ml (3x); ou 6,8 ml (4x), selon la concentration en composés antioxydants de l'échantillon.

Si les échantillons sont riches en antioxydants, en ajoutant seulement 1,7 ml de DPPH, la solution de DPPH va être décolorée très vite, et la valeur de l'absorbance lue risque d'être hors gamme. Le tout est agité au vortex pendant 30 secondes à $t = 3\text{min}$, $t = 15\text{min}$ et $t = 25\text{min}$. Après cela, le tube est centrifugé à 6000rpm 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.

Le surnageant est encore transvasé dans un autre tube à essai protégé de la lumière, sa densité optique est lue toutes les 5 minutes pendant 30 minutes, afin de vérifier sa stabilité.

II.10.3. Mode de calcul

Les résultats obtenus sont exprimés en µmol de Trolox équivalent par mg de matière séchée (MS). Les différents points de la gamme étalon sont reportés sur un graphique avec en

abscisse, la concentration en trolox et en ordonnée, la densité optique à 517nm. On peut tracer la droite de régression linéaire dont l'équation est de :

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

On détermine après la valeur des paramètres « a » et « b » et il est possible de déduire la concentration de trolox du mélange.

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

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

$$\mathbf{capacit\acute{e} antioxydante(\mu molTE/gMS) = \frac{[Trolox] * v}{MS}}$$

Avec :

[Trolox] : Concentration en trolox en μM

v: Volume de DPPH ajouté à l'échantillon (en litre)

Capacité antioxydante ($\mu\text{mol T.E. /g MS}$) : capacité antioxydante de l'échantillon exprimée en $\mu\text{mol de T.E. /g de MS}$

D.O. 517nm : Densité optique de l'échantillon à 517nm

a : pente de la droite de régression

b : ordonnée à l'origine de la droite

Les résultats ainsi obtenus sont traités par le logiciel « stratgraphics plus ».

II.11. Analyse sensorielle du curcuma

II.11.1. Objectifs

Les objectifs de cette séance sont de i) analyser l'acceptabilité de la poudre de curcuma ii) voir si l'épluchage et les différents modes de séchage ont un effet sur les propriétés sensorielles.

II.11.2. Principe

La technique utilisée est le test hédonique. Il s'agit d'évaluer les caractères sensoriels des échantillons en attribuant une note allant de 0 à 9 sur une échelle de notation, ensuite de les classer suivant un rang d'appréciation globale.

II.11.3. Déroulement du test

L'étude est faite sur les cinq échantillons, à savoir :

- poudre de *Curcuma* épluchée et séchée à l'air libre (SE)
- poudre de *Curcuma* épluchée et séchée au séchoir Boara (BE)
- poudre de *Curcuma* non épluchée et séchée à l'air libre (SNE)
- poudre de *Curcuma* non épluchée et séchée au séchoir Boara (BNE)
- poudre de *Curcuma* acheté au marché (T)

Le curcuma a été utilisé dans du riz cantonnais. Une cuillerée de chaque échantillon a été mélangée avec 1Kg de riz, 7gousses d'haricot vert et 250 g de carotte. Des mesures ont été prises afin d'homogénéiser les conditions de préparation.

Une trentaine d'individus considérés comme « population naïve » ont été recrutés pour constituer notre panel. Au cours du test, ils n'ont pas le droit de communiquer entre eux. Des fiches individuelles ont été utilisées pour collecter les résultats (Annexe). Les échantillons ont été préparés le jour même de la dégustation et servis à la même température. Les échantillons ont été présentés simultanément, dans des récipients identiques et de manière anonyme, portant des codes (un nombre à 3 chiffres pris au hasard). Chaque échantillon est recouvert par un verre pour préserver l'odeur. Les échantillons ont été présentés dans un ordre différent pour chaque individu pour éviter les effets d'ordre.

Pour chaque échantillon, le jury a dû le sentir 2 à 3 fois par des reniflements profonds en soulevant le verre qui le couvre et en rapprochant l'échantillon de son nez, d'évaluer sa couleur et de le déguster avant de passer au prochain échantillon suivant le même mode opératoire. Entre 2 échantillons, les dégustateurs ont du se rincer la bouche. L'observation des échantillons un par un permet aussi de ne pas mélanger les caractéristiques sensorielles des produits.



Figure 13: Présentation des échantillons lors de la dégustation

II.11.4. Traitement des données

A partir des notes attribuées par les dégustateurs, les moyennes ont été calculées pour classer les produits les plus appréciés selon les caractères goût, couleur et odeur.

A partir de l'appréciation globale indiquée par le rang, le khi2 a été calculé selon la méthode de FRIEDMAN (norme NF ISO 8587, mai 1989). La formule suivante a été utilisée :

$$x^2 = \frac{12}{np(p+1)} \sum_{n=1}^{\infty} T_p^2 - 3n(p+1)$$

n : nombre de sujets (individus)

p : nombre de produits

Tp : somme des rangs (Tp1 → Tp5) $\sum_{n=1}^{\infty} T_p^2 = T_{p1}^2 + T_{p2}^2 + T_{p3}^2 + T_{p4}^2 + T_{p5}^2$

ddl = nombre de produit - 1

Résultats et discussion

I. COLLECTE ET TRANSFORMATION

I 1. Culture de *Curcuma* et collecte d'échantillons

D'après les entretiens menés auprès des paysans dans la zone de collecte, le curcuma est généralement cultivé, mais il peut également pousser sauvagement. Le rhizome est mis sous terre à quelques centimètres et chaque bourgeon donne une tige ou des feuilles. La culture se fait par monoculture mais ne gêne pas les autres plantes en cas de mélange. Le curcuma est facile à cultiver.

La culture se fait normalement aux mois de novembre et décembre. La récolte se fait en mai- juin. En moyenne le cultivateur récolte 8 t/ha par an.

Les rhizomes sont déterrés. La conservation se fait par entassement sur terre sans aucun traitement, c'est-à-dire il n'y a ni lavage ni séchage. Ainsi, les rhizomes peuvent résister jusqu'à un an. Le fait de ne pas laver le curcuma après récolte permet une protection due à la boue qui empêche une contamination et une prolifération microbienne d'altération.

Jusque là, il n'y a aucun collecteur dans la zone (*notre interlocuteur, une paysanne a au moins 2 tonnes sur place*).

II. Teneur en eau et en matière sèche des produits

L'évaluation de la teneur en eau dans un aliment est importante pour la conservation. Le tableau qui suit présente le déroulement du séchage au cours des différents essais.

Les différents échantillons étudiés

- BNE : produits séchés au Boara et non épluchés
- SNE : produits séchés au soleil et non épluchés
- BE : produits séchés au Boara et épluchés
- SE : produits séchés au soleil et épluchés

Tableau 2 : Variation de l'humidité au cours du séchage

Séchage du <i>Curcuma</i> au Boara				
BNE			BE	
	Début	Fin	Début	Fin
Durée d'exposition(h)	0	33	0	33
Humidité (%)	87,67	7,53	83,02	6,37
MS%	12,33	92,47	16,98	93,63
Séchage du <i>Curcuma</i> en plein air				
SNE			SE	
	Début	Fin	Début	fin
Durée d'exposition (h)	0	36	0	36
Humidité (%)	87,67	8,85	83,02	8,75
MS%	12,33	91,15	16,98	91,25

**Moyenne des résultats réalisés en triple*

Le tableau illustre parallèlement la variation de la teneur en eau, de la teneur en MS ainsi que les temps d'exposition pour les différents échantillons au cours du séchage.

II.1.1. Teneur en eau pour les échantillons séchés au Boara

Cas du curcuma non épluché

Le curcuma non épluché et séché au Boara (BNE), l'humidité initiale mesurée est de 87,67% pour 12,33% de MS. A la fin de l'exposition, 7,53% d'humidité et 92,47% de MS sont enregistrées.

Cas du curcuma épluché

Au début de l'essai l'humidité mesurée est de 83,02% et 16,98% de MS pour BE. Après 33h de temps d'exposition, 6,37% d'humidité et 93,63% de MS ont été enregistrées.

II.1.2. Teneur en eau du curcuma séché en plein air

Cas du curcuma non épluché

Le séchage solaire direct a duré 36h de temps pour les deux types d'échantillons (épluché et non épluché).

Au début de l'essai, le produit non épluché (SNE) possède 87,67% pour 12,33% de MS. A la fin de l'exposition, 8,85% d'humidité contre 91,15% de MS ont été enregistrées

