

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah - Ouargla
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques



جامعة قاصدي مرباح - ورقلة
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم العلوم البيولوجية

MÉMOIRE

Présenté par

DEBBACHE Asma

SOUALMI Mebaraka

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

SPÉCIALITÉ : QUALITÉ DES PRODUITS ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

THÈME

**Effet de deux méthodes de séchage, lyophilisation et microonde, sur
l'évaluation de la vitamine C dans le poivron vert (*Capsicum annuum* L.)**

Soutenu le: 21/06/2022

DEVANT LE JURY

Président :	Dr. CHOUANA Toufik	Maître de Conférences A	UKM Ouargla
Encadrant :	Dr. HENNI Abdellah	Maître de Conférences A	UKM Ouargla
Co-encadrant :	Mr. RAHMANI Youcef	Ingénieur Doctorant	PTAPC Ouargla
Examineur :	Dr. BOURICHA Mhammed	Maître de Conférences B	UKM Ouargla

Dédicace

À la mémoire de mon père,

À ma mère

À mon époux

À mes précieux joyaux, mes enfants

À mes frères et sœurs. J'espère être à la hauteur.

À ma binôme Mebaraka et sa famille

Asma Debbache



Dédicace

*Je dédie ce travail à mes parents, ma chère mère Kaltoum et mon cher père Mohammed que
Allah les protège*

À mes sœurs

À mes frères

À toute la famille SOUALMI.

À tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail surtout

Debbache El-Khansa

À tous mes camarades de la promotion 2021/2022 de spécialité Qualité des Produits et

Sécurité des Aliments.

À tous mes collègues d'Inspection de Commerce de Djamâa

À ma binôme Asma et sa famille

À mes chères amies.

Mebaraka Soualmi



Remerciements

*Au terme de cette étude, nous remercions avant tout **ALLAH** le tout puissant, de nous avoir guidés durant nos années d'études et de nous avoir permis la réalisation de ce présent travail.*

*Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à notre encadrant **Mr. HENNI Abdellah**, pour avoir été notre directeur de mémoire. Nous le remercions pour son temps et ses efforts avec nous. Surtout en cette période où nous traversons des circonstances exceptionnelles, et sans oublier les membres du jury, d'avoir accepté de d'évaluer notre travail.*

*Nous remercions également Mr. Le directeur du **PTAPC** ainsi que tout le personnel*

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidé de loin ou de près à réaliser ce travail.

Liste des abréviations

- AFNOR** : Association Française de Normalisation
- AGI** : Acides Gras Insaturés
- AOAC** : Association of Official Analytical Chemists
- aw*** : Activity Water (Activité de l'eau)
- BIPEA** : Bureau Inter Professionnel d'Étude Analytique
- CAS** : Chemical Abstract Service
- CIE** : Commission Internationale de l'Éclairage
- DMLA** : Dégénérescence Maculaire Liée à l'Âge
- DMSO** : Diméthylsulfoxyde
- DO** : Densité Optique
- FAO** : Food and Agriculture Organization
- NF** : Norme Française
- PTAPC** : Plateau Technique en Analyses Physico-Chimiques
- QNMR** : Quantitative Nuclear Magnetic Resonance
- RMN** : Résonance Magnétique Nucléaire
- UV** : Ultra-Violet

Liste des figures

Figure 1 : Molécule d'acide ascorbique (à gauche) et d'acide déshydroascorbique (à droite) (Schwartz, 2016).....	12
Figure 2 : Schéma général du plan de travail.....	23
Figure 3 : Fruit du <i>Capsicum annuum</i> L.	24
Figure 4 : Espace chromatique CIE L*a*b* (Ouhai et Tifraouat, 2016).....	25
Figure 5 : Échantillons en étuve à sécher.....	26
Figure 6 : Échantillons avant (A) et après (B) incinération.....	27
Figure 7 : Titration de l'acidité par NaOH.....	28
Figure 8 : Positionnement des couleurs de poivrons frais (F) et séchés par microonde (M) et lyophilisation (L) sur le cercle chromatique.....	34
Figure 9 : Poivron frais découpé.....	35
Figure 10 : Poivron lyophilisé.....	35
Figure 11 : Poivron séché au microonde.....	35
Figure 12 : Humidité et matière sèche du poivron frais.....	36
Figure 13 : Variation du rendement entre les deux méthodes de séchage.....	37
Figure 14 : Taux de cendres.....	37
Figure 15 : Variations du pH avant et après séchage.....	38
Figure 16 : Acidité titrable entre les poivrons frais et séchés par lyophilisation et microonde.....	38
Figure 17 : Teneur en lipides entre les différents produits.....	39
Figure 18 : Teneur en sucres totaux dans les différents produits frais et séchés par lyophilisation et microonde.....	40
Figure 19 : Variation de la teneur en vitamine C.....	40
Figure 20 : Récapitulation de la variation des paramètres physico-chimiques du poivron vert (<i>Capsicum annuum</i> L.) avant et après séchage par lyophilisation et microonde.....	42

Liste des tableaux

Tableau 1 : Quelques variétés communes de poivrons de la famille des <i>Solanaceae</i> , genre <i>Capsicum</i> (Guiné, 2016).....	05
Tableau 2 : Production du <i>C. annum</i> L. dans le monde (FAO, 2015).....	06
Tableau 3 : Évolution de la production de <i>C. annum</i> L. frais au niveau national (FAO, 2022).....	06
Tableau 4 : Valeur nutritionnelle du <i>Capsicum annum</i> L.	07
Tableau 5 : Propriétés physiques et chimiques de l'acide L-ascorbique (Schwartz, 2016).....	12
Tableau 6 : Exemple de consommation d'énergie dans la lyophilisation et le microonde (Jin et al., 2017).....	20
Tableau 7 : Variations des couleurs du poivron <i>Capsicum annum</i> L.	34
Tableau 8 : Comparaison entre la lyophilisation et le séchage par microonde.....	41

Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION.....	1
Partie I : Synthèse bibliographique.....	2
Chapitre 1 : Généralités sur le <i>Capsicum annuum</i> L.	3
1. Données botaniques sur le <i>C. annuum</i> L.	4
1.1. Taxonomie.....	4
1.2. Variétés du <i>C. annuum</i> L.	5
2. Production du <i>C. annuum</i> L.	5
2.1. Dans le monde.....	5
2.2. En Algérie.....	6
3. Composition chimique du <i>C. annuum</i> L.	7
4. Préservation et transformation du <i>C. annuum</i> L.	7
4.1. Déshydratation.....	7
4.2. Congélation.....	8
4.3. Saumurage.....	8
5. Utilisations du <i>C. annuum</i> L.	8
5.1. Industrielle et agro-alimentaire.....	8
5.2. Usage pharmaceutique et cosmétique.....	8
Chapitre 2 : La vitamine C.....	10
1. Définition.....	11
2. Intérêt nutritionnel.....	11
3. Structure de l'acide ascorbique.....	12
4. Distribution dans les aliments.....	12
5. Effet de la température.....	13
Chapitre 3 : Généralités sur les techniques de séchage.....	14
1. Définition et intérêt du séchage.....	15
2. But du séchage.....	15
3. Utilisation du séchage dans les industries agroalimentaires.....	15
4. Méthodes de séchage.....	16
4.1.Séchage par énergie solaire.....	16
4.2.Séchage par osmose.....	16

4.3.Séchage en vapeur d'eau surchauffée.....	16
4.4.Séchage par pulvérisation (atomisation).....	16
4.5.Séchage par ébullition.....	17
4.6.Séchage par entraînement.....	17
4.7.Séchage conventionnel (à l'air chaud).....	17
4.8.Séchage par lyophilisation.....	18
4.8.1. Définition de la lyophilisation.....	18
4.8.2. Principe de la lyophilisation.....	18
4.8.3. Procédé de la lyophilisation.....	18
4.8.4. Avantages et inconvénients de la lyophilisation.....	18
4.9.Séchage par microondes.....	19
4.9.1. Four à microondes.....	19
4.9.2. Principe et mécanisme du chauffage par microondes.....	19
4.9.3. Applications des microondes.....	19
4.9.4. Avantages et inconvénients du séchage par microonde.....	20
4.10. Exemple de comparaison entre la lyophilisation et le microonde.....	20
Partie II : Partie expérimentale.....	21
Chapitre 1 : Matériel et méthodes.....	22
1. Cadre de l'étude.....	23
2. Matériel.....	23
2.1.Matériel végétal.....	23
2.2.Matériel de laboratoire.....	24
3. Méthodes analytiques.....	24
3.1.Caractérisation du matériel végétal.....	24
3.1.1. Morphologie.....	24
3.1.2. Analyse de la couleur.....	25
3.2.Propriétés physico-chimiques.....	25
3.2.1. Détermination des teneurs en eau et en matières sèches.....	25
3.2.2. Détermination de la teneur en cendres.....	26
3.2.3. Détermination du pH.....	27
3.2.4. Détermination de l'acidité titrable.....	28
3.2.5. Détermination de la teneur en matière grasse par la méthode Soxhlet.....	29
3.2.6. Détermination de la teneur en sucres totaux.....	29
3.3.Méthodes de séchage.....	31
3.3.1. Séchage par lyophilisation.....	31

3.3.2. Séchage par microonde.....	31
3.3.3. Détermination du rendement de séchage.....	31
3.3.4. Dosage de vitamine C par RMN.....	31
Chapitre 2 : Résultats et discussion.....	33
1. Caractérisation du matériel végétal.....	34
1.1. Couleur.....	34
2. Propriétés physico-chimiques.....	36
2.1. Teneurs en eau et en matières sèches.....	36
2.2. Rendement du séchage.....	36
2.3. Teneur en cendres.....	37
2.4. pH.....	38
2.5. Acidité titrable.....	38
2.6. Teneur en lipides.....	39
2.7. Teneur en sucres.....	39
2.8. Teneur en vitamine C.....	40
3. Comparaison des deux méthodes de séchage.....	41
CONCLUSION.....	43
Références bibliographiques.....	45
Annexes	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les fruits et les légumes sont dans la plupart des cas, consommés frais et leur valeur nutritive est alors élevée. Les fruits et les légumes saisonniers sont disponibles et consommés pendant une très courte période. Ils doivent donc être conservés pour être consommée en dehors de la saison de récolte. Plusieurs technologies sont employées dans l'industrie pour la conservation des fruits et légumes ; les méthodes les plus importantes sont la mise en conserves, la congélation et le séchage (**Jayaraman et Gupta, 2006**).

Le poivron *Capsicum annuum*, appartient à la famille des *Solanaceae*. C'est une plante très répandue dans les régions tropicales et sub-tropicales dont les fruits comme tant d'autres espèces sont utilisés directement dans l'alimentation humaine ou indirectement après transformation (**Mokhtar, 2010**). Il contient un niveau élevé en composés phytochimiques qui peuvent contribuer à son activité antioxydante. Il représente une source riche en composés phénoliques, capsaïcinoïdes, caroténoïdes, chlorophylles et vitamines (A, B1, B2, B3, C, et E). Cependant, la teneur du poivron en ces antioxydants peut varier selon plusieurs facteurs, notamment le stade de maturation, l'hybridation, les conditions agro-climatiques, les conditions de récolte, le stockage et le processus technologique de transformation (**Iqbal et al., 2013**).

La vitamine C, puissant antioxydant, est essentielle à l'homme, il doit se la procurer via son alimentation. Ainsi, les fruits et les légumes constituent la principale source de vitamine C dans l'alimentation humaine (**Massot, 2010**).

Quelle est la méthode de séchage la plus préservatrice des composantes nutritionnelles des poivrons (*C. annuum* L.), y compris la vitamine C ? La réponse à cette question fera l'objet du développement du sujet de cette étude qui a été réalisée selon le plan suivant :

- ✚ Une synthèse bibliographique qui aborde des généralités sur le poivron (*C. annuum* L.), le séchage et en fin la vitamine C ;
- ✚ Une partie expérimentale décrivant les différentes analyses physico-chimiques exécutées et les résultats auxquels ces dernières ont abouti ;
- ✚ Et finalement une conclusion.

PREMIÈRE PARTIE

SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LE CAPSICUM ANNUUM L.

1. Données botaniques sur le *C. annuum* L.

Le *Capsicum* est une plante annuelle, autogame préférentielle et multipliée par semences. C'est un sous-arbrisseau buissonnant, se développant après deux à trois années en forme d'arbuste de 0,5 à 1 m de haut. Ses feuilles sont ovales, lancéolées, groupées par trois. Ses fleurs sont blanc pâle, à raison de cinq à sept, disposées par paire ou solitaires. Le fruit est fait de baies peu charnues très polymorphes et de couleur variable (vert, jaune, rouge, pourpre) renfermant de nombreuses graines jaunâtres sur de très gros placentas (Goetz et Le Jeune, 2012 ; Azerou et Amaouz, 2020).

Les poivrons (*C. annuum* L.) sont classés comme piquants ou doux ; ils sont cultivés dans les régions à climat subtropical du monde entier (Anaya-Esparza et al., 2021).

Le fruit est une baie d'un type particulier, la pulpe, relativement mince et formant une espèce de capsule entourant un placenta plus ou moins volumineux portant de nombreuses graines. Extérieurement, la peau est lisse et brillante, de couleur vert brillant avant maturité, elle prend à maturité une couleur vive, en général rouge, mais aussi jaune, orangé, violet, marron, noir... Les graines sont petites, plates, réniformes, de couleur crème. Les poivrons se distinguent des piments par des fruits plus gros et plus charnus, et surtout dépourvus de substance piquante (la capsaïcine) (Khazzar et Ounis, 2020).






1.1. Taxonomie

La classification internationale de Cronquist est la suivante (Goetz et Le Jeune, 2012) :

Règne :	<i>Plantae</i>
Sous règne :	<i>Tracheobionta</i>
Subdivision :	<i>Spermatophyta</i>
Division :	<i>Magniolophyta</i>
Classe :	<i>Magniolopsida</i>
Sous classe :	<i>Asteridae</i>
Ordre :	<i>Solanales</i>
Famille :	<i>Solanaceae</i>
Genre :	<i>Capsicum</i>
Espèce :	<i>Capsicum annuum</i> L.

1.2. Variétés du *C. annuum* L.

Tableau 1 : Quelques variétés communes de poivrons de la famille des *Solanaceae*, genre *Capsicum* (Guiné, 2016).

Espèces	Nom(s) commun(s)	Image
<i>Capsicum annuum</i> L.	Poivron, poivron doux	
<i>Capsicum annuum</i> L.	Poivron Banane, Poivron de cire Hongrois, Piment Banane	
<i>Capsicum annuum</i> L.	Piment de Cayenne, Piment de Guinée, Piment rouge de Maskinongé, Piment rouge fort (piquant)	
<i>Capsicum annuum</i> L.	Jalapeño	
<i>Capsicum chinense</i> (syn. <i>Capsicum sinense</i>)	Datil	

2. Production du *C. annuum* L.

2.1. Dans le monde

L'importance des espèces de *C. annuum* L. a progressivement augmenté pour devenir l'une des cultures d'épices les plus consommées au monde (Yaldiz *et al.*, 2010). Il est l'une des principales productions légumières des pays tropicaux. Il est probablement l'épice la plus importante commercialement après la tomate où l'homme l'utilise sous plusieurs formes (Huq et Arshad, 2010). Il est considéré parmi les premières épices ou additifs alimentaires et joue un rôle socioéconomique important. (Kouassi et Koffi-Nevry, 2012).

Tableau 2 : Production du *C. annum* L. dans le monde (FAO, 2015).

Position	Pays	Production en milliers de tonnes (MT) par
1	Chine	1600000000
2	Mexique	2379736
3	Turquie	2072132
4	Indonésie	1656615
5	États-Unis	1064800
6	Espagne	1023700
7	Égypte	650054
8	Nigéria	500000
9	Algérie	426566
10	Éthiopie	402109
11	Tunisie	372768
12	Pays-Bas	345000
13	République de Corée	302015
14	Palestine	240776
15	Roumanie	207072
16	Italie	191351
17	Ukraine	189700
18	Maroc	180591
19	Grèce	167900
20	Macédoine	166247

2.2.En Algérie

Les données statistiques révèlent une augmentation de la production du poivrons et piments en année en Algérie. Cette évolution de production est dû à l'augmentation de la superficie destinée à cette culture d'une part et d'autre part, à l'amélioration des différentes techniques culturales utilisées dans le secteur agricole (**tableau 3**) (Azerou et Amaouz, 2020).

Tableau 3 : Évolution de la production de *C. annum* L. frais au niveau national (FAO, 2022).

Années	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Production en tonnes	557250	598638	614922	651045	675168	717659

3. Composition chimique du *C. annuum* L.

Table 4 : Valeur nutritionnelle du *Capsicum annuum* L.

	Sec /100g	Frais/100g	% Apport
Energie (kcal)	280–350	20–40	
Protéines (g)	11–18	0.8–2.0	
Lipides (g)	3–16	0.2–0.6	
Cendres (g)	6–8	0.4–0.9	
Hydrates de Carbone (g)	51–70	5.4–9.5	
Fibres totaux (g)	21–29	0.9–3.7	
Glucides (g)	38–41	2.0–5.3	
Minéraux			
Calcium (mg)	45–134	7–18	0.7–1.8
Fer (mg)	6–11	0.3–1.2	2.7–8
Magnésium (mg)	88–188	10–25	3.2–8.1
Phosphore (mg)	159–327	20–46	2.9–6.6
Potassium (mg)	1870–3170	175–340	8.75–17
Sodium (mg)	43–193	1–13	0.04–0.54
Zinc (mg)	1–2	0.1–0.3	1.1–2.5
Cuivre (mg)	0.2–1.4	0.07–0.13	4.4–8.9
Manganèse (mg)	0.8–1.9	0.10–0.24	4.5–10.8
Sélénium (µg)	2.9–3.7	0.1–2	0.2–3.6
Vitamines			
Vitamine C (mg)	2–31.4	44.3–183.5	73–306
Vitamine B1 (mg)	0.1–1.2	0.03–0.14	2.5–13.1
Vitamine B2 (mg)	1.2–2.4	0.03–0.09	2.5–8.2
Vitamine B3 (mg)	6.4–7.4	0.05–1.2	0.3–8.9
Vitamine B5 (mg)	0.5–2	0.10–0.32	2.0–6.3
Vitamine B6 (mg)	0.8–.5	0.22–0.51	17.2–39.1
Vitamine B9 (µg)	51–229	10–47	–
Vitamine A (µg)	1020–3860	10–157	1–15.7
Vitamine E (mg)	3–4	0.37–0.69	4.6–8.6
Vitamine K (µg)	108–114	4.9–14.3	8.9–26

4. Préservation et transformation du *C. annuum* L.

4.1. Déshydratation

Son principal objectif est d'éliminer la principale partie d'eau et la ramener à un niveau auquel les réactions de détérioration et de dégradation microbienne sont minimisées ou arrêtées (Téllez-Pérez *et al.*, 2012).

Un autre objectif est de réduire le poids et le volume de produits. La qualité des produits séchés dépend énormément des modes de séchage, mais aussi des conditions de transport (hygrométrie et température) (**Derbel et Ghedira, 2005**).

Le *C. annum* L. séché est utilisé comme épice, soit sous forme entier ou bien transformé en poudre dont ce dernier peut être mélangé avec d'autres ingrédients (**Téllez-Pérez et al., 2012**).

4.2. Congélation

Les *C. annum* L. présentent une forte teneur en eau congelable, si le processus de congélation n'est pas adéquat, des dommages cellulaires importants et plusieurs détériorations physicochimiques et organoleptiques pourraient avoir lieu. En outre, en raison de ses besoins énergétiques pour la transformation, le stockage et la distribution, ce processus est très consommateur d'énergie (**Talvez-Perez, 2013**).

4.3. Saumurage

L'efficacité du saumurage pour la conservation est liée à la vitesse de diffusion de l'acide dans toutes les parties du fruit et le temps nécessaire pour atteindre un pH recherché (4,6 ou moins). Le bisulfite de sodium (0,5-1% en poids) est le conservateur commun le plus ajouté pour le marinage des poivrons et piments (**Janick et Paull, 2008**).

5. Utilisations du *C. annum* L.

5.1. Industrielle et agro-alimentaire

Le *C. annum* L. constitue une espèce potagère importante vue ses qualités nutritives et organoleptiques (**Denden et al., 2002**). Dans l'industrie alimentaire, le poivron en poudre est ajouté à la charcuterie, au ketchup, à la tomate, à la vinaigrette, au fromage et au chips, ainsi il joue un rôle d'un complément appréciable de calorie, de vitamines, de fibres, de sels minéraux et de protéines. (**Kouassi et Koffi-Nevry, 2012**).

5.2. Usage pharmaceutique et cosmétique

Les fruits de *C. annum* L. sont employés en médecine traditionnelle pour leurs propriétés antimicrobiennes dues aux métabolites secondaires qu'ils contiennent (**Kouassi et Koffi-Nevry, 2012**). Certaines tribus d'Indiens d'Amérique ont utilisé ces fruits dans la médecine traditionnelle pour traiter l'asthme, la toux, les maux de gorge et les maux de dents (**Wahyuni et al., 2013**).

L'utilisation d'ingrédients naturels du poivron au lieu de conservateurs synthétiques pourrait améliorer les propriétés des produits pharmaceutiques, en évitant les allergies de

contact provoquées comme effets secondaires. Ces composés végétaux pourraient également contribuer aux principales allégations de l'industrie cosmétique, qui sont : l'effet anti-âge et la réduction des rides par la lutte contre les radicaux libres et le rayonnement solaire (**Baenas et al., 2018**).

CHAPITRE II

LA VITAMINE C

1. Définition

Les vitamines sont un groupe de composés organiques complexes dont le corps a besoin en petites quantités. Considérées comme des substances indispensables à la croissance, à la reproduction, au bon fonctionnement de tous les organes du corps et une source nutritive importante que l'homme ne peut pas synthétiser et donc doit être apporté par l'alimentation. La dose journalière en vitamine C que le corps en a besoin est de 45 à 75 mg. La vitamine C, ou l'acide ascorbique, est présente dans divers fruits et légumes. Il s'agit d'un composé organique blanc, cristallin, qui peut être synthétisé à partir du glucose ou d'extrait de certaines sources naturelles telles que le jus d'orange. La vitamine C a été d'abord isolée à partir de jus de citron vert par *Szent-Gyorgy* en 1928 (*Mansour et Aljoubbeh, 2014*).

2. Intérêt nutritionnel

La vitamine C a de nombreuses fonctions biologiques bien établies, indispensables au métabolisme enzymatique et au fonctionnement cellulaire. Un déficit en vitamine C ralentit l'activité d'un certain nombre de systèmes enzymatiques impliqués dans la synthèse du collagène et provoque le scorbut (*Ruiz, 2020*). La vitamine C joue également un rôle antioxydant largement reconnu dans la prévention de certains cancers en renforçant les fonctions immunitaires et en neutralisant les radicaux libres à l'échelle cellulaire (*Sarkar- et al., 2009*), et de maladies cardiovasculaires, en réduisant l'athérosclérose. Il a aussi été observé que des apports en antioxydants (vitamines C et E notamment) à doses pharmacologiques paraissent liés à une diminution du risque de la DMLA (Dégénérescence Maculaire Liée à l'Âge) ou de cataracte (*Shashirekha et al., 2013*).

Les apports nutritionnels conseillés en vitamine C sont de 90mg/jour pour un homme adulte et de 75mg/jour pour une femme (*Institute of Medicine, 2000*) : ces valeurs correspondent aux quantités suffisantes pour apporter 97 à 98% des nutriments nécessaires à un individu en bonne santé. Ces valeurs sont à moduler en fonctions des catégories de population (fumeurs, femmes enceintes ou allaitantes, enfants, sportifs...) et de nombreuses études rapportées permettent de penser qu'un apport quotidien de 200mg de vitamine C permettrait de maximiser le bénéfice santé potentiel pour la majorité de la population adulte (*Frei et al., 2012*).

Aucune limite supérieure de sécurité n'a pu être fixée, par l'EFSA, par rapport aux données disponibles. Des apports supérieurs à 3g/j peuvent provoquer des diarrhées, des ballonnements, des nausées et des brûlures d'estomac (*Castelli, 2020*).

3. Structure de l'acide ascorbique

De formule chimique générale $C_6H_8O_6$, la vitamine C appartient aux hexoses et est un dérivé du D-Glucose. Elle est composée d'une fonction cétone, d'un cycle lactone, d'une fonction ènediol et de deux fonctions alcools : l'une primaire et l'autre secondaire. L'acide ascorbique possède deux formes optiques : lévogyre et dextrogyre, mais seule la forme lévogyre, forme naturelle (acide L-ascorbique) est biologiquement active (**Martini et Seiller 2006**). La vitamine C peut être extraite de la nature ou créée par voie de synthèse à partir du D-Glucose.