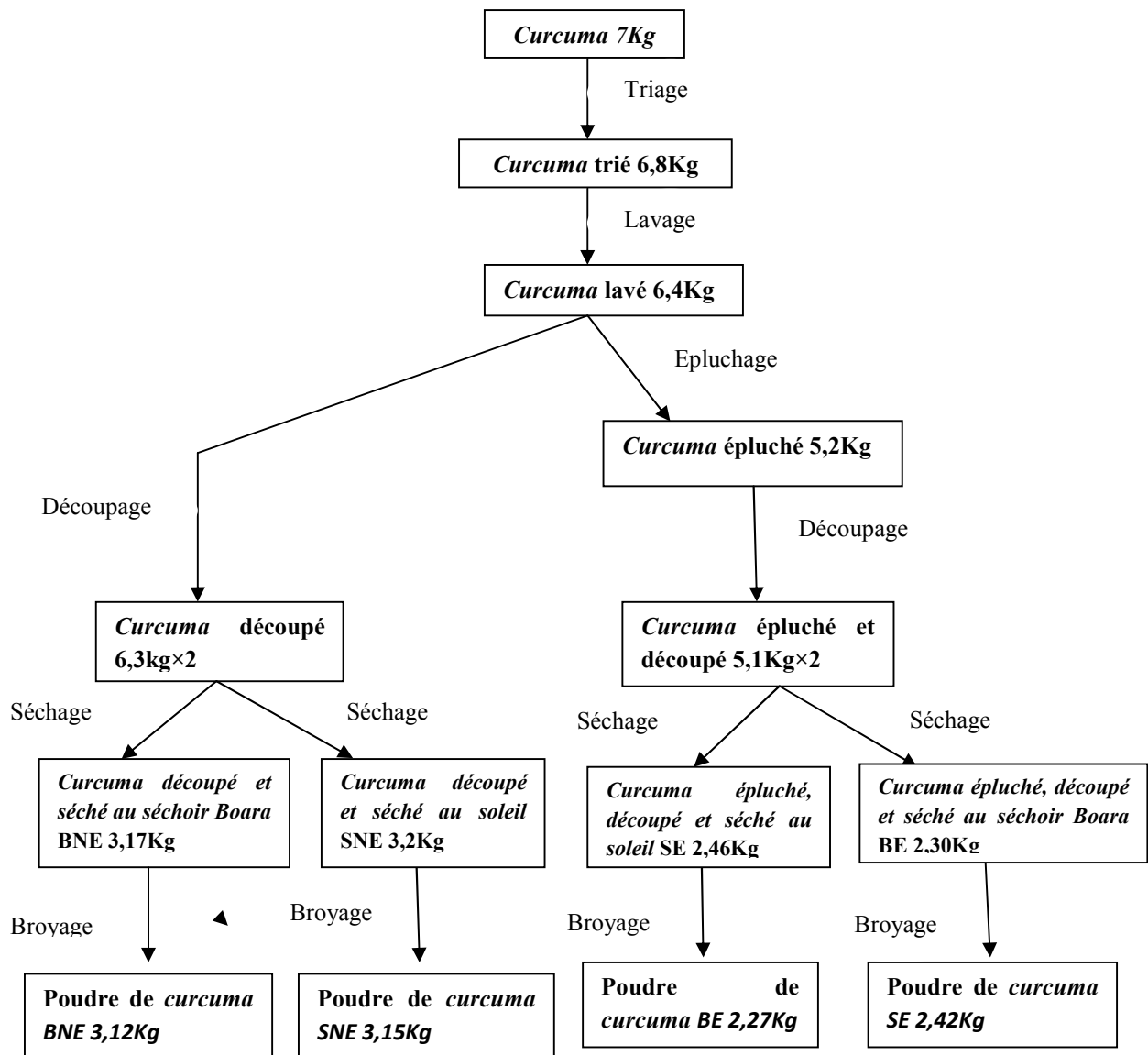
Cas du curcuma épluché

En plein air, l'échantillon épluché (SE), possède 83,02% de teneur en eau au début de l'exposition pour 16,98% de MS. A la fin de l'essai 8,75% d'eau et 91,25% de MS sont observés.

Le temps de séchage dans tous les cas dépend du type de séchoir utilisé. Pour le séchoir solaire indirect il a fallu 33h d'exposition solaire contre 36h de temps pour les produits séché directement au soleil.

Les échantillons séchés au Boara présentent la même teneur en eau au final (93%) légèrement supérieure aux échantillons séchés directement au soleil (91%).

II.2. Diagramme de transformation du rhizome



11.3. Rendement massique de transformation

Le poids des échantillons au cours de différents processus a présenté des variations et il a été important de suivre cette variation quantitative afin de repérer les étapes cruciales. Les rendements de transformation sont consignés dans le tableau 4.

Tableau 3: Rendements sur la base de la matière brute des différentes étapes du séchage de rhizome de *Curcuma*

Etapes des transformations	Echantillons épluchés		Echantillons non épluchés	
	Valeurs observés (kg)	Rendement % MB	Valeur observée (kg)	Rendement % MB
Lavage	6,7	100,0	6,4	100
Epluchage	5,2	77,6		0,0
Parage-tranchage	5,1	76,1	6,3	98,4
Séchage	2,46 (SE)	36,7	3,2 (SNE)	50,0
	2,20 (BE)	32,8	3,11 (BNE)	48,6
Broyage	2,42 (SE)	36,1	3,15 (SNE)	49,2
	2,18 (BE)	32,5	3,09 (BNE)	48,3

Après lavage et pesage du rhizome, 6.7kg de *Curcuma* destiné à être épluché et 6.4kg pour le curcuma qui n'a pas été épluché sont enregistrés.

L'épluchage du rhizome fait perdre à la matière 22,4% de son poids initial. Ce qui donne un rendement massique de 77,6%.

Après tranchage, le rendement est de 76,1% par rapport au produit initial pour les échantillons épluchés et de 98,4% pour les échantillons non épluchés. Cette transformation a fait perdre 1.5% pour les échantillons épluchés et 1,6% pour les échantillons non épluchés.

Après séchage, le poids du rhizome diminue considérablement. Ainsi 2,46 kg sont obtenus pour SE soit 36,7% de rendement correspondant à 63,3% de perte d'eau totale. De même 2,2 kg de rhizome BE ont été enregistrés, soit 32.8% de rendement avec 67,2% de perte d'eau.

Pour les échantillons non épluchés, 3,2Kg pour SNE sont obtenus après séchage, soit 50% de rendement et une déshydratation de 50,0%. Pour BNE, 3,11 kg sont obtenus, soit 48.6% de rendement avec 51,4% de perte d'eau par rapport au produit initial.

Après broyage, 2,42kg de poudre pour SE sont obtenus, soit 36,1% de rendement par rapport à MB, et 2,18kg pour BE, soit 32,5% de rendement

Pour les produits non épluchés, le broyage a donné 3,15kg de poudre soit 49,2% de rendement pour SNE, et 3,09kg pour BNE, soit 48.3% de rendement.

II.4.Rendements de séchage

Le tableau 4 résume les rendements exclusifs de séchage après les différentes étapes de transformations. Le produit initialement considéré est le curcuma tranché en lamelles.

Tableau 4 : Rendement massique après séchage

Echantillons	BNE	BE	SNE	SE
Rendement (%)	49,2	43,1	50,7	48,2

Le séchage des échantillons non épluchés, qu'ils soient séchés au Boara ou directement au soleil donne des rendements d'environ 50%.

Le séchage des échantillons épluchés donne deux rendements différents de 5% entre SE avec 48% contre 43,1% pour BE.

III CINETIQUE DE SECHAGE DU RHIZOME

III.1. Comparaison des températures en fonction du type de séchoir utilisé

Le séchage a été effectué en septembre 2014. Il a été important de connaître la variation de la température dans le séchoir et celle en plein air.

Remarque : il est à noter que pendant l'hiver (mois de juillet), on a eu des difficultés pour le séchage car avec des températures assez basses, les échantillons regorgeaient d'eau à cause de l'humidité de l'air. Cette situation nous a amené à interrompre le séchage et ne le faire qu'au mois de septembre.

Les résultats des essais qui comparent la variation de la température dans les types de séchoirs, sont détaillés dans les paragraphes suivants.

III.1.1.Variation de la température lors du séchage du curcuma non épluché

Le tableau 5 et la figure 14 illustrent les relevés de température toutes les 3h pendant la période de séchage. L'essai a commencé à 8h du matin et a duré 36h d'exposition en plein air et 33h dans le séchoir, temps nécessaires pour obtenir des poids constants des produits séchés.

Tableau 5 : Variation de la température (T) dans le séchoir Boara et en plein air au cours du séchage des échantillons non épluchés

Heures	8	11	14	17	20	23	2	5	8	11	14	17	20
Durée (heures)	0h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h	24h	27h	30h	33h	36h
BNE(T en °C)	17	40	54	35	22	18	15	13	11	18	42	55	39
SNE (T en °C)	15	27	41	30	28	15	12	11	11	16	38	43	33

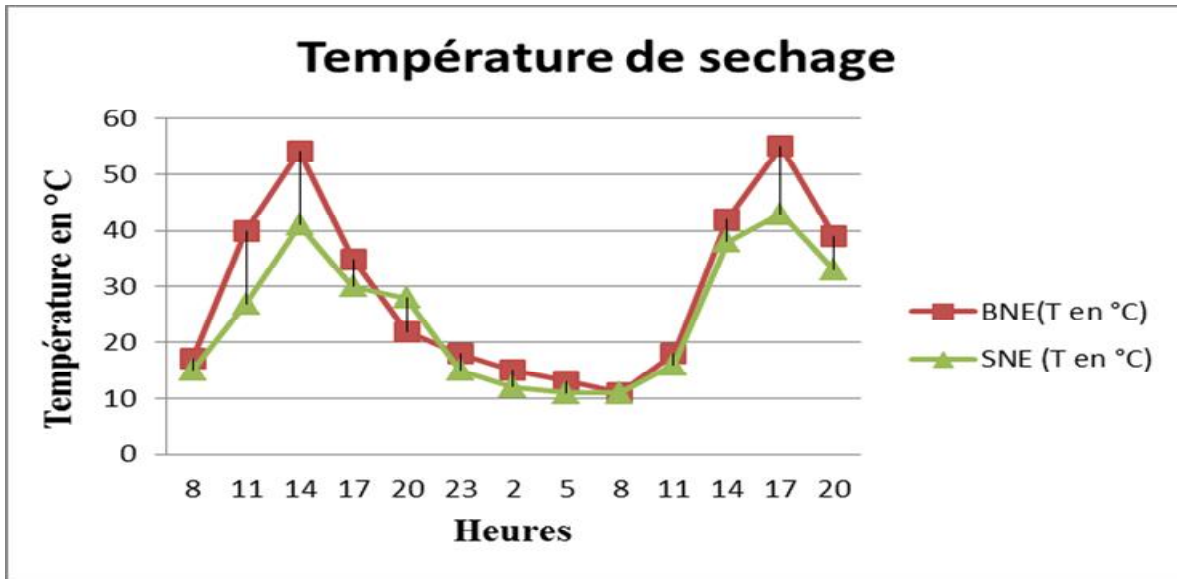


Figure 14: Variation de la température dans le séchoir et en plein air lors du séchage du curcuma non épluché

Dans le séchoir, la température varie entre 11°C (minimum) et 55°C (maximum). Au début de l'exposition, la température est de 17°C et continue à augmenter normalement pour atteindre 54°C après seulement 6h de temps (13h pm). Ensuite une diminution de la température est observée de 9h de temps (19h pm) pour descendre à 18°C après 15h de temps (8h am). Pendant la nuit, c'est-à-dire au-delà de 15h de temps d'exposition, la température enregistrée est inférieure à 20°C avec un minimum de 11°C après 24h de temps (de 5h à 8h am). La température augmente de nouveau après 24h de temps et la courbe a la même allure que celle tracée aux premières 24h mais cette fois ci avec un pic maximal de 55°C.

En plein air, la courbe varie avec la même allure que dans le séchoir. Pendant le jour, des relevés supérieurs sont enregistrés par rapport à la nuit. Au début de l'exposition, 15°C sont lus. La température commence à augmenter jusqu'à atteindre 41°C après 6h de temps d'expérience. Après 6h de temps la température commence à diminuer pour arriver à 11°C après 24h de temps. Des enregistrements très faibles (inférieure à 15°C) sont faites après entre 15h à 24h de temps de séchage (c'est-à-dire pendant la nuit au petit matin). Après 24h de temps la température continue à augmenter pour atteindre 43°C et ensuite diminuer de la même façon que les premières heures.