Le numéro d'enregistrement au **CAS (Chemical Abstract Service)** de l'acide L-ascorbique est 50-81-7. Son spectre d'absorption en Ultra-Violet est 245-365 nm (**Schwartz, 2016**).

Tableau 5 : Propriétés physiques et chimiques de l'acide L-ascorbique (**Schwartz, 2016**).

Aspect	Masse Moléculaire	Densité	Point d'ébullition	Solubilité dans l'eau	Constante de dissociation	Pouvoir rotatoire	Log (P)
Solide blanc	176,124g/mol	1,65g/cm ³ à 20°C	191°C	333,0g/l à 20°C	pka ₁ =4,1 pka ₂ =11,8	[αD]=+21° dans l'eau	-1,85

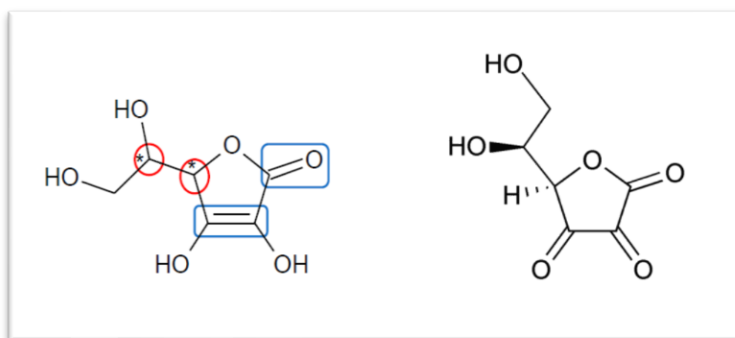


Figure 1 : Molécule d'acide ascorbique (à gauche) et d'acide déshydroascorbique (à droite) (**Schwartz, 2016**).

4. Distribution dans les aliments

La vitamine C est largement distribuée dans les plantes et les animaux, principalement (80-90%) sous forme d'acide ascorbique mais aussi d'acide déhydroascorbique. Les proportions des deux espèces ont tendance à varier avec la durée de conservation des aliments, en raison de l'oxydation de l'acide ascorbique qui dépend du temps. Les fruits, les légumes et les abats en sont généralement les meilleures sources ; on n'en trouve que de faibles quantités dans les viandes rouges. Les plantes synthétisent l'acide L-ascorbique à partir des glucides ; la plupart

des graines ne contiennent pas d'acide ascorbique mais commencent à le synthétiser lors de la germination. Certaines plantes accumulent des niveaux élevés de vitamine. Pour des raisons pratiques, les agrumes et d'autres fruits sont de bonnes sources quotidiennes de vitamine C, car ils sont généralement consommés crus et ne sont donc pas soumis à des procédures de cuisson susceptibles de détruire la vitamine C. L'acide ascorbique est fréquemment ajouté à de faibles niveaux aux aliments transformés pour améliorer leur durée de conservation ou préserver leur saveur. Son analogue, l'acide érythorbique, est également utilisé comme conservateur alimentaire. Bien qu'il n'ait aucune activité de vitamine C, il peut donner de faux positifs dans certaines analyses de l'acide ascorbique plasmatique (Combs *et al.*, 2017).

5. Effet de la température

Plusieurs auteurs ont étudié l'effet de la température dans des domaines relatifs au stockage et à la conservation des produits, mais peu de données décrivent explicitement l'effet de la température à des valeurs supérieures à 40°C (Gomez Ruiz, 2016).

Hsu *et al.*, (2012), ont trouvé une augmentation de la vitesse de dégradation de l'acide ascorbique avec une élévation de la température, induisant ensuite sa dégradation totale après 8 jours de stockage à 45°C.

CHAPITRE III

***GÉNÉRALITÉS SUR
LES TECHNIQUES
DE SÉCHAGE***

Le séchage est l'une des plus anciennes méthodes pour prolonger la durée de conservation des aliments. Dans les temps anciens, la chaleur du soleil et le sel de la mer étaient utilisés pour sécher les aliments. Il n'était pas possible de contrôler les conditions de séchage à cette époque. Après des siècles de développement des techniques et des équipements de séchage, les hommes sont désormais en mesure de contrôler les conditions de séchage, telles que le temps, la température et la pression (**Richter Reis, 2014**).

1. Définition et intérêt du séchage

Nous appelons séchage, l'opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'eau d'un corps humide par évaporation de cette eau. Dans le domaine agroalimentaire, il permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau (a_w).

Le séchage a pour intérêt :

- Accroître la durée de conservation des produits (viandes, poissons, fruits et légumes) ;
- De faciliter surtout sa conservation par diminution de l'activité de l'eau. Mais en revanche :
 - ✓ Il modifie le produit dans sa forme, sa texture, son goût, ses qualités, ce qui est souvent considéré comme un inconvénient.
 - ✓ Il est coûteux, notamment en énergie. Il est utile alors de connaître tout ce qui peut influencer le séchage et en particulier la vitesse de séchage afin de diminuer le coût de cette opération

2. But du séchage

Le séchage a pour but d'extraire l'eau qu'elles renferment pour assurer une bonne conservation, favoriser l'inhibition de toute activité enzymatique, éviter la dégradation de certains constituants ainsi que la prolifération bactérienne, et enfin augmenter le rendement en huile essentielle.

3. Utilisation du séchage dans les industries agroalimentaires

Le séchage est utilisé pour :

- Accroître la durée de conservation des produits alimentaire ;
- Stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, ...) afin d'assurer leur disponibilité durant toutes les saisons ;

- Produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation, également appelés : Produits Alimentaires Intermédiaires, ce sont par exemple des légumes pour les potages, des oignons pour la charcuterie, des fruits pour la pâtisserie, des épaississants, arômes et colorants ;
- Réduire considérablement la masse et le volume des produits, ce qui facilite leurs transports, stockage et manutention ;
- Donner une présentation, une structure ou une fonctionnalité particulière au produit (café instantané, flocons de purée de pomme de terre...). À ce titre, l'opération de séchage peut être considérée comme une opération de formulation ou de texturation, qui, lorsqu'elle est convenablement conduite est capable de fournir des produits nouveaux, faciles à employer (Bonazzi et Binbente, 2008).

4. Méthodes de séchage

4.1. Séchage par énergie solaire

Un séchoir solaire est un système qui utilise le rayonnement solaire pour l'opération de séchage. Il existe principalement deux types de séchoirs solaires, le séchoir à soleil ouvert et le séchoir dirigé (Prakash et Kumar, 2020).

4.2. Séchage par osmose

La déshydratation osmotique peut être définie comme un « *processus de déshydratation et de trempage par imprégnation* », une combinaison de processus de déshydratation et d'imprégnation qui peut modifier les propriétés fonctionnelles des matériaux alimentaires, créant ainsi de nouveaux produits. La déshydratation osmotique est un processus de transfert de masse simultané à contre-courant dans lequel des matériaux biologiques (exp. fruits et légumes) sont immergés dans une solution aqueuse hypertonique pendant une période déterminée (Azarpazhooh et Ramaswamy, 2010).

4.3. Séchage en vapeur d'eau surchauffée

Le séchage à la vapeur surchauffée consiste à utiliser de la vapeur surchauffée dans un séchoir direct (convectif) à la place de l'air chaud, de la combustion ou des flux gazeux comme moyen de séchage pour fournir la chaleur nécessaire au séchage et pour évacuer l'humidité évaporée (Mujumdar, 2014).

4.4. Séchage par pulvérisation (atomisation)

Le séchage par atomisation est une technique courante utilisée pour transformer un liquide, une bouillie, une émulsion, une suspension ou une pâte à faible viscosité en poudre

séchée. Ce procédé consiste à atomiser (ou pulvériser) la matière première en très petites gouttelettes qui entrent ensuite en contact avec un milieu de séchage à l'air à haute température dans une chambre de séchage. La grande surface des gouttelettes atomisées de la matière première permet d'obtenir un taux de séchage très rapide (Ho et al., 2020).

4.5. Séchage par ébullition

L'ébullition proprement dite est plus difficile à observer dans les solides ou les corps pâteux que dans les liquides. L'allure à laquelle s'évapore l'eau est déterminée par l'allure d'apport de chaleur latente d'évaporation (Khazzar et Ounis, 2020).

Cet apport est effectué :

- ❖ Par conduction, à partir d'une surface chauffée au contact du produit ;
- ❖ Par génération interne de chaleur due à l'exposition à un rayonnement infrarouge ou de microondes ou par un chauffage diélectrique ;
- ❖ Par convection, à partir de vapeur d'eau surchauffée ou d'un liquide chauffant.

4.6. Séchage par entraînement

Lorsqu'un corps humide est placé dans un courant d'air (ou dans un autre gaz) suffisamment chaud et sec, il s'établit spontanément entre ce corps et l'air un écart de températures et de pression partielle d'eau tels que (Khazzar et Ounis, 2020) :

- ❖ Un transfert de chaleur s'effectue de l'air vers le produit sous l'effet de l'écart de température ;
- ❖ Un transfert d'eau s'effectue en sens inverse du fait de l'écart de concentration en eau dans l'air.

4.7. Séchage conventionnel (à l'air chaud)

C'est la principale méthode de séchage utilisée pour la déshydratation des légumes. Dans ce procédé, les légumes prétraités sont soumis à un air chaud à 50°C-90°C. La chaleur peut être transférée de l'air chaud aux légumes, et lorsque la chaleur est absorbée par les matériaux, deux types de diffusion de l'humidité se produisent. L'un des processus est la diffusion externe, dans laquelle l'humidité se déplace de la surface du matériau vers le milieu sec. L'autre processus est la diffusion interne, dans laquelle l'humidité interne se déplace vers la surface du matériau. Ces deux processus de diffusion se développent en même temps jusqu'à ce que la teneur en humidité diminue jusqu'au niveau où les matériaux peuvent être stockés en toute sécurité (Cheng et al., 2015).

4.8. Séchage par lyophilisation

4.8.1. Définition de la lyophilisation

La lyophilisation est un procédé par lequel un solvant (généralement de l'eau) est éliminé d'une denrée alimentaire congelée ou d'une solution congelée par sublimation du solvant et par désorption du solvant sorbé (solvant non gelé), généralement sous pression réduite. La méthode de séparation par lyophilisation (procédé) comporte les trois étapes suivantes : (a) l'étape de congélation, (b) l'étape de dessiccation primaire, et (c) l'étape de dessiccation secondaire (Jumah et Arun, 2015).

4.8.2. Principe de la lyophilisation

La lyophilisation est une technique qui consiste à retirer l'eau d'un produit par l'action combinée du froid et du vide. L'opération se déroule en trois étapes, la congélation, la sublimation (dessiccation primaire) et la désorption (dessiccation secondaire) (Verlhac, 2019).

4.8.3. Procédé de la lyophilisation

Un cycle de lyophilisation se divise en trois étapes :

- La congélation, où les produits sont réfrigérés à des températures comprises entre -20°C et -80°C . La congélation peut être réalisée en dehors du lyophilisateur (c'est le cas de nombreuses applications industrielles)
- La dessiccation primaire qui est réalisée sous vide. C'est l'étape pendant laquelle une partie de l'eau congelée se sublime (pas d'eau en phase liquide).
- La dessiccation secondaire consiste à éliminer l'eau qui reste non gelée (on parle d'eau sorbée ou liée). Cette étape commence à la fin de la dessiccation primaire, et la vapeur d'eau désorbée est transportée à travers les pores du matériau séché (Duan, 2017).

4.8.4. Avantages et inconvénients de la lyophilisation

a. Avantages

- ☑ Préservation de la structure initiale du produit ;
- ☑ Conservation du produit pendant plusieurs années sous vide et dans un emballage opaque sans perte de vitamines, sans modification des caractéristiques organoleptiques (valeur nutritive pratiquement identique au produit frais à la congélation) ;
- ☑ Conservation à température ambiante ;
- ☑ Réhydratation instantanée avec de l'eau froide ou chaude grâce à la structure poreuse (Nguyen, 2015).

b. Inconvénients

- ☒ Méthode coûteuse : frais d'investissement et d'exploitation élevés à cause de la forte consommation d'énergie ;
- ☒ Nécessité d'un emballage étanche car le produit est très hydrophile ;
- ☒ Procédé applicable uniquement aux aliments en poudre ou en petits morceaux sinon la durée de séchage et la consommation d'énergie sont trop importantes (Nguyen, 2015).

4.9. Séchage par microonde

C'est un processus complexe impliquant un transfert de chaleur et de masse, qui est basé sur le chauffage volumétrique. La vapeur est générée à l'intérieur d'un produit alimentaire et qui se propagent ensuite par les gradients de pression. En raison de la forte pénétrabilité des microondes, les aliments à l'intérieur et à l'extérieur sont chauffés en même temps et la température des aliments augmente simultanément. Le séchage par microondes permet l'évaporation intensive de l'humidité liquide et transporté vers la surface de la matière alimentaire. (Guo et al., 2017).

4.9.1. Four à microonde

Les fours à microondes à usage domestique ont été utilisés avec succès dans l'industrie alimentaire, car les microondes pénètrent directement dans les produits, provoquant un chauffage interne rapide par rotation dipolaire et conductance ionique dans les matériaux alimentaires (Bórquez et al., 2015).

Les progrès dans l'utilisation des nouvelles technologies de traitement des aliments ont favorisé l'emploi de l'énergie microondes, principalement pour accélérer le processus de séchage conventionnel, tout en maintenant la qualité du produit séché.

4.9.2. Principe et mécanisme du chauffage par microonde

Parmi les facteurs qui interfèrent avec le séchage par microondes, le niveau de puissance utilisé a un effet direct sur le taux de séchage. De faibles niveaux peuvent entraîner une réduction du taux de séchage, tandis que les niveaux élevés peuvent l'augmenter, mais peuvent aussi déprécier la qualité du produit final (De Souza, 2022).

4.9.3. Applications des microondes

Le recours à l'application des microondes est largement répandu dans les milieux scientifiques, industriel et dans les foyers. De nombreux scientifiques ont relaté les avantages des microondes dans divers procédés physique et/ou chimique que ce soit au niveau de l'industrie ou du laboratoire (Meziane, 2014).

4.9.4. Avantages et inconvénients du séchage par microonde

a. Avantages

- ☑ Des taux de chauffage élevés en raison du chauffage volumétrique ;
- ☑ Un temps de séchage raccourci ;
- ☑ Une consommation d'énergie réduite ;
- ☑ Une facilité d'utilisation et un faible coût ;
- ☑ Les composants nutritionnels des matériaux alimentaires par le chauffage par microondes peuvent être plus préservés par rapport au chauffage conventionnel pendant le processus de séchage (Salazar-González et al., 2012).

b. Inconvénients

- ☒ Difficile d'être appliqué à l'échelle industrielle ;
- ☒ Distribution non uniforme de la température, qui peut conduire à une distribution inégale de l'humidité provoquant une surchauffe et une détérioration de la qualité à certains degrés ;
- ☒ Les propriétés diélectriques peuvent refléter l'uniformité du chauffage par microondes et affecter la capacité des aliments à convertir l'énergie des microondes en chaleur pendant les processus de séchage (Salazar-González et al., 2012).

4.10. Exemple de comparaison entre la lyophilisation et le microonde

L'aliment lyophilisé possède dès lors une durée de conservation très élevée, généralement de plusieurs années, dans un emballage hermétique. Étant donné que la température demeure sous le point de congélation pendant la sublimation, les qualités organoleptiques et aromatiques sont aussi relativement bien conservées et la lyophilisation n'entraîne pas non plus de diminution de volume appréciable de la structure moléculaire.

En outre, le séchage par microondes peut réduire considérablement le temps de séchage des matériaux biologiques sans dégradation assez importante de la qualité. Récemment, le séchage par microondes a gagné en popularité en tant que méthode de séchage alternative pour une catégorie de produits alimentaires tels que les fruits, les légumes, les snacks et les produits laitiers, fruits, légumes, snacks et produits laitiers, vu son accessibilité.

Tableau 6 : Exemple de consommation d'énergie dans la lyophilisation et le microonde (Jin et al., 2017).

Méthode de séchage	Lyophilisation	Microonde
Durée du séchage (h)	44,5±2,0	1,8±0,3
Energie consommée (kWh/g H ₂ O)	33,7±0,53	2,7±0,12

DEUXIÈME PARTIE

***ÉTUDE
EXPÉRIMENTALE***

CHAPITRE I

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Cadre de l'étude

Ce travail porte sur l'étude comparative de deux techniques de séchage (microonde et lyophilisateur), afin de déterminer la meilleure méthode qui préserve la vitamine C dans le poivron vert (*C. annuum* L.).

Le travail a été réalisé au niveau du laboratoire de Plateau Technique en Analyses Physico-Chimiques (PTAPC) de Ouargla.

2. Matériel

2.1. Matériel végétal

Nos travaux ont porté sur l'étude des propriétés physico-chimiques et l'évaluation de la vitamine C dans le poivron vert (*Capsicum annuum* L.). Ce dernier a été acheté le 09.03.2022 du marché local de gros de la ville de Ouargla, en provenance de la wilaya de Biskra.

Les poivrons ont été lavés une première fois à l'eau de robinet, puis une deuxième fois à l'eau distillée pour éliminer les impuretés, la terre, les résidus de pesticides et séchés à l'aide d'un papier hygiénique puis coupées en rondelles de 5mm d'épaisseur. Ces rondelles ont subi deux types de séchage l'un au microonde (360W) et l'autre au lyophilisateur.

Le schéma suivant (**Figure 2**) résume le plan général du travail suivi :

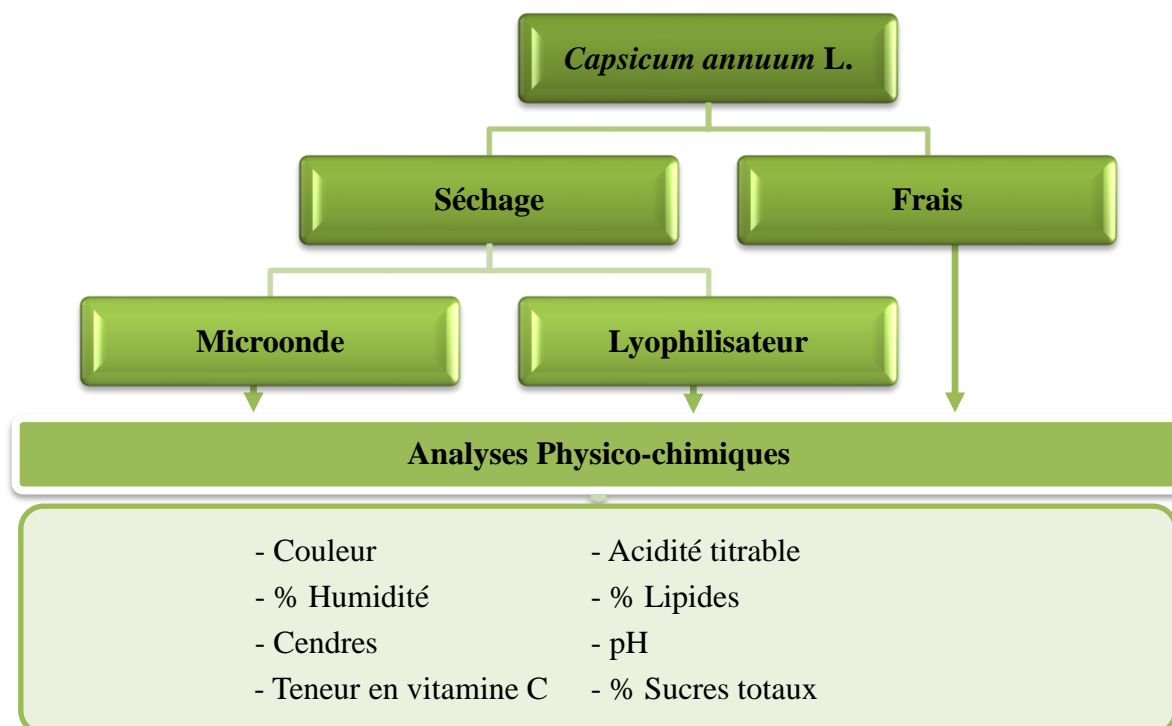


Figure 2 : Schéma général du plan de travail.

2.2. Matériel de laboratoire

- Agitateur magnétique marque Velp ;
- Bain-marie marque Memmert ;
- Balance analytique marque Ohaus ;
- Centrifugeuse marque Sigma ;
- Colorimètre marque Konica Minolta ;
- Dessiccateur en verre ;
- Étuve ventilée marque Memmert ;
- Four à moufle marque Babertherm GmbH ;
- Lyophilisateur marque Martin Christ ;
- Microonde marque Iris (IR-MO 30EL) ;
- pH-mètre ;
- RMN 600 MHz marque Burker Ascend
- Rotavapeur marque RE100 PRO
- Soxhlet ;
- Spectrophotomètre UV-visible marque DR5000 ;
- Verrerie (bêchers, erlenmeyers, éprouvettes, capsules, entonnoirs, pipettes...).

3. Méthodes analytiques

3.1. Caractérisation du matériel végétal

3.1.1. Morphologie



Figure 3 : Fruit du *Capsicum annuum* L.

3.1.2. Analyse de la couleur

La couleur est une propriété importante de la qualité tout au long de l'agriculture et de l'industrie alimentaire, car elle est étroitement associée avec des facteurs tels que la fraîcheur, la maturité, l'opportunité et la sécurité alimentaire (Demiray et Tulek, 2015).

La colorimétrie consiste en un ensemble de méthodes permettant de quantifier la couleur de façon objective. L'espace chromatique $L^*a^*b^*$ a été défini par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Les trois coordonnées correspondent à la luminance (L^*), à la balance « rouge-vert » a^* et à la balances « jaune-bleu » b^* (Figure 4) (Ouhali et Tifraouat, 2016).

❖ Principe

La couleur des produit obtenues a été définie en utilisant un colorimètre de type « Konica Minolta » (Figure 5).

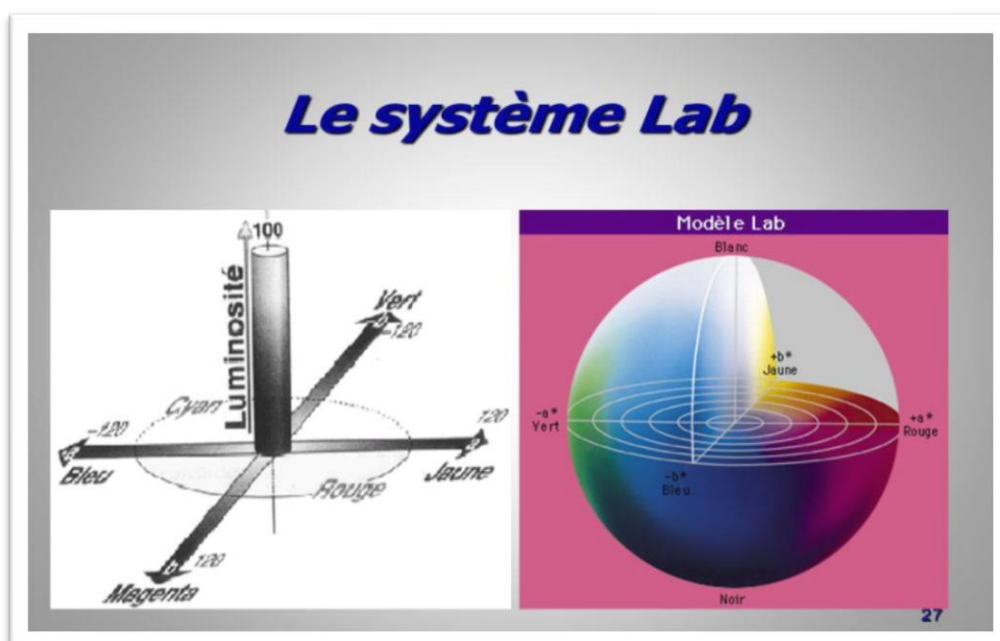


Figure 4 : Espace chromatique CIE $L^*a^*b^*$ (Ouhali et Tifraouat, 2016).

3.2. Propriétés physico-chimiques

3.2.1. Détermination des teneurs en eau et en matières sèches (AFNOR, 1982)

❖ Principe

La teneur en eau est déterminée par la méthode NF T 60-305, juin 1976 décrite par AFNOR 1982 et qui consiste en un étuvage d'un échantillon jusqu'à poids constant.

❖ Mode opératoire

- Peser une capsule préalablement lavée et séchée, noter le poids puis tarer ;

- Peser à 0.0001 de précision, 5g d'échantillon frais ;
- Placer les capsules à l'étuve sous vide à 85°C jusqu'à obtention de poids constants des échantillons ;
- Retirer les capsules de l'étuve et les placer dans le dessiccateur pendant 30min.