La figure 14 montre bien que la température dans le séchoir est largement supérieure à celle observée en plein air dans la période ensoleillée.

III.1.2.Variation de la température lors du séchage du curcuma épluché

Les températures enregistrées au cours du séchage des produits épluchés sont donnés par le tableau qui suit.

Tableau 6 : Variation de la température (T) dans le séchoir Boara au cours du séchage des échantillons épluchés

Heures	8	11	14	17	20	23	2	5	8	11	14	17	20
Durée (heures)	0h	03h	06h	09h	12h	15h	18h	21h	24h	27h	30h	33h	36h
BE (T en °C)	16	40	55	37	22	19	17	13	11	17	43	52	48
SE (T en °C)	13	28	41	32	25	15	13	11	11	14	39	41	34

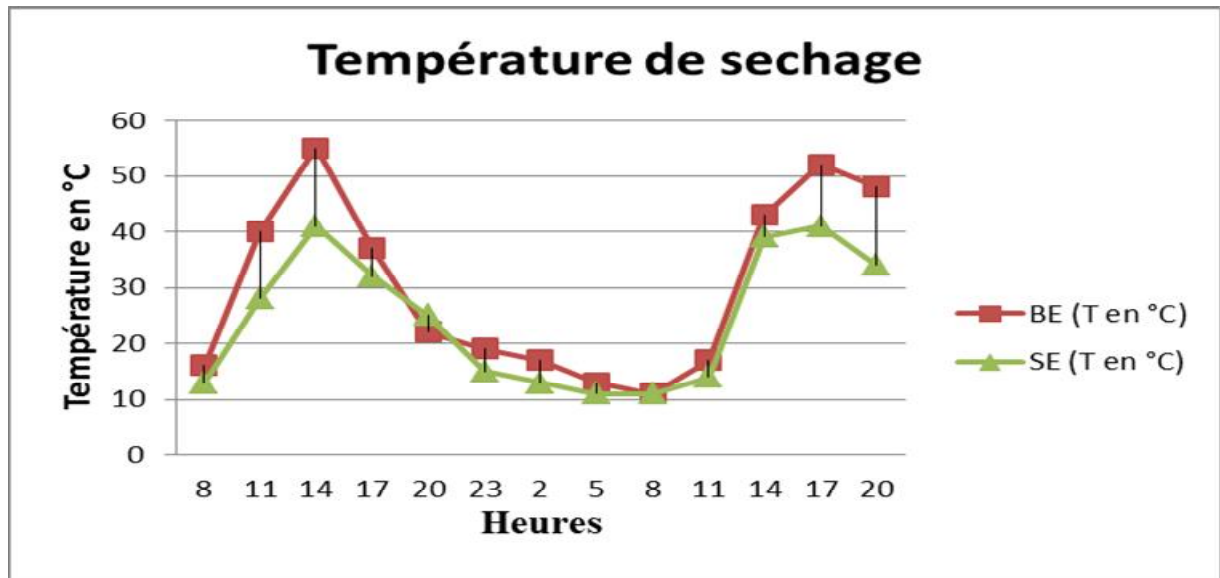


Figure 15 : Variation de la température dans le séchoir et en plein air lors du séchage du *Curcuma* épluché

Dans le séchoir, la température varie considérablement entre 11°C (minimum) et 55°C (maximum). Au début de l'exposition la température est de 16°C et continue à augmenter remarquablement pour atteindre 55°C après seulement 6h de temps de séchage (13h pm). Ensuite une diminution de la température est observée de 9h de temps (37°C) pour descendre à 11°C après 15h de temps. Pendant la nuit, la température enregistrée est inférieure à 20°C. La température augmente de nouveau après 24h de temps et la courbe a la même allure que celle tracée aux premières 24h mais cette fois ci avec un pic maximal de 52°C

En plein air la température varie de la même façon que dans le séchoir ; pendant le jour des relevés supérieurs sont enregistrés par rapport à la nuit. Au début de l'exposition (8h pm), 13°C sont lus. La température commence d'augmenter jusqu'à atteindre 41°C après 6h de

temps. Après 6h de temps la température commence à diminuer pour arriver à 11°C après 24h de temps. Des enregistrements très faibles (inférieure à 15°C) sont observées entre 15h à 24h de temps de séchage (c'est-à-dire pendant la nuit au petit matin) . Après 24h de temps la température continue à augmenter pour atteindre 43°C et ensuite diminuer de la même façon que les premières heures

Les courbes des variations de la température pendant le séchage du curcuma épluché ont la même allure entre elles et présentent des similitudes avec celles observées lors des essais du *Curcuma* non épluché. Des pics de 55°C dans le séchoir et de 41°C en plein air dans la journée sont enregistrés contre 11°C pendant la nuit.

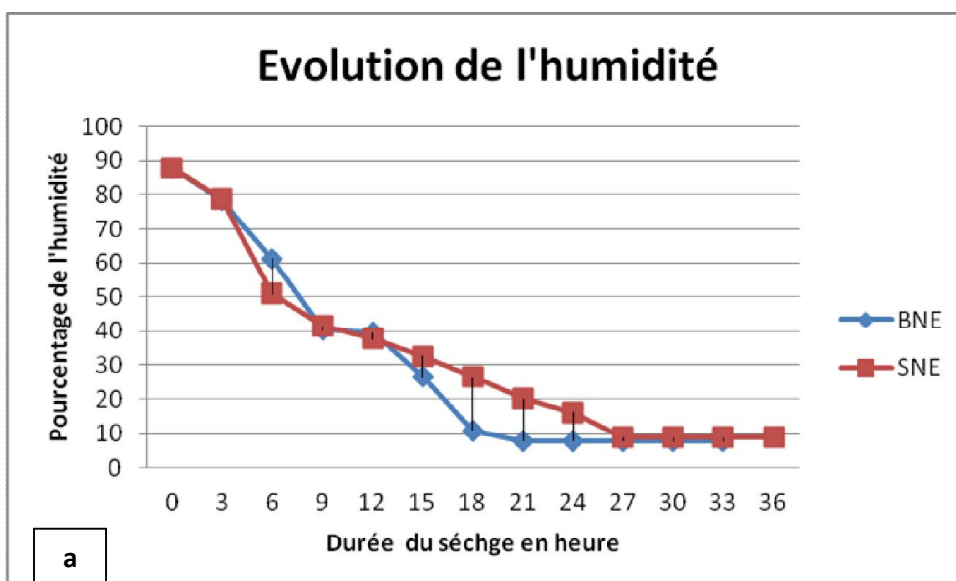
Quel que soit le type de séchage, la température monte pendant la matinée (de 8 à 12h), période au cours de laquelle des relevés de température ont été observés toutes les 3 heures et diminue pendant la nuit. Le minimum est atteint entre 4 et 8h du matin. Les différences de température relevées entre les 2 types de séchoir testés sont relativement importantes. Il semblerait que, dans le séchoir Boara les températures sont plus élevées par rapport aux températures relevées sur les claies exposées au soleil

III.2. Cinétique de séchage du produit selon le type de séchoir

Les résultats des essais visant à mettre en évidence l'effet du type de séchoir sur la cinétique de séchage sont donnés, dans les figures 14 et 15.

III.2.1. Cinétique de séchage du curcuma non épluché

La teneur initiale en eau pour les échantillons non épluchés est de 87,67%, soit une teneur en MS de 12,33%. La figure 16 illustre l'évolution de l'eau et de la MS en fonction du temps.



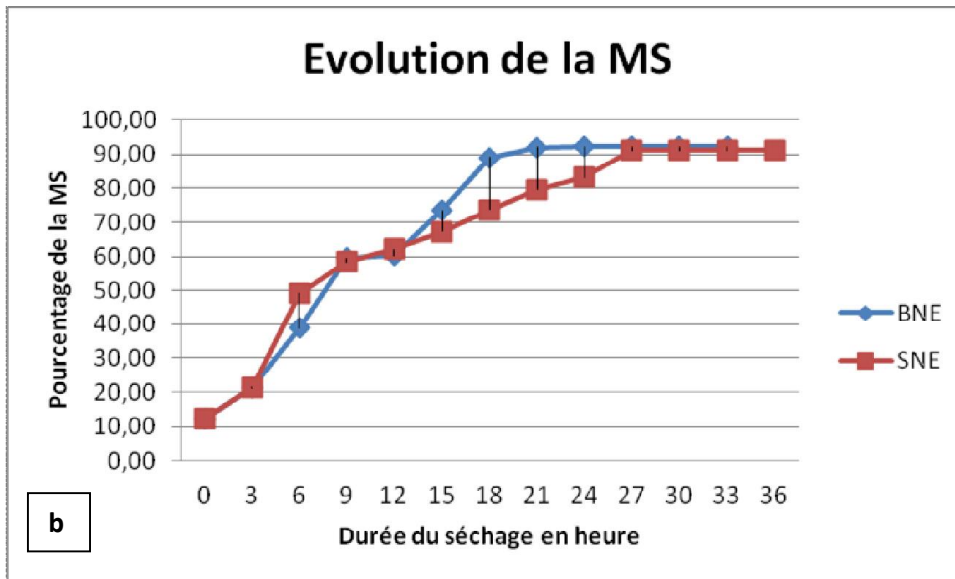


Figure 16 : Evolution de l'eau (a) et de la MS (b) pour les échantillons non épluchés

L'analyse des courbes fait ressortir quelques points :

- ✓ au début du séchage, les courbes (en rouge et bleu) coïncident pour les figures a et b,
- ✓ puis une diminution rapide de la teneur en eau jusqu' à 40% parallèlement à une augmentation de la MS à 60% au cours des 9 premières heures d'exposition ; cette période correspond à un fort ensoleillement dans la journée (8h am à 16h pm).
- ✓ de 9 à 13h d'exposition environ (16h pm à 20h pm), la MS évolue lentement dans les deux séchoirs.
- ✓ une différence est observée après 13h de temps d'exposition en faveur du séchoir Boara : les échantillons non épluchés séchés au Boara (BNE) atteignent un poids constant après 21h de séchage (92,47% de MS) alors que ceux séchés à l'air libre le font après seulement 26h (91,15% de MS).

Les courbes évolutives de l'humidité montrent une similitude en sens inverse de l'évolution de la MS.

III.2.2. Cinétique de séchage du curcuma épluché

La teneur initiale en eau pour les échantillons épluchés est de 83,02%, soit une teneur en MS 16,98%. La figure 15 montre l'évolution de la MS pour les échantillons épluchés, La différence de l'allure des 2 courbes est très légère.

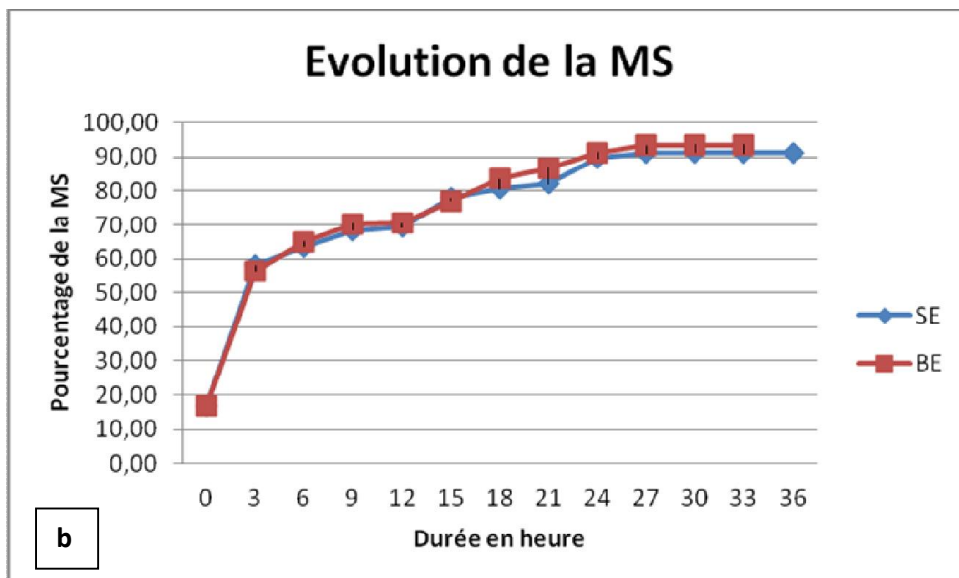
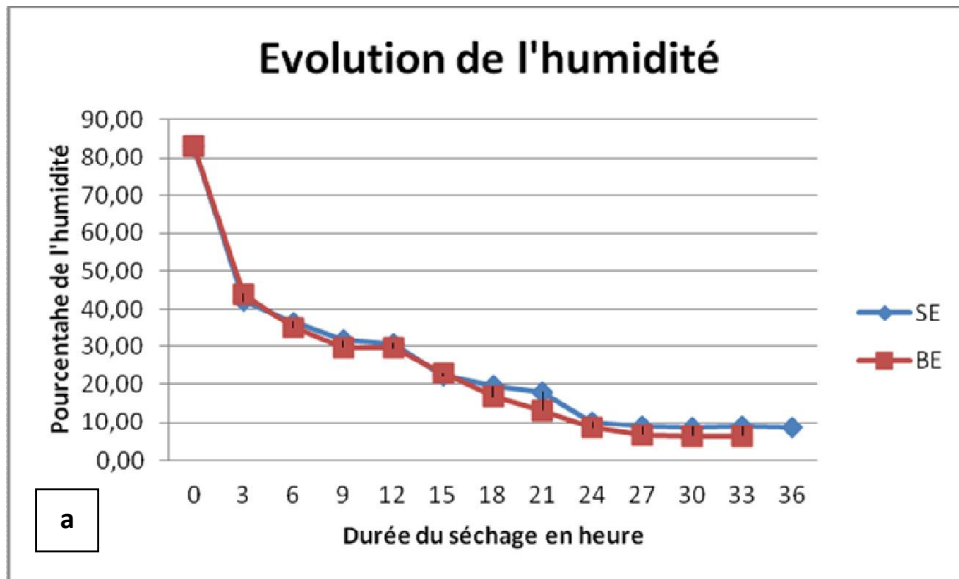


Figure 17: Evolution de l'eau et de la MS pour les échantillons épluchés

L'analyse des courbes permet de dégager quelques points :

- ✓ de la même façon qu'avec les produits non épluchés, les courbes (rouge et bleue) coïncident au début du séchage.
- ✓ quatre heures de temps ont suffi pour perdre 40 % d'eau et obtenir 60% de MS dans les deux séchoirs (8h am à 11h am).
- ✓ après 4h de temps de séchage, la teneur en MS continue d'augmenter mais avec une vitesse plus faible jusqu'à atteindre 70% après 8h d'exposition (vers 16h pm) pour BE et 68% pour SE.
- ✓ La MS constante, 93,63% a été obtenu après 21 h de séchage pour BE contre 91,25% pour SE après 26 heures, soit un décalage de 5h.

L'évolution de la teneur en eau présente l'allure inverse.

IV. VALEUR NUTRITIONNELLE DE *Curcuma longa*

Les valeurs nutritionnelles des poudres séchées des différents échantillons sont comparées après des études statistiques globales et sont données dans le tableau suivant

Tableau 7 : Valeur nutritionnelle de *Curcuma longa*

Echantillon	Protéines (g/100g de MS)	Lipides (g/100g de MS)	Cendres (g/100g de MS)	Provitamine A (en µg/100g de MS)	Glucides (g/100g de MS)
BNE	6,82	13,01	13,46	781,32	66,71
BE	6,70	10,37	7,41	795,51	75,61
SNE	5,51	9,03	10,83	669,19	74,61
SE	5,07	8,69	6,26	789,68	79,97
T	3,53	7,93	4,26	612,87	84,4
	P>0,05	P>0,05	P<0,05	P>0,05	P>0,05

**moyenne des résultats réalisés en double*

Le tableau montre des valeurs différentes pour chaque type de nutriment et les différences statistiques des produits.

Il ressort de ce tableau que les différences statistiques faites ne sont pas significatives sauf pour les teneurs en cendre qui présentent une valeur de P<0,05.

IV.1. Teneurs en protéines

Les résultats des essais montrent des teneurs élevées pour les échantillons séchés au Boara avec 6,82% pour BNE, 6,70% pour BE. Les échantillons séchés directement au soleil ont des valeurs de 5,51% pour SNE vs 5,07% pour SE. Pour le curcuma acheté à Analakely (échantillon témoin : T), il présente une teneur faible, 3,53%

L'utilisation du séchoir Boara a permis une préservation de ces nutriments au cours du séchage. Il a été également remarqué que les échantillons non épluchés ont des teneurs en protéines légèrement supérieures mais ces différences ne sont pas statistiquement significatives.

IV.2. Teneurs en matières grasses

Ce sont les produits séchés au Boara qui sont les plus riches en lipides avec 13,01% pour BNE, et 10,37% pour BE.

Les produits séchés directement au soleil ont respectivement 9,03% pour SNE et 8,69% pour SE alors que l'échantillon T représente le pourcentage le plus faible (7.93%).

La comparaison de la quantité de matière grasse en fonction du types de séchoir, quel que soit l'échantillon, a permis de souligner que le séchage solaire indirect présente des avantages : BNE contient une teneur élevée que SNE. La même tendance a été observée pour les échantillons épluchés : BE est supérieur à SE.

En fonction du type d'échantillon, les curcumas non épluchés possèdent des teneurs plus importantes en lipides que les échantillons épluchés.

IV.3. Teneurs en minéraux

La variation de la teneur en cendres des échantillons est importante si la comparaison est faite au niveau du type d'échantillon. Ce sont les *Curcumas* non épluchés qui présentent des quantités élevées avec 13,46% pour BNE et 10,83% pour SNE.

Les échantillons épluchés présentent des teneurs faibles. BE possède une valeur de 7,41% de cendres et SE 6,26%. L'échantillon témoin T, quant à lui, a la plus faible teneur de 4,26%.

Globalement les teneurs en cendres des produits présentent des différences statistiquement significatives.

IV.4. Teneurs en provitamine A

Ce sont les produits séchés au séchoir solaire indirect qui possèdent les teneurs supérieures en provitamine A avec en tête BE (795,51 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS) suivi de BNE (781,51 en $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS).

Pour les produits séchés directement au soleil, SE a une valeur de 789,68 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS et SNE 669,19 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS.

Le produit T possède la plus basse teneur de 612,87 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de MS.

IV.5. Comparaisons statistiques de la valeur nutritionnelle selon le type de traitement et le type de séchoir

Les résultats des analyses statistiques de comparaison de chaque produit sur le type de traitement (épluché ou non) et le type de séchoir (direct ou indirect), sont donnés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Analyse de variance des teneurs en nutriments en fonction du type de traitement et du type de séchoir

Nutriments	Type de séchage	Traitement
Protéines	P>0,05	P>0,05
Lipides	P<0,05	P>0,05
Glucides	P<0,05	P>0,05
Cendres	P>0,05	P>0,05

Les analyses de variance effectuées sur les teneurs en différents nutriments au cours des essais permettent de mettre en évidence que les teneurs en lipides et en glucides sont affectées par le type de séchoir.

Les différences observées ne sont pas hautement significatives pour l'épluchage sur la valeur nutritionnelle des produits.

Malgré les différences observées entre les teneurs en protéines et en cendre, ni le type de séchage ni le traitement n'affectent de manière significative les teneurs observées

Les résultats montrent que l'utilisation du séchoir Boara a un effet favorable sur la conservation de la teneur en lipides et en glucides (P< 0,05).

IV.6. Valeurs énergétiques

La teneur en glucides calculée par différence et la valeur énergétique obtenue en affectant le coefficient d'Atwater à chaque nutriment, sont données par le tableau suivant.

Tableau 9 : Valeurs nutritionnelles et énergétique des différents échantillons étudiés

Echantillon	Protéines (g% MS)	Lipides (g% MS)	Glucides (g% MS)	Valeur énergétique (kcal)
BNE	6,74	13,01	66,71	410,89
BE	6,60	10,36	75,63	422,16
SNE	5,54	9,03	74,61	401,87
SE	5,07	8,69	79,98	418,41
T	3,53	7,96	84,25	422,73

Les valeurs énergétiques se trouvent aux alentours de 410kcal et les résultats statistiques ne présentent aucune différence significative.

Le rhizome non épluché possède des valeurs légèrement inférieures par rapport au rhizome épluché. BNE a une valeur de 410,89kcal et SNE a une valeur de 401,87kcal. L'échantillon T a une valeur de 422,73kcal.