Exprimée en pourcentage par rapport à la masse humide de la matière, la teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H\% = [(M_2 - M_1) \times 100] / P$$

Où :

H% : Humidité ;

M₁ : Masse de la capsule ;

M₂ : Masse de l'ensemble « capsule + prise d'essai » après étuvage ;

P : Masse de la prise d'essais (5g).

La matière sèche (Ms%) est déduite selon la formule suivante :

$$Ms\% = 100 - H\%$$

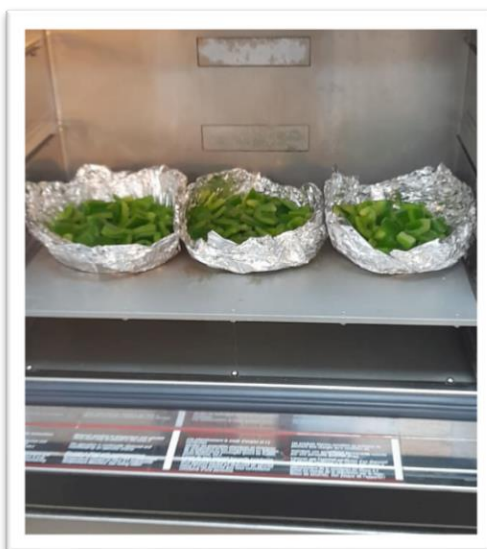


Figure 5 : Échantillons en étuve à sécher.

3.2.2. Détermination de la teneur en cendres (AFNOR NF 04-201,1980)

La teneur en cendre a été déterminée par incinération dans un four à moufle à 550°C pendant 4 h selon la méthode de **BIPEA (1976)**.

❖ Principe

La méthode est basée sur l'incinération à 550°C dans un four à moufle jusqu'à obtention de cendres blanchâtres.

❖ Mode opératoire

La teneur en cendre est déterminée selon la méthode **AOAC (2000)**.

- Peser un creuset préalablement lavé et séché, noter le poids puis tarer ;
- Peser à 0.0001 de précision, 2g d'échantillon sec ;
- Introduire dans un four à moufle réglé à $550 \pm 15^\circ\text{C}$ pendant 4h, jusqu'à l'obtention d'une couleur grise-claire ou blanchâtre ;
- Retirer les creusets contenant les cendres du four à moufle ;
- Les placer dans un dessiccateur pendant 30min puis les peser.

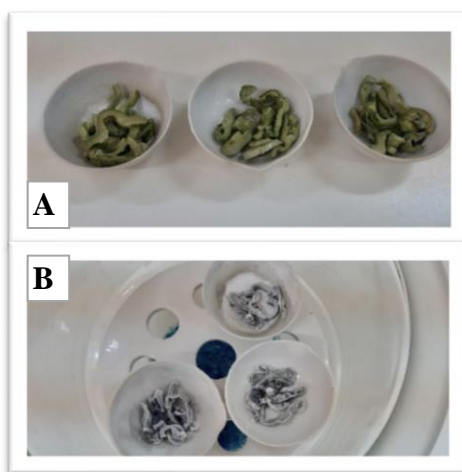


Figure 6 : Échantillons avant (A) et après incinération (B).

La teneur en cendres (Cn) est déterminée selon la formule suivante :

$$Cn\% = [(M_2 - M_1) \times 100] / P$$

Où :

Cn% : Teneur (taux) en cendres ;

M₁ : Masse de la capsule ;

M₂ : Masse de l'ensemble « capsule + prise d'essai » après incinération ;

P : Masse de la prise d'essais (2g).

3.2.3. Détermination du pH (AFNOR 36-16, 1999)

❖ Principe

Le pH est défini comme étant le logarithme négatif de la concentration en ions - hydrogénés d'une solution. Le pH-mètre électronique fournit les valeurs de pH précises.

❖ Mode opératoire

- Peser à 0.0001 de précision, 3g d'échantillon ;

- Placer l'échantillon dans un bécher contenant 20ml d'eau distillée.
- Agiter le mélange pendant 15min pour homogénéiser.
- Mesurer le pH par immersion directe de l'électrode du pH-mètre dans la solution.
- Noter la lecture du pH-mètre à température ambiante.

3.2.4. Détermination de l'acidité titrable (AFNOR, 1982)

❖ Principe

Cette méthode est basée sur le titrage de l'acidité d'une solution aqueuse avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphaléine comme indicateur.

❖ Mode opératoire

L'acidité titrable est déterminée selon la méthode **NF V 05-101(1974)** décrite par **AFNOR1982** et relative aux produits d'origine végétale.

- Peser à 0.0001 de précision, 3g d'échantillon ;
- Ajouter à l'échantillon préalablement broyé 50ml d'eau distillée ;
- Agiter le mélange pendant 15min ;
- Compléter jusqu'au trait de jauge de 250 ml ;
- Prendre un volume $V_0=25\text{ml}$ auquel on ajoute 0.25 à 0.5ml de phénophtaléine et tout en agitant ;
- Verser à l'aide d'une burette la solution NaOH (0.1N) jusqu'à l'obtention d'une coloration rose persistante pendant 30s (virage de couleur) ;
- Faire la lecture sur la burette graduée pour avoir le volume de NaOH (**Chabane et Azem,2016**).



Figure 7 : Titration de l'acidité.

L'acidité titrable (A), est déterminée selon la formule suivante :

$$A = (25 \cdot V_1 \cdot 100) / (M \cdot 10 \cdot V_0)$$

Où :

M : Masse en gramme d'échantillon prélevé ;

V₀ : Volume en millilitres de la prise d'essai ;

V₁ : Volume versé de la solution de NaOH utilisé (**Konan et al., 2016**).

3.2.5. Détermination de la teneur en matière grasse par la méthode Soxhlet

L'échantillon est pesé et placé dans une capsule en cellulose. On effectue une extraction en continu par l'Hexane à ébullition qui dissout graduellement la matière grasse. Le solvant contenant la matière grasse retourne dans le ballon par déversements successifs causés par un effet de siphon dans le coude latéral. Comme seul le solvant peut s'évaporer de nouveau, la matière grasse s'accumule dans le ballon jusqu'à ce que l'extraction soit complète. Une fois l'extraction terminée, l'Hexane est évaporé et la matière grasse est pesée.

❖ Mode opératoire

Consiste à introduire 5g de broyat dans la cartouche de cellulose, du coton est placé à l'ouverture de la cartouche pour éviter que l'échantillon ne soit entraîné par le solvant lors de l'extraction. Dans un ballon d'extraction, préalablement pesé, 200ml de solvant sont introduits. Le ballon est placé sur un bloc de chauffage et les connections des différents éléments de l'appareil sont faites. Le robinet du réfrigérant est ouvert et le bloc de chauffage est mis en marche pendant 3 heures. Après ce temps d'extraction, le ballon est retiré de l'appareil de Soxhlet, puis passé à l'évaporateur rotatif pour évaporer le solvant afin d'obtenir la matière grasse. L'ensemble (ballon matière grasse) est ensuite séché à l'étuve et refroidi au dessiccateur pendant 15min et enfin pesée (**Briki et al., 2021**).

Le calcul de taux de lipide selon cette relation :

$$MG\% = \frac{P_1 - P_2}{M_0} \times 100$$

Où :

P₁ : Masse du ballon après évaporation ;

P₂ : Masse du ballon vide ;

M₀ : Masse de la prise d'essai ;

MG% : Taux de la matière grasse

3.2.6. Détermination de la teneur en sucres totaux (**Lekbir, 2016**)

❖ Réactifs

- Solution de Carrez I: Dissoudre de l'acétate de zinc 21,9g $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ou 23,8g de $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ et 3g d'acide acétique glacial dans 100ml d'eau distillé ;

- Solution de Carrez II : Dissoudre du ferrocyanure de potassium 10,6g de $K_4Fe(CN)_6 \cdot 3H_2O$ dans 100ml d'eau distillée.

❖ Préparation des extraits

Pour préparer les extraits des trois échantillons (frais et séché par lyophilisation et microonde), nous sommes passées par les étapes suivantes :

- Découper les échantillons en petits morceaux, puis les broyer ;
- Peser 1g d'échantillon broyé et le mettre dans une fiole jaugée, compléter à 50ml avec de l'eau distillée ;
- Porter le mélange au bain-marie à 70°C pendant 30min ;
- Après refroidissement, ajouter 5ml de la solution Carrez I avec agitation puis 5ml de la solution Carrez II, cela permet de précipiter les protéines ;
- Filtrer et compléter à 100ml.

Détermination de la teneur en sucres totaux

❖ Principe

En milieu fortement acide et à chaud, les oses ayant au moins 5 atomes de carbone subissent une déshydratation et se transforment en furfural (si l'ose est un pentose) ou en dérivé du furfural (si l'ose est un hexose). Le furfural et ses dérivés peuvent se condenser avec des substances telles que les phénols et les amines aromatiques pour former des produits colorés caractéristiques (Lekbir, 2016).

❖ Réactifs

- Solution mère de glucose (1mg/ml) ;
- Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré ;
- Phénol (C_6H_6O) 5% (5g pour 100ml d'eau distillée).

❖ Mode opératoire

✚ Préparation de la gamme d'étalonnage

- Peser 0,1g de glucose ;
- Le dissoudre dans 100ml d'eau distillée, soit une solution mère avec une concentration de 0,01% ;
- A partir de la solution mère, préparer différentes concentrations : 0,05 - 0,1 - 0,15mg/ml (Annexe 1).

✚ Dosage proprement dit

Le protocole expérimental est celui décrit par Dubois *et al.* (1956) :

- Introduire dans un tube à essai 0,5ml de l'extrait de poivron (frais ou séché) ;

- Ajouter à la gamme préparée et les tubes d'échantillons :
 - ✓ 0,5ml de solution de phénol 5% ;
 - ✓ 3ml d'acide sulfurique concentré.
- Agiter les tubes ;
- Placer les tubes dans un bain-marie à 70°C pendant 5min ;
- Laisser les tubes refroidir à l'obscurité pendant 15min ;
- Faire la lecture au Spectrophotomètre UV-visible à 490nm.

3.3.Méthodes de séchage

3.3.1.Séchage par lyophilisation

Le séchage par lyophilisation des fruits de poivron a été réalisé sur des prises d'essai de 100g (3 répétitions), dans un lyophilisateur Alpha 2-4 LSCbasic, équipé d'un condenseur à basse température (-80°C) qui permet de piéger la vapeur d'eau s'échappant des fruits au cours de la lyophilisation. Une pompe à vide permet d'abaisser la pression totale dans l'enceinte. Les plateaux de fruits congelés ont été mis sur les deux tablettes situées dans la chambre de lyophilisation supérieure, faite en acier inoxydable et hermétiquement fermée par une porte en plexiglas. La lyophilisation a été réalisée durant 72h.

3.3.2.Séchage par microonde

Pour le séchage au microonde (**Figure 16**), 15g de rondelles de poivron ont été étalées en monocouche sur une assiette en verre, en trois (03) répétitions, pour une puissance de 360W. Les assiettes sont retirées toutes les 90s du microonde et placées dans un dessiccateur pour qu'elles refroidissent puis pesées en balance de précision (à 0,0001g), jusqu'à obtention d'un poids constant.

3.3.3.Détermination du rendement de séchage

La pesée après le séchage a pour but d'évaluer le rendement de séchage. Il est effectué sur une balance de précision. Le calcul de rendement est basé sur le calcul classique du rapport du poids sec sur le poids frais (**Harisoamahefa, 2013**).

$$R\% = \frac{\text{Masse produit sec}}{\text{Masse produit frais}} \times 100$$

3.4.Dosage de vitamine C par RMN

❖ Mode opératoire

L'extraction est faite par :

- Macération de 1g de produit (frais ou séché) dans 1ml de DMSO (Diméthylsulfoxyde),
- Centrifugation

❖ **Dosage proprement dit :**

Le dosage consiste à mesurer la surface des pics de protons par Résonance Magnétique Nucléaire RMN et caractéristiques de groupement cyclique entre un déplacement chimique 10,5ppm et 11,5ppm, en utilisant le système de quantification QNMR et la courbe d'étalonnage est faite par l'acide ascorbique à 10,7mg/500µl.