V. Capacité antioxydante

La mesure a été faite sur les différents échantillons de *Curcuma* séché et les résultats sont donnés dans le tableau 10

Tableau 10 : Capacité antioxydante (CAO) des différents échantillons de *Curcuma*

Echantillons	BNE	BE	SNE	SE	T
CAO (en $\mu\text{mol TE/g MS}$)	104,3 \pm 19,29	172,9 \pm 22,85	91,2 \pm 25,4	113,4 \pm 9,36	70,48 \pm 18,92

*Moyenne \pm écart-type des résultats réalisés en triple

Les produits séchés au Boara ont des capacités antioxydantes de 104,3 \pm 19,2985 $\mu\text{mol TE/gMS}$ pour BNE et 172,9 \pm 22,8585 $\mu\text{mol TE/gMS}$ pour BE.

Les produits séchés directement au soleil ont des valeurs inférieures par rapport aux premiers avec 91.225,4 $\mu\text{mol TE/gMS}$ pour SNE et 113 \pm 9,36 $\mu\text{mol TE/gMS}$ pour SE.

Ainsi le séchoir Boara conserve mieux la capacité antioxydante. Le *Curcuma* acheté au marché (T), possède la valeur la plus faible de 70.48 \pm 18,92 $\mu\text{mol TE/g MS}$.

La capacité antioxydante paraît dépendre de l'épluchage et non du type de séchoir. Toutefois le séchoir Boara conserve mieux cette propriété très importante.

VI. ANALYSE SENSORIELLE

Les résultats de l'étude sensorielle du rhizome de *Curcuma longa* effectuée sur les trois critères à savoir ; le goût, l'odeur et la couleur sont donnés par les paragraphes ci-dessous.

VI.1.1. Appréciation globale de la couleur

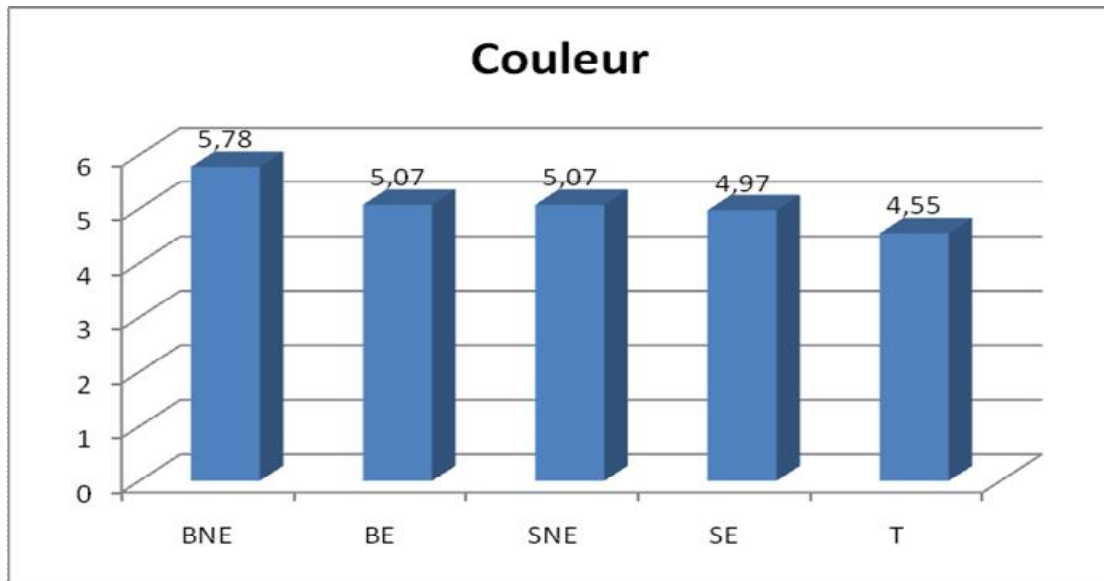


Figure 18 : Moyennes des notes obtenues sur la couleur

La figure 18 donne l’appréciation des juges sur la couleur et montre une moyenne de 5,77 pour BNE suivi par SNE et BE qui ont obtenu les mêmes moyennes de 5,07. L’échantillon SE a une moyenne de 4,97 et enfin l’échantillon témoin (T) la note moyenne la plus faible avec 4,55.

Les valeurs moyennes de la variable couleur données par les juges sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Classement et regroupement des groupes non significatifs

Echantillons	Moyenne	Regroupements	
BNE	5,78		B
BE	5,07	A	B
SNE	5,07	A	B
SE	4,97	A	
T	4,55	A	

Ce tableau montre une différence significative entre l’échantillon BNE, BE, SNE d’une part et les échantillons T et SE d’autre part. Ainsi, on peut dire que le séchage indirect et/ou le non épluchage permettent aux échantillons de garder une meilleure couleur.

VI.1.2. Appréciation globale de l’odeur

En ce qui concerne l’odeur, BE est apprécié par les dégustateurs avec une moyenne de 5,30, en seconde position se trouve SE avec une moyenne de 4,93 puis les échantillons SNE et

BNE qui ont respectivement 4,17 et 3,90 et en dernière position se trouve l'échantillon T avec une moyenne de 3,76.

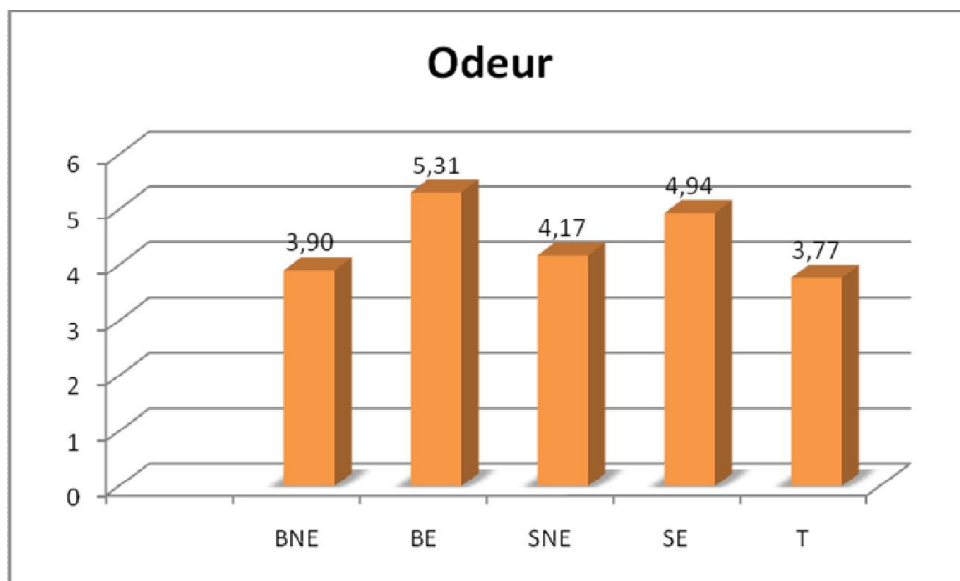


Figure 19 : Moyennes des notes obtenues de l'odeur

Après analyse sur XLSTAT, les moyennes de la variable odeur pour chaque échantillon, ainsi que les groupes sont données dans le tableau suivant :

Tableau 12 : classement et regroupement des groupes non significatifs

Echantillon	Odeur	Regroupements
BNE	3,90	A
BE	5,31	B
SNE	4,17	A
SE	4,94	B
T	3,77	A

Les échantillons épluchés présentent des moyennes significativement élevées par rapport aux échantillons non épluchés.

Aucune différence significative n'a été détectée par les dégustateurs concernant l'odeur des échantillons non épluchés et le témoin. L'odeur est significativement meilleure lorsque le curcuma est épluché.

VI.1.3. Appréciation globale du goût

Concernant le goût, les échantillons SE et BE présentent les moyennes élevées avec respectivement 5,97 et 5,14, suivis par les échantillons SNE et BNE avec des moyennes de 4,20 et 4,07. L'échantillon T représente une moyenne de 3,55.

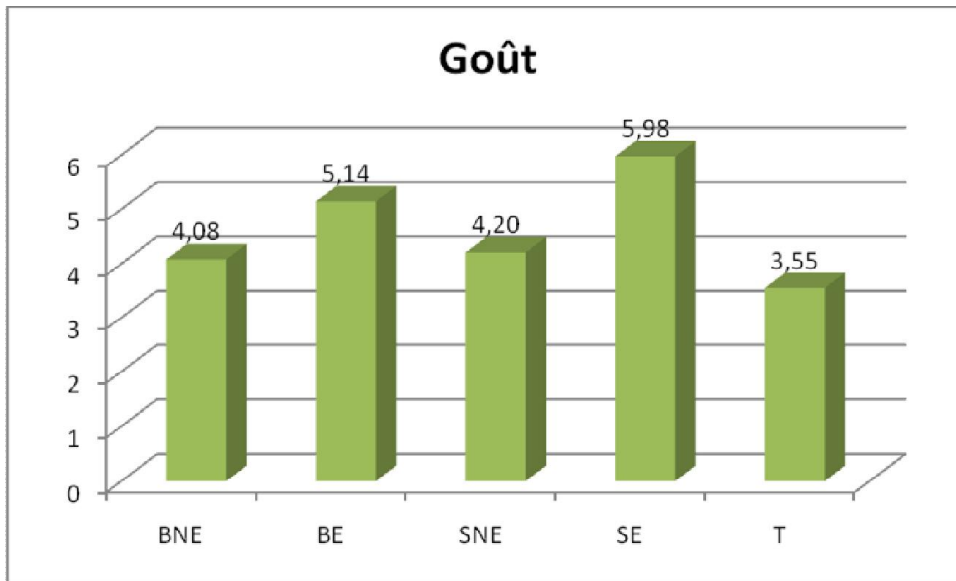


Figure 20 : Moyennes de goût des produits

Les moyennes de la variable goût sont données dans le tableau ci-dessous présentant le classement et les groupes non significatifs.

Tableau 13 : Classement et des groupes non significatifs

Echantillon	Goût	Regroupements
BNE	4,08	A
BE	5,14	B
SNE	4,20	A
SE	5,98	C
T	3,55	A

Au niveau du goût, le tableau illustre une différence statistiquement significative entre le produit SE , BE par rapport aux autres produits. Les échantillons épluchés ont les goûts les plus appréciés. Aucune différence n'a été détectée entre les produits non épluchés (BNE, SNE et T).

Selon les propos recueillis au cours de cette étude, le curcuma épluché (SE) a un goût modérément prononcé (*et ainsi plus apprécié*).

VI.2. Classement

Les résultats de l'appréciation globale des dégustateurs, obtenus par épreuve de classement, sont donnés par le graphique suivant :

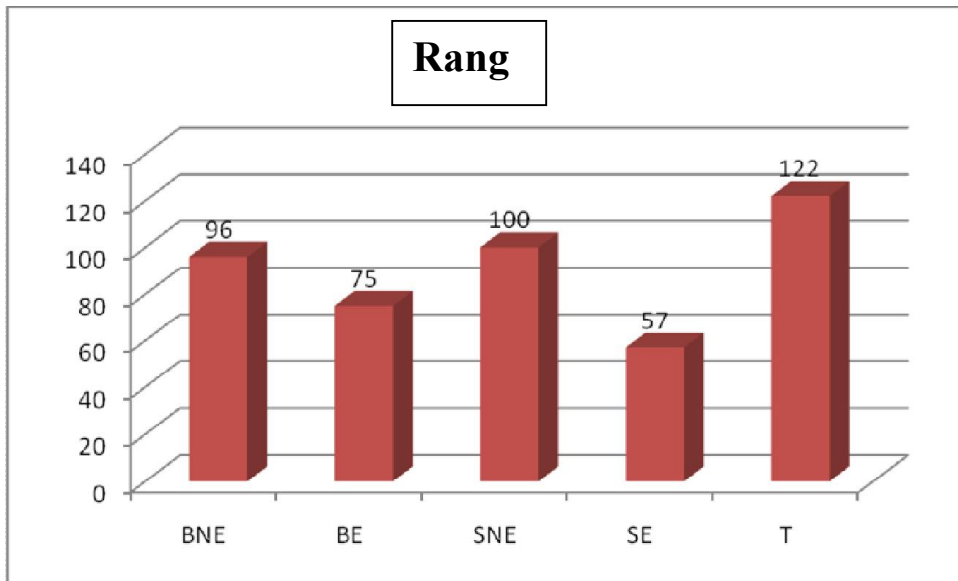


Figure 21 : Somme des rang des produits

La première position a été attribuée à SE ensuite BE suivi par BNE, SNE et finalement T. Globalement, les échantillons épluchés sont plus appréciés. En appliquant la formule de Friedman, on constate qu'il y a une différence significative entre les produits (χ^2 calculé = 2692 > χ^2 table = 9,48)

Nous avons essayé de comparé 2 à 2 les produits en calculant le χ^2 , il a été démontré que chaque produit a été apprécié de manière significativement différente entre eux (χ^2 théorique = 3,84 : ddl=1)

Le tableau ci dessous montre les valeurs de χ^2 pour chaque combinaison à comparer.

Tableau 14 : χ^2 calculé pour les 2 produits comparés

Produits à comparer	BNE-BE	BNE-SNE	BNE-SE	BNE-T	BE-SNE	BE-SE	BE-T	SNE-SE	SNE-T	SE-T
Valeur de χ^2	1931	2543	1543	3150	2024	1144	2569	1625	3268	2118

Les résultats montrent que chaque couple comparé, la valeur de χ^2 est supérieure à la valeur théorique (χ^2 théorique = 3.84, ddl=1).

VII. DISCUSSION

Les travaux que nous avons réalisés ont été focalisés sur la variation des teneurs en différents nutriments, de la capacité antioxydante et des propriétés organoleptiques des poudres de rhizome de *Curcuma* en fonction des traitements et du mode de séchage.

Il ressort de cette étude que malgré un climat défavorable (température autour de 11°C), le séchoir indirect (Boara) a permis de réduire le temps de séchage, 36h vs 33h au soleil. Une température élevée enregistrée à l'intérieur du séchoir, 50°C contre 40°C en plein air a permis cette déshydratation rapide, notamment durant la journée (8ham à 15hpm). Le fait de pouvoir emmagasiner des températures élevées est un avantage du séchoir Boara. Néanmoins, durant notre travail, il n'a pas pu montrer sa performance optimale à cause des conditions météorologiques ayant prévalu durant ces expériences.

Pendant la nuit des températures assez basses sont enregistrées et sont à l'origine d'égorgement d'eau par les échantillons provoquant un ralentissement de déshydratation.

Il est à noter que vu les différences remarquables de température au cours de la période d'ensoleillement et l'évolution de la vitesse de la matière sèche (presque égale) dans les deux types de séchoir, il est aussi à prendre en considération l'effet déshydratant de l'air ambiant (séchoir direct).

Concernant les caractéristiques nutritionnelles de *Curcuma longa*, des légères différences peuvent être notées en fonction du mode de séchage : les échantillons séchés au Boara présentent des teneurs en glucides et lipides supérieurs à celles des échantillons séchés au soleil.

Par ailleurs, le produit témoin acheté au marché présente des teneurs plus faibles en différents nutriments que les échantillons étudiés.

Du point de vue teneurs en nutriments, le produit BNE apparaît être le plus riche parmi les échantillons étudiés.

Comparativement aux données de la littérature (tableau 15), BNE est plus pauvre en protéines, 6,74% vs 7,83%, mais plus riche en lipides, en glucides et en cendres, donc plus énergétique.

Tableau 15 : Valeur nutritionnelle et énergétique pour une portion de 100g de poudre

Echantillon	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Energie (kcal)
BNE*	6,74	13,01	66,71	410,89
Valeur connue du <i>Curcuma</i> **	7,83	9,88	64,93	354

*auteur **www.lanutrition.fr

Si on compare, l'échantillon BNE au gingembre qui est considéré comme une épice sœur du curcuma (tableau 16), quelques points sont à noter.

Tableau 16 : Comparaison des teneurs en macronutriments du Gingembre et du curcuma

Echantillon	Protéines (g%)	Lipides (g%)	Glucides (g%)	Energie(Kcal)
<i>Curcuma (BNE)*</i>	6,74	13,01	66,71	410,89
<i>Gingembre **</i>	10	5	65	300

*auteur ** www.informationnutritionnelle.fr.

En macronutriments, le gingembre présente des teneurs supérieures en protéines (10%). Le curcuma est plus riche en lipides, 13,01% contre 5% pour le gingembre, ce qui explique la valeur énergétique plus importante de 410,89kcal vs 300kcal pour le gingembre.

En matière minérale, ce sont les échantillons non épluchés qui en contiennent le plus quel que soit le type de séchoir. Les résultats montrent alors que c'est dans la peau du rhizome de *Curcuma* que se concentre une grande partie des matières minérales. D'après la littérature, le curcuma contient : 230% de fer, 18% de calcium, 48% de magnésium, 3% de sodium (www.la Nutrition.fr)

La teneur en provitamine A est supérieure pour les échantillons séchés au séchoir Boara. Néanmoins, l'effet de l'épluchage est négligeable vu que pour les produits séchés au Boara, les teneurs en provitamine A se rapprochent ; BE 785.51 µg/100g de MS et BNE 781.32 µg/100g de MS.

Pour les échantillons séchés en plein air, c'est SE qui possède la plus grande valeur (779,68 µg/100g de MS) et SNE (669,19 µg/100g de MS). L'échantillon T quant à lui contient 612.87 µg/100g de MS.

Au vu de ces résultats, on peut conclure que la chair du rhizome renferme une grande quantité de caroténoïdes.

Des comparaisons des teneurs en provitamine A sont données entre le *Curcuma* avec d'autres aliments consommés à Madagascar séchés au Boara (Andrianoely, 2014) (tableau 17).

Tableau 17 : Teneurs en provitamine A (en µg/100g de MS) du curcuma et autres aliments

Echantillon	<i>Curcuma</i>	Tomates	Banane	Patate douce
Teneur en provitamine A	781,32	805,7	110	1136,1

En première position se trouve la patate douce avec 1136,1 µg/100g de MS, puis la tomate avec 805.7 µg/100g de MS. Le *Curcuma* occupe la troisième position avec 781.32 µg/100g de MS et enfin la banane avec 110 µg/100g de MS.

Du point de vue capacité antioxydante, les échantillons épluchés possèdent des valeurs élevées. Le tableau 18 compare le *Curcuma* avec d'autres denrées alimentaires, tomate, banane, patate douce, fraîches et séchées au Boara.

Tableau 18 : Capacité antioxydante du *Curcuma* comparée à celle d'autres aliments

Aliments	<i>Curcuma</i>	<i>Tomates</i>		<i>Banane</i>		<i>Patate douce</i>	
	Séché	Frais	Séché	Frais	Séché	Frais	Séché
CAO (μmol TE/g MS)	172,9±22,85	175,77±0,00	81,1±4,47	68,2±4,16	49,3±2,46	17,5±0,56	15,7±0,75

*Moyenne ±écart-type des résultats réalisés en triple

La capacité antioxydante du *Curcuma* en poudre est largement supérieure à celle des autres produits séchés.

Si l'on se réfère à ces mêmes produits, mais cette fois à l'état frais, la tomate possède une CAO légèrement supérieure (175,77±0,00.μmol TE/g MS) que la poudre de *Curcuma* (172±22,85. μmol TE/g MS). La banane (49,3±2,46 .μmol TE/g MS) et la patate douce (15,7±0,75. μmol TE/g MS) ont des teneurs largement inférieures.

Le curcuma en poudre possède une capacité antioxydante plus importante que des produits alimentaire frais consommé à Madagascar

L'indice TAC (de l'anglais *Total Antioxidant Capacity* - capacité antioxydante totale) indique l'activité antioxydante globale d'un aliment. Plus l'aliment a une valeur TAC élevée, plus il est antioxydant. Son unité de mesure est la micromole (μmol) (www.passeportsante.net/fr)

- Faible (ou Un peu antioxydant) : indice TAC de 0 à 499 μmol
- Modéré (ou Modérément antioxydant) : indice TAC de 500 à 999 μmol
- Élevé (ou Fortement antioxydant) : TAC de 1000 à 1999 μmol
- Très élevé (ou Très fortement antioxydant) : TAC de 2000 à 14000 μmol

Si on se réfère à cet indice, le *Curcuma* en poudre se trouve dans la catégorie faible.

Nous avons remarqué que la propriété antioxydante dans le rhizome est en relation avec la teneur en provitamine A comme on peut voir dans le tableau 19.