CHAPITRE II

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Caractérisation du matériel végétal

1.1. Couleur

Les résultats de mesure de la couleur des échantillons ont été exprimés à l'aide du système CIE $L^*a^*b^*$. Les paramètres suivants ont été déterminés : L^* ($L^*=0$: noir ; $L^*=100$: blanc), a^* (verte : $a^*<0$; rouge : $a^*>0$), b^* (bleu : $b^*<0$; jaune : $b^*>0$) (Krystyjan *et al.*, 2015). Le changement de couleur total (ΔE) a été calculé à partir de l'équation ci-dessous, en prenant la couleur du poivron vert frais avant le séchage comme référence (L_0^* , a_0^* et b_0^*) :

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2}$$

Tableau 7 : Variations des couleurs du poivron *Capsicum annuum* L.

Echantillon	L^*	a^*	b^*	ΔE
Matière fraîche	36,36±1,55	-14,61±0,46	17,07±2,09	-
Lyophilisation	48,73±2,88	-18,33±1,77	31,45±4,86	19,33
Microonde	32,23±5,29	-4,62±1,39	20,74±3,03	11,42

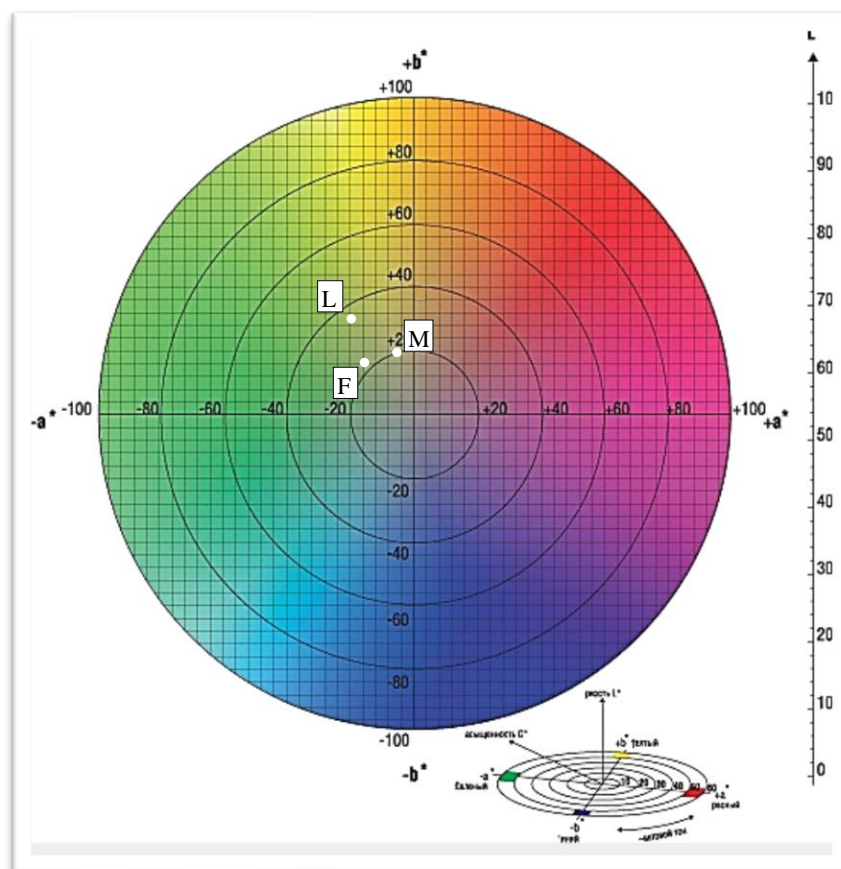


Figure 8 : Positionnement des couleurs de poivrons frais (F) et séchés par microonde (M) et lyophilisation (L) sur le cercle chromatique.

On remarque, d'après le **tableau 6**, que la variation de couleur ΔE de l'échantillon séché par lyophilisation ($\Delta E=19,33$) est plus importante que celle de l'échantillon séché par microonde ($\Delta E=11,42$), Ce qui peut influencer l'aspect visuel du produit lyophilisé, y compris les propriétés organoleptiques.



Figure9 : Poivron frais découpé.



Figure 10 : Poivron lyophilisé.



Figure 11 : Poivron séché au microonde.

2. Propriétés physico-chimiques

2.1. Teneurs en eau et en matières sèches

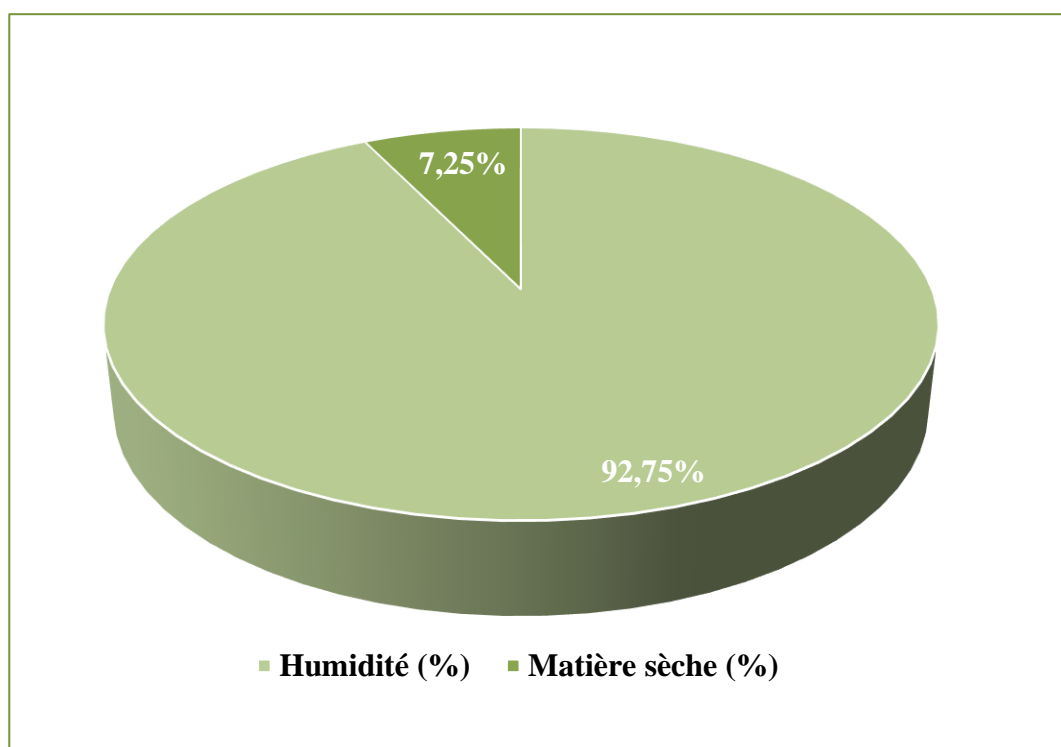


Figure 12 : Humidité et matière sèche du poivron frais.

Les résultats ont montré que le poivron frais est composé de 92,747% d'humidité (teneur en eau) et de 7,25% de matière sèche. Ces valeurs sont très proches à celles obtenues par **Chouchane et al. (2010)**, qui ont obtenu une teneur de 7,07% de matière sèche dans le piment.

La forte teneur en eau du poivron frais le rend hautement périssable et limite sa conservation à l'entreposage à température ambiante.

Ces données de poids sec représentent la valeur optimale pour laquelle le produit ne se détériore pas et garde ses qualités nutritionnelles ; couleur, goût, odeur et huiles essentielles, etc.

2.2. Rendement du séchage

Le rendement de séchage du poivron séché à lyophilisateur est 8,78% et celui séché au microonde est 7,33%. Malgré le faible rendement, il n'empêche que le séchage par lyophilisation est plus rentable que par microonde.

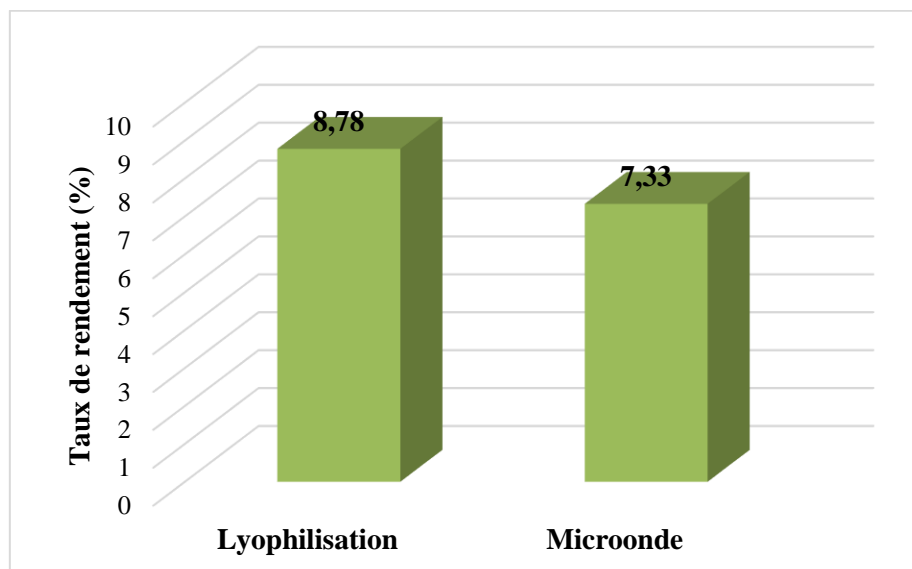


Figure 13 : Variation du rendement entre les deux méthodes de séchage.

2.3. Teneur en cendres

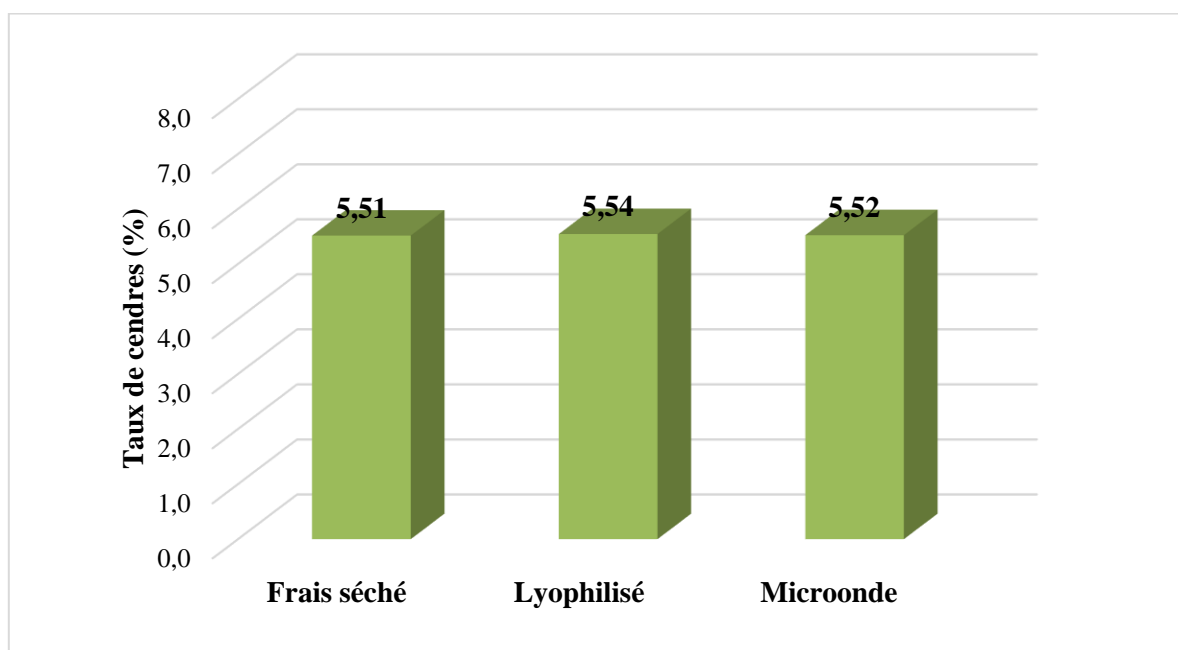


Figure 14 : Taux de cendres.

D'après **Baldit(2014)**, théoriquement, la teneur en minéraux reste stable au cours du séchage, ce qui prouve les résultats obtenus ; 5,5147% (frais séché) ; 5,5430% (lyophilisé) et 5,5229% (microonde), car ce sont des résidus inorganiques après élimination de la matière organique par incinérations. La détermination des cendres fait partie de l'évaluation nutritionnelle car ils représentent la fraction minérale contenue.