Tableau 19 : Relation entre la capacité antioxydante et la teneur en provitamine A

Echantillons	BNE	BE	SNE	SE	T
Provitamine A (μg/100g de MS).	781,32	795,51	669,19	789,68	612,87
CAO (en μmol TE/g MS)	104,3±19,29	172,9±22,85	91,2±25,4	113,4±9,36	70,48±18,92

Plus la quantité de provitamine A est importante plus le produit possède une capacité antioxydante importante. On attribue une partie du caractère antioxydant des aliments à leur richesse en caroténoïdes dont les lycopènes ([www. Wikipedia.org/antioxydant](http://www.Wikipedia.org/antioxydant)). Les curcuminoïdes, molécules dotées d'activités antioxydantes, confèrent également au curcuma ses propriétés médicales et sa couleur jaune orangé, si caractéristique. (Wolf, 2011). Les curcuminoïdes maintiennent l'activité d'enzymes antioxydantes et limitent ainsi la peroxydation lipidique (Singh, 2011).

L'analyse sensorielle de la poudre de *Curcuma* a montré une appréciation des échantillons épluchés au niveau du goût, et de l'odeur, ces derniers ont obtenu les meilleurs classements. Néanmoins ces échantillons présentent des valeurs nutritionnelles faibles par rapport à ceux non épluchés.

Concernant la couleur, ce sont les échantillons séchés au Boara et non épluchés qui sont les plus appréciés.

L'épluchage affecte de manière positive les caractéristiques sensorielles mais réduit la valeur nutritionnelle. Mais, selon des remarques des dégustateurs durant l'évaluation sensorielle, BE possède un goût trop prononcé et le ramène à un goût âcre.

Le classement du jury de façon globale des produits confirme les appréciations selon les caractères étudiés : c'est SE qui est en première place (premier pour le goût et deuxième pour l'odeur) suivi de BE (premier pour l'odeur et deuxième pour le goût).

Selon les données de la littérature, le goût et l'apport nutritionnel (nutriments équilibrés) constituent la base de choix des denrées alimentaires par les consommateurs (Danone Nutritropics, 2008).

Conclusion générale et perspectives

Conclusion

Les résultats obtenus dans ces essais montrent que le séchage avec le séchoir Boara peut être utilisé de façon satisfaisante comme méthode de conservation de qualité des denrées alimentaires. Il a été observé qu'avec le séchoir Boara, des meilleurs résultats ont été enregistrés qu'avec le séchoir solaire traditionnel. Il a permis de réduire la durée de séchage et d'obtenir des teneurs en eau minimales favorables à une longue conservation.

Les analyses biochimiques montrent que les produits séchés au Boara, possèdent des valeurs supérieures en macro et micronutriments. Il est clair que le séchoir préserve mieux ces biomolécules. Les échantillons étudiés présentent des capacités antioxydantes légèrement différentes mais en faveur des échantillons séchés au Boara. Cette capacité antioxydante du produit est légère, mais supérieure par rapport à celle d'autres denrées séchées et réputées de leur richesse en antioxydant.

L'appréciation des produits est influencée par l'effet de l'épluchage. Ce sont les produits épluchés qui ont les caractères organoleptiques (odeur et goût) les plus appréciés par le jury.

Le curcuma comparé avec d'autres aliments consommés à Madagascar montre qu'il est bien une épice nutritionnellement intéressante.

Cette étude du curcuma séché n'est cependant pas terminée, il serait mieux de la compléter par d'autres études et nous suggérons de

- Déterminer les facteurs antinutritionnels
- Evaluer la qualité microbiologique
- Etudier l'effet de la durée de conservation
- Etudier des moyens permettant de réduire la perte en capacité antioxydante
- Faire une éducation alimentaire sur le curcuma auprès de la population

Références bibliographiques

1-AFNOR, 1993. 663p AFNOR. Contrôle de qualité des aliments : *Méthodes d'analyses officielles*, 1ère Ed.

2- AGGARWAL B.B., ANAND P, KUNNUMAKKARA A.B, NEWMAN R.A; 2007. "Bioavailability of curcumin: problems and promises." *Mol Pharm.* 4(6):807-18

3- ANDRIANOELY S. N ; 2013 : Etude des modalités de séchage de fruits et légumes au moyen du séchoir solaire Boara et qualité alimentaire des produits obtenus : Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études approfondies de sciences de la vie, option : Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et de la nutrition

4- BLEU G.M ; TRAORE ; COULIBALY S ; NENE-BI S. A.; 2011; Effets pharmacodynamiques d'un extrait hydro alcoolique de *Curcuma longa* Linné (Zingibéracées) sur le système cardiovasculaire, la respiration et l'activité mécanique intestinale de mammifères ; Ed. Springer-Verlag France, p 7 -17.

5- BONNE C., MULLER A., 2000. Rôle du stress oxydant dans la dégénérescence musculaire liée à l'âge, *Journal Français d'Ophtalmologie*, 23, 835-840.

6- CARDON D. 2005. Colorants et tannins. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 3. Pays Bas: PROTA Backhuys Publishers/CTA. p. 75-83

7-CLERGEAND C et LIONEL ; 1997. Les fruits du soleil : Abricot sec, Banane séchée, Châtaigne, Dattes, Figs sèche, Pruneau, Raisin sec, Collection "*cuisine et santé*" –Edition *Equilibres*.

8-Danone Nutritropics, 2008 : Journal d'éducation nutritionnelle, p5 ; juin 2008.

9-. DESCHEEMAEKER A. ; 1990 ; Plantes médicinales malgaches : traduction française de Ravimaitso ; Ed.Ambositra ; 2ème édition ; 110p

10- DEPEZAY L ; 2007. Les légumes dans l'alimentation : leurs effets nutritionnels, Fondation Louis Bonduelle, page 2-6.

11-DOROSZ PH. ; 2008. Vitamines, sels minéraux, oligoéléments.

12- ELIAS L., FEFFERY L., WATTS B., YLIMAKING; 1991. Méthode de bases pour l'évaluation Sensorielles des Aliments, CRDIottawa Canada, p145.

13- HALIWELL B; 1999. How to characterize a biological antioxidant.free.Radicrescommun, 9, 1-32.

14-HARISOAMAHIEFA H ; 2013 : Etude de modalité de séchage de fruits et légumes au moyen de séchoir Boara ; qualités nutritionnelles et microbiologiques des produits obtenus ; Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études approfondies de sciences de la vie, option Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et de la nutrition.

- 15-LAMOUCHE C ; 2011** : Etude des conditions de mise en œuvre d'une Indication Géographique sur le curcuma d'Anivarano-Est Madagascar : mémoire de fin d'étude ; Ecole supérieure d'Agro-développement International
- 16- LAHATSARAVITA B.A ; 2003** : 1, Etude comparative des compositions chimiques des huiles essentielles de feuilles et de rhizomes de *Curcuma longa L.* Approche biogénétique, synthèse biomimétique de certains composants. 2, contrôle qualité : espèces à potentialité économique de la région de Fianarantsoa.
- 17- LAWLESS H. T et HEYMANN H.; 1998.** Sensory evaluation of food. Principles and practices, *Kluwer Academic & Plenum Publishers*: New York.
- 18- LANTONIRINA A ; 2014:** valorisation de l'utilisation traditionnelle du *curcuma domestica L* ou tamotamo (Zingibiraceae) dans la commune urbaine d'Antananarivo : mémoire en vue d'obtention du certificat d'aptitude pédagogique de l'école normal (CAPEN).
- 19- LEFEBRE A., BASSEAUJ F ; 2003.** L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception : ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration : application aux emballages .10^{ème} séminaire conféré, Belfort France, p 3-11.
- OBOH G, ROCHA B.T.; 2007.** Antioxydant in foods: a new challenge for food processors. Leanding Edge Antioxydant Reseach. Harold.V. Pangloss Nova Science Publishers, New york, 35-64.
- 20- PASCALE DE LOMAS ; 2011 ;** Mes petites recettes magiques au *Curcuma* ; Ed.s ; 205p
- 21- PINCEMAIL, MEURISSE J, LIMET R, DEFRAINE ; 1998.** Méthodes d'évaluation du stress oxydatif chez l'homme : importance en matière de prévention.
- 22- PORTE E., 2008.** « Synthèse et Etudes de tétrahydrocurcuminoïdes : Propriétés photochimiques et Antioxydantes, Applications à la Préservation de Matériaux d'Origine Naturelle » p224. Présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en chimie organique à l'Université de Bordeaux I.
- 23-RABEHARINDRASANA L; 2011** : Séchage solaire, étude des qualités nutritionnelles et organoleptiques des légumes feuilles séchés identifiés à Antananarivo : Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études approfondies de sciences de la vie, option : Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et de la nutrition
- 24- RAKOTONIRINA M.F.S; 2012 ;** Conception, formulation et fabrication d'une pommade contre l'arthrose et les maladies articulaires ; Mémoire DEA ; Ecole Supérieure Polytechnique ; Université Antananarivo ; 79p.

25-RATOLOJANAHARY H.N ; 2011 : relation entre diversité alimentaire et état nutritionnel dans les ménages ruraux du Vakinankaritra ; Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études approfondies de sciences de la vie, option Biochimie appliquée aux sciences de l'alimentation et de la nutrition.

26- RAZAFINDRANAIVO A ; 2010 : Contribution à l'étude comparative des produits d'origines biologique et chimique pour la lutte contre l'alternariose de la tomate : *Lycopersicum esculentum*. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'études approfondies de sciences de la vie, option : Biotechnologie-microbiologie.

27-Razafindratovo LV, Rajaonarison NS, Rabeharinandrasana M, Ralison C, 2012. Etuvage et lyophilisation des légumes feuilles. *Bulletin* de l'Académie Malgache, Tome XCI/1; 161-170[ISSN 1728-4317]

28- RAZAFINDRAZAKA M.S ; 2012 ; Les plantes sauvages les plus utilisées dans la région Analamanga : inventaire et ethnobotanique dans les communes rurales d'Akadinandriana, Ambohitrandriamanitra et Miadanadriana ; Mémoire CAPEN ; ENS ; Université d'Antananarivo ; 70p

29- ROZIS J. F ; 1995. Sécher des produits alimentaires : techniques, procédés, équipements, Collection " *Le point sur*". France : GRET, MINISTERE DE LA COOPERATION, CTA, p344.

30- SHNEIDER ; 1995. La santé. Ça se mange, *Editions vie et Santé*, Dammarie lès Lys, p 2.

31- Sies, 1991. Introduction. In: Oxidative stress: oxydants and antioxydants, *Academic press*: London XV-XXII

32-SINGH M and SINGH N., 2011. "Curcumin counteracts the proliferative effect of estradiol and induces apoptosis in cervical cancer cells." *Molecular Cell Biochemistry*. 347(1-2):1-11;

33- WANG S., MELNYK P. J., TSAO R., MARCONE M.F., 2011. How natural dietary antioxidant in fruits, vegetables and legumes promote vascular health. *Food research International*, 44, 14-22.