2.4.pH

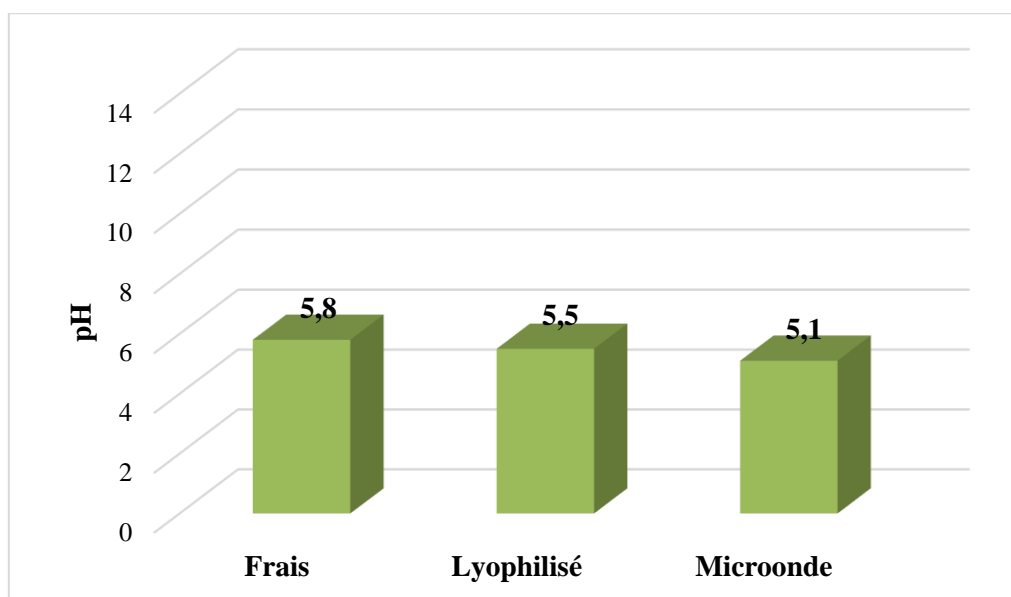


Figure 15 : Variations du pH avant et après séchage.

Nous notons des valeurs de pH des différents échantillons du poivron ; frais, lyophilisé et séché par microonde respectivement de « 5,8 », « 5,5 » et « 5,1 » (**figure 25**). Ces valeurs sont relativement proches et faibles. Cela est un avantage du point de vue stabilité du produit (**Michellin et al.,2012**). La comparaison indique que la variation de pH des poivrons avant et après les deux méthodes de séchage est négligeable.

2.5.Acidité titrable

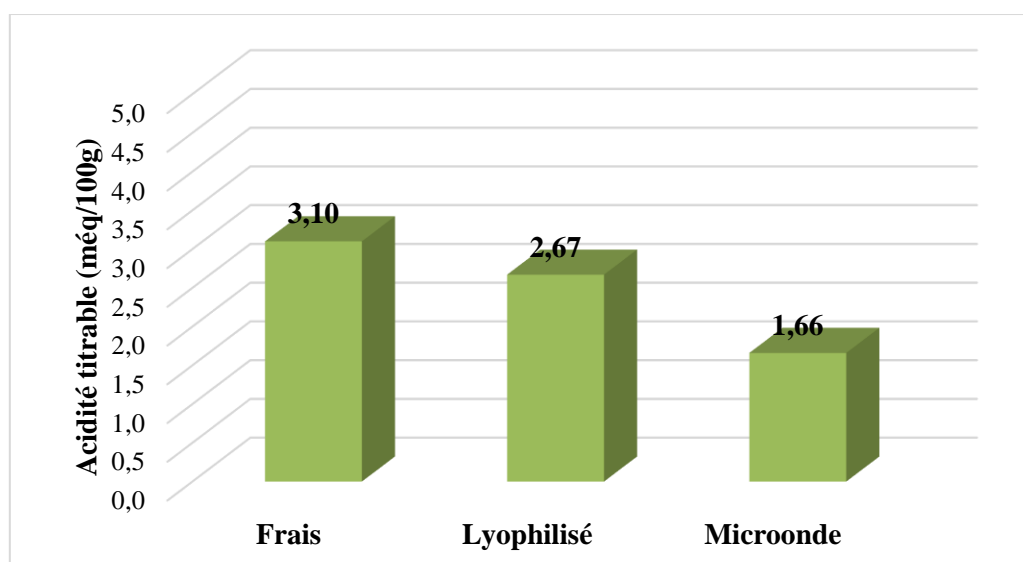


Figure 16 : Acidité titrable entre les poivrons frais et séchés par lyophilisation et microonde.

L'acidité titrable donne la mesure de tous les acides d'un aliment, le manque d'acidité rend l'aliment sans saveur, alors qu'une acidité trop forte lui confère un goût désagréable. Elle

nous renseigne aussi sur la quantité d'acides organiques présents dans l'échantillon (**Ferhoum, 2010**). D'après la **figure 26**, on remarque que le séchage par lyophilisation donne une acidité de l'ordre de 2,67, et le séchage par microonde de 1,66. Ainsi, ces deux techniques de séchage se caractérisent par des valeurs moins acides en les comparant avec celles d'acidité du poivron frais. Cette différence peut s'expliquer par le degré d'élimination d'eau qui se traduit par une augmentation de matière sèche des produits une concentration remarquable d'éléments

2.6. Teneur en lipides

D'après les résultats obtenus dans la **figure 27**, nous constatons que la teneur du poivron frais en lipides après lyophilisation n'as pas significativement diminué, cela signifie que la lyophilisation préserve les lipides.

Alors que dans le cas du séchage par microonde la teneur a diminué presque au tiers, ce qui s'explique par la dégradation de la chaleur des composés apolaires telles que les huiles essentielles volatiles et l'oxydation des AGI (Acides Gras Insaturés). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par **Singhal et al. (2022)** pour le séchage de pousses de bambou au microonde, et qui ont noté une diminution de 47,59% (de 5,4% à 2,83%).

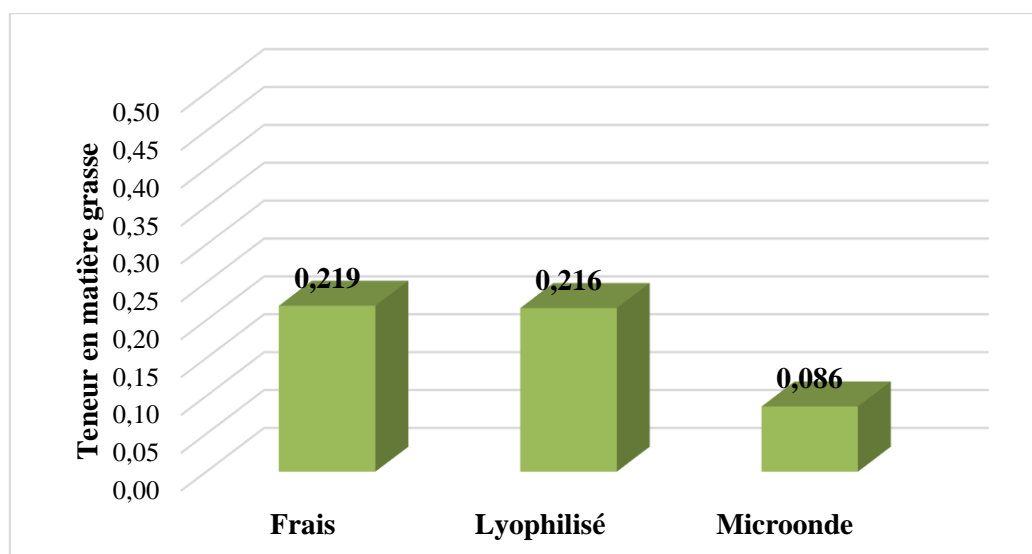


Figure 17 : Teneur en lipides entre les différents produits.

2.7. Teneur en sucres

Les fruits séchés concentrent la matière sèche, et les principaux constituants des fruits y sont présents à des taux élevés. Ainsi, les fruits séchés sont donc riches en glucides (sucres) ce que l'on trouve dans les fruits frais. La **figure 28** montre les résultats obtenus pour la détermination de la teneur en sucres totaux.

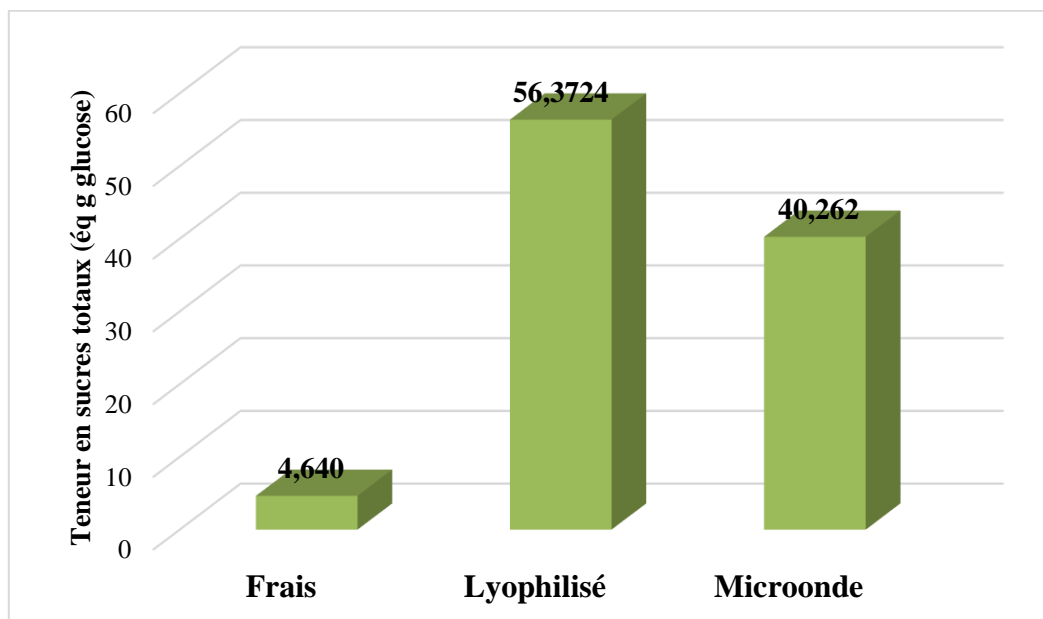


Figure 18 : Teneur en sucres totaux dans les différents produits frais et séchés par lyophilisation et microonde.

Le séchage induit une réduction rapide de la teneur en humidité et une augmentation de la teneur en matières solides, ce qui favorisera davantage l'augmentation du taux de sucres totaux, ce qui est conforme aux résultats obtenus par **Singh et al. (2022)** pour les raisins secs.

2.8. Teneur en vitamine C

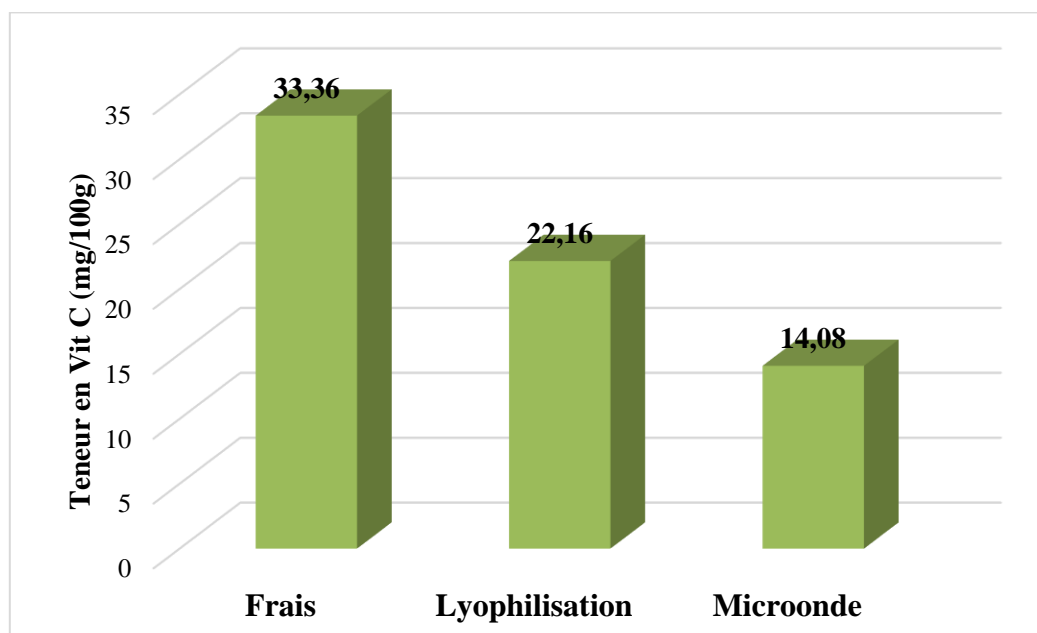


Figure 19 : Variation de la teneur en vitamine C.