34-WOLF P. 2011. L'alimentation au secours de la vie: la curcumine. [On line]. [01/09/2014].

URL:<<http://www.gereso.com/groupe/505,l-alimentation-au-secours-de-la-vie-la-curcumine.html>>

35-WU X., BEECHER G.R., HOLDEN J.M., HAYTOWITZ D.B., GEBHARDT S.E., PRIOR R.L.; 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxydant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and food chemistry*,52, 4026-4037.

Webographie

<http://www.creapharma.ch/curcuma.htm>

<http://www.epices-madagascar.fr/epices-madagascar/curcuma.php>

<http://www.Consoglobe.org>

<http://www.Wikipedia.org/antioxydant>

<http://www.lanutrition.fr>

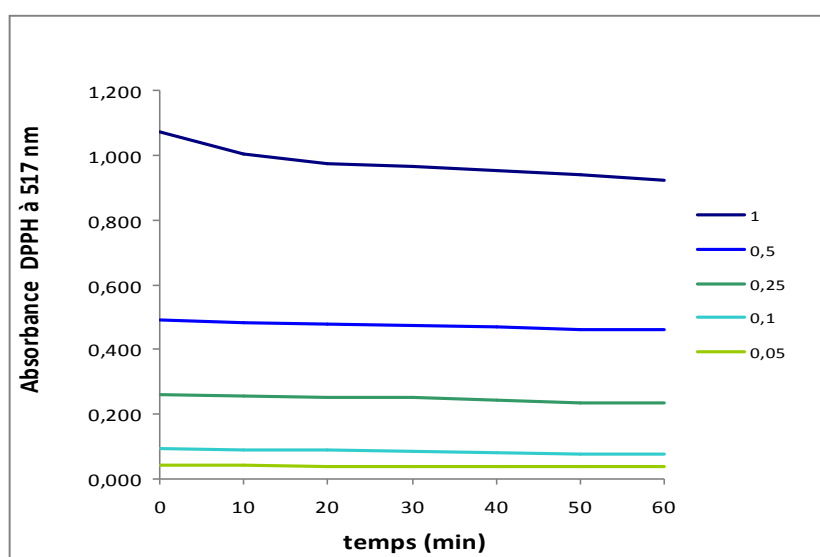
<http://www.passeportsante.net/fr>

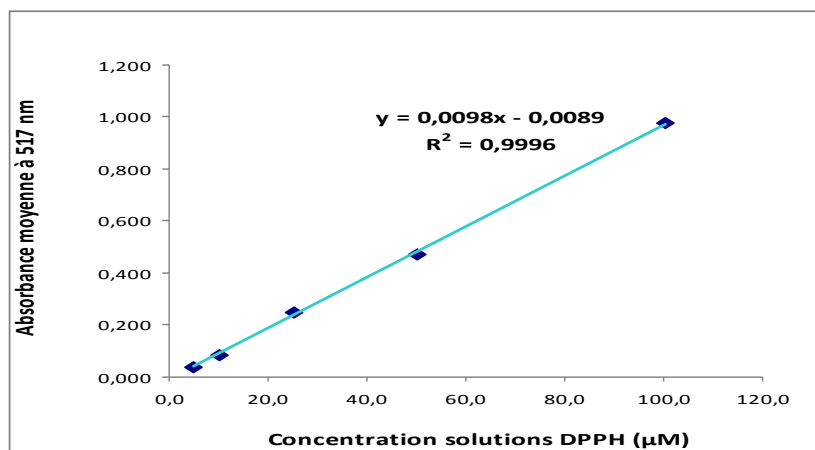
Annexes

Annexe 1 : 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]).

	temps (min)	dil 1	dil 1/2	dil 1/4	dil 1/10	dil 1/20
ABSORBANCE (DO) lue à 513 nm	0	1,072	0,493	0,262	0,096	0,043
	10	1,003	0,482	0,256	0,090	0,042
	20	0,974	0,477	0,252	0,088	0,040
	30	0,964	0,474	0,250	0,085	0,039
	40	0,951	0,469	0,244	0,081	0,038
	50	0,938	0,460	0,236	0,079	0,037
	60	0,924	0,460	0,236	0,079	0,037



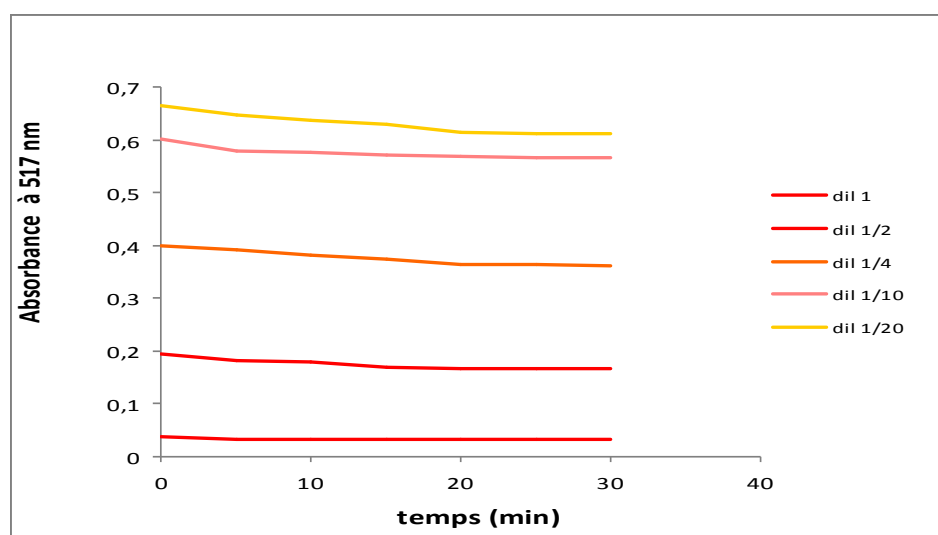


Les courbes de stabilité montrent que la solution de DPPH est suffisamment stable pour pouvoir être utilisée pendant une heure sans qu'elle se détériore. La droite de calibration montre aussi que les solutions filles de DPPH donnent une courbe linéaire avec un R^2 supérieur à 0,98. Cela signifie que l'absorbance de la solution est bien proportionnelle à la concentration de radicaux libres de DPPH dans la solution mesurée

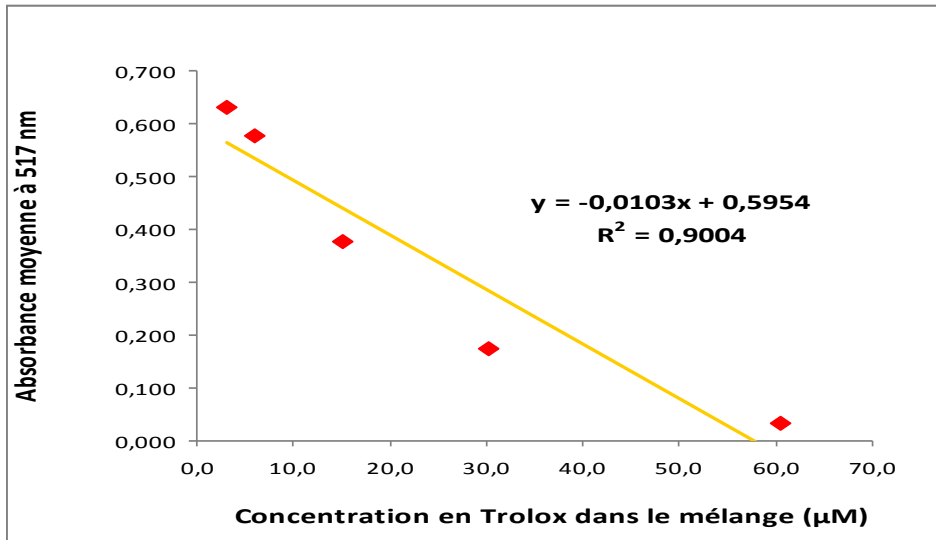
Annexe 2 : Stabilité des solutions filles de Trolox

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

	temps (min)	dil 1	dil 1/2	dil 1/4	dil 1/10	dil 1/20
ABSORBANCE (DO) lue à 513 nm	0	0,037	0,195	0,399	0,601	0,664
	5	0,034	0,183	0,391	0,579	0,647
	10	0,034	0,180	0,381	0,576	0,636
	15	0,034	0,170	0,373	0,572	0,630
	20	0,034	0,166	0,364	0,568	0,615
	25	0,034	0,166	0,363	0,567	0,612
	30	0,033	0,166	0,362	0,567	0,612



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.



La droite de calibration montre aussi que les solutions filles de Trolox donnent une courbe linéaire avec un R2 supérieur à 0,90.




Annexe 3 : fiche de dégustation

Date :

Sujet N° :

Instruction 1 :

L'échelle de notation utilisée comporte 9 points selon l'appréciation suivant :

Note	1	2	3	4	5	6	7	8	9
									
	<i>extrêmement désagréable</i>				<i>moyen</i>				<i>extrêmement agréable</i>

1°) Vous devez déguster les échantillons de gauche à droite.

2°) Vous recevez l'échantillon, vous devez le sentir, l'observer et le goûter. Après, indiquez votre préférence en attribuant une note allant de 1 à 9 pour chaque caractère et pour chaque produit.

(Remplissez le code de l'échantillon puis mettez seulement une note pour chaque caractère, cf. exemple tableau suivant)

Exemple : Code : 739

Couleur	Odeur	Gout
2	1	8

Code : _____ écrivez ici le code de l'échantillon n°1 (le plus à gauche)

Couleur	Odeur	Gout

Code : _____ *écrivez ici le code de l'échantillon n°2*

Couleur	Odeur	Gout

Code : _____ *écrivez ici le code de l'échantillon n°3*

Couleur	Odeur	Gout

Code : _____ *écrivez ici le code de l'échantillon n°4*

Couleur	Odeur	Gout

Code : _____ *écrivez ici le code de l'échantillon n°5 (le plus à droite)*

Couleur	Odeur	Gout

Instruction 2 :

Classez les produits selon votre préférence. Les ex-aequo ne sont pas permis.

Rang	1er	2nd	3è	4è	5è
Code	_____	_____	_____	_____	_____
Observations /					critiques :

Merci pour votre participation !!!