La vitamine C est la plus thermolabile de toutes les vitamines. Par conséquent, les processus de séchage doivent être réalisés de manière à garantir une meilleure préservation des

vitamines contenues dans les biomatériaux frais. Elle est considérée comme paramètre de la valeur nutritionnelle (Szadzińska et al., 2017). Le degré de perte de vitamine C pendant le séchage dépend des propriétés physiques du produit et du type de procédé.

D'après les résultats obtenus, la teneur en vitamine C la plus élevée était celle du poivron frais avec 33.36mg/100g. Au cours du séchage, une diminution significative a été observée (Figure 29). La teneur en vitamine C obtenue par lyophilisation est de 22,16 mg/100g, suivie par le séchage par microondes avec 14,08 mg/100g, conformément aux résultats obtenus par Roshanak et al., (2016), qui ont comparé la teneur en vitamine C selon différents modes de séchage (séchages solaire, à l'ombre, au four, microonde et lyophilisation) et qui ont constaté que la lyophilisation et le séchage par microonde sont les deux techniques qui préservent le mieux la vitamine C.

3. Comparaison des deux méthodes de séchage

Le séchage est le meilleur procédé de conservation pour les fruits et légumes et donne une excellente saveur aux fruits même s'il entraîne une perte en vitamine C.

Tableau 8 : Comparaison entre la lyophilisation et le séchage par microonde.

Caractéristiques	Lyophilisation	Microonde
Accessibilité de la méthode	Pas vraiment	Très accessible
Coûts reliés à la méthode	Très couteuse	Peu coûteux
Efficacité	Très efficace	Moyenne
Durée de conservation	Jusqu'à quelques années	Jusqu'à quelques mois
Aspect du produit final	Très près de l'aliments frais	Change souvent de couleur, de texture et de goût
Temps de réhydratation	Quelques minutes même, dans une eau tiède	Prends plusieurs minutes, dans une eaux très chaude

L'aliment lyophilisé possède dès lors une durée de conservation très élevée, généralement de plusieurs années, dans un emballage hermétique. Étant donné que la température demeure sous le point de congélation pendant la sublimation, les qualités organoleptiques et aromatiques sont aussi relativement bien conservées et la lyophilisation n'entraîne pas non plus de diminution de volume appréciable de la structure moléculaire.

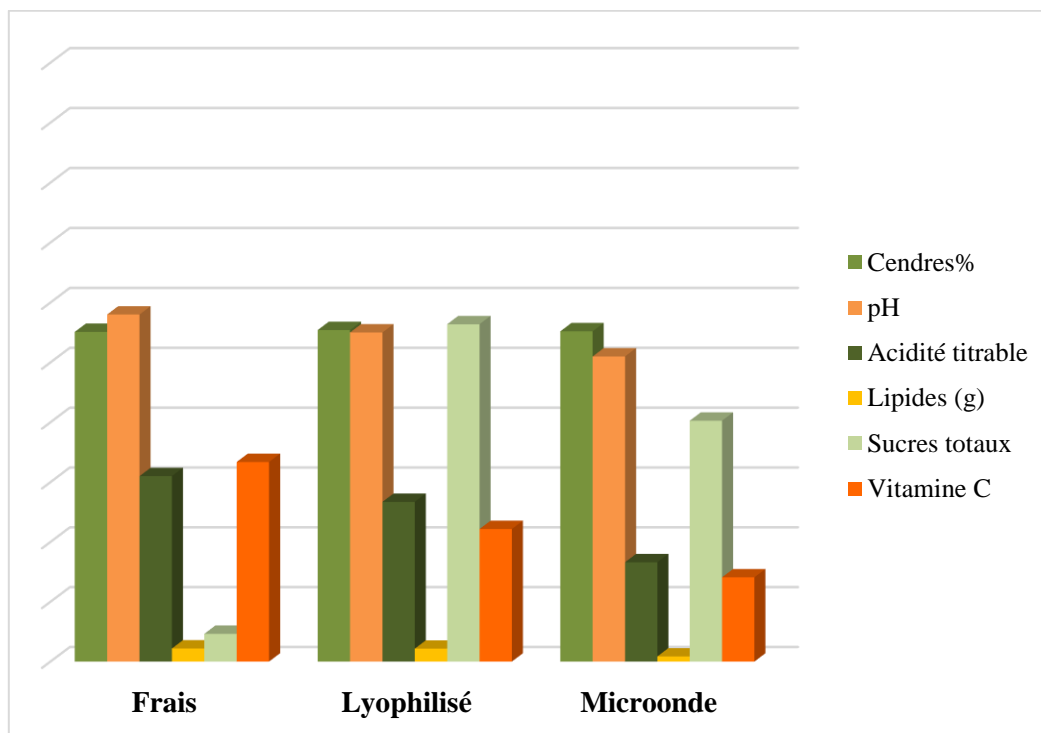


Figure 20 : Récapitulation de la variation des paramètres physico-chimiques du poivron vert (*Capsicum annuum* L.) avant et après séchage par lyophilisation et microonde.

CONCLUSION

CONCLUSION

La présente étude a montré que le séchage des poivrons peut être réalisé à l'aide de différentes méthodes, du plus traditionnel en plein soleil aux méthodes les plus sophistiquées comme la lyophilisation et le séchage par microonde.

En général, le séchage induit des changements dans les propriétés physiques, entraînant des pertes importantes de couleur. La texture est également altérée par le séchage. En ce qui concerne la composition chimique, les résultats sont très variables selon la méthode de séchage et les conditions opérationnelles utilisées. En général, des réductions importantes de la vitamine C sont observées.

La lyophilisation conserve le volume, l'aspect, les propriétés et les principales qualités nutritionnelles du produit, ainsi que les saveurs durant des années en conditions hermétiques. Cette technique bien qu'autorisée en bio reste toutefois assez énergivore et coûteuse. Quant au séchage par microonde, durant le processus on constate une évaporation de substances aromatiques, oxydation de lipides et pertes en vitamines (vitamine C), sa conservation est aussi plus limitée (10-12 mois en moyenne) et l'appréciation de goût nettement moins agréable. Bien que cette technique soit moins coûteuse et consomme moins d'énergie que la lyophilisation, ces deux techniques restent parmi les meilleures méthodes de séchage.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. **Anaya-Esparza L. M., Mora Z. V. D. L., Vázquez-Paulino O., Ascencio F. et Villarruel-López A., 2021.** Bell Peppers (*Capsicum annum* L.) Losses and Wastes: Source for Food and Pharmaceutical Applications. *Molecules*, **26**(17) : 5341.
2. **Azarpazhooh E. et Ramaswamy H. S., 2010.** Osmotic Dehydration, In: *Drying of Foods, Vegetables and Fruits - Volume 1*, Eds. Jangam S. V., Law C. L. et Mujumdar A. S., ISBN - 978-981-08-6759-1, Published in Singapore, pp: 83-110
3. **Azerou H. et Amaouz H., 2020.** Etude des caractéristiques physicochimiques, nutritionnelles et antioxydantes du piment (*Capsicum spp.*). Mémoire de Master en Qualité des Produits et Sécurité Alimentaires. Université Abderrahmane Mira. Béjaïa, 64p.
4. **Baldit E., 2014.** Influence du procédé de séchage sur la teneur en folates et en minéraux de certains légumes-feuilles consommés au Burkina Faso. Rapport de stage. Université de Montpellier 2 et Institut de de Recherche pour le Développement. Montpellier, 6p.
5. **Barbosa J., Borges S., Amorim M., Pereira M. J., Oliveira A., Pintado M. E. et Teixeira P., 2015.** Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. *Journal of Functional Foods*, **17**: 340-351.
6. **Bonazzi C. et Bimbenet J.-J., 2008.** Séchage des produits alimentaires : Appareils et applications. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, **2**(F3002).
7. **Bórquez R., Melo D. et Saavedra C., 2015.** Microwave–vacuum drying of strawberries with automatic temperature control. *Food and Bioprocess Technology*, **8**(2): 266-276.
8. **Briki A., Zidan Z. et Laksac H., 2021.** Étude de séchage et caractérisation physicochimique et hygiénique d'un produit alimentaire du site d'Adrar. Mémoire de Master en Chimie de l'Environnement. Université Ahmed Draia. Adrar, 91p.
9. **Castelli P., 2020.** Les compléments alimentaires : Les risques d'une surconsommation. Thèse de Doctorat en Pharmacie. Université d'Aix. Marseille, 152p.
10. **Chabane N. et Azem S., 2016.** Analyses physico-chimiques de trois marques du jus d'orange et dosage de l'aspartame et du benzoate de sodium. Mémoire de Master en Transformation et Conservation des Produits Agricoles. Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou, 96p.

11. **Cheng L. S., Fang S. et Ruan M. L., 2015.** Influence of blanching pretreatment on the drying characteristics of cherry tomato and mathematical modeling. *International Journal of Food Engineering*, **11**(2): 265-274.
12. **Chouchane N., Moumimi A., Moumimi N., Houhou H., Ferdjani A., 2010.** Étude du séchage des produits à haute teneur en eau application au piment vert. Proceeding du 3^{ème} Séminaire Maghrébin sur les Sciences et Technologies de Séchage SMSTS-3, 3-5 Novembre 2010. Marrakech,
13. **Combs G. F., McClung P. et Vitamin J. C., 2017.** Chapter 10-In the Vitamins Fundamental Aspects in Nutrition and Health. doi.org/10.1016/B978-0-12-802965-7.00010-1
14. **De Souza A. U., Corrêa J. L. G., Tanikawa D. H., Abrahão F. R., De Jesus Junqueira J. R. et Jiménez E. C., 2022.** Hybrid microwave-hot air drying of the osmotically treated carrots. *LWT*, **156**: 113046.
15. **Demiray E. et Tulek Y., 2015.** Color degradation kinetics of carrot (*Daucus carota* L.) slices during hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, **39**(6): 800-805.
16. **Derbel S. et Ghedira K., 2005.** Les phytonutriments et leur impact sur la santé. *Phytothérapie*, **3**(1) : 28-34.
17. **Duan X., 2017.** Main Current Vegetable Drying Technology II: *Freeze-Drying and Related Combined Drying*. In: *Handbook of drying of vegetables and vegetable product*, (25-43). CRC Press.
18. **Dubois M., Gilles K., Hamilton J. K., Rebers P. A. et Smith F., 1956.** A Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, **28**(3): 350-356.
19. **Frei B., Birlouez-Aragon I. et Lykkesfeldt J., 2012.** Authors' perspective: What is the optimum intake of vitamin C in humans?. *Critical reviews in food science and nutrition*, **52**(9): 815-829.
20. **Goetz P. et Le Jeune R., 2012.** *Capsicum annuum* et *Capsicum frutescens* Piment. *Phytothérapie*, **10**(2) : 126-130.
21. **Gomez Ruiz B., 2016.** Prédiction de la dégradation de la vitamine C en conditions de traitement thermique : étude en milieu modèle liquide entre 50 et 90 °C. Thèse de Doctorat en Génie des Procédés. Université de AgroParisTech. Paris, 178p.

22. Guo Q., Sun D. W., Cheng J. H. et Han Z., 2017. Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, **67** : 236-247.
23. Guiné, R. D. P. F., 2016. Drying Peppers: Technology and Properties. *Harvesting methods, antioxidant properties and health effects*, 55-96.
24. Harisoamahefa H., 2013. Étude des modalités de séchage de fruits et légumes au moyen du séchoir solaire Boara : Qualités nutritionnelles et microbiologiques des produits obtenus. Mémoire d'Étude approfondie en Sciences de la Vie. Université d'Antananarivo (Madagascar). Antananarivo, 113p.
25. Ho T. M., Bansal N. et Bhandari B., 2020. Spray-dried dairy product categories. In *Drying in the Dairy Industry-From Established Technologies to Advanced Innovations*, (pp: 1-24). Boca Raton, FL, CRC Press, Taylor and Francis Group.
26. Hsu H.Y., Tsai Y.C., Fu C.C. et Wu J.S.B., 2012. Degradation of ascorbic acid in ethanolic solutions. *Journal of agricultural and food chemistry*, **60**(42) : 10696-10701.
27. Huq A. A. et Arshad, F. M., 2010. Technical efficiency of chili production. *American Journal of Applied Sciences*, **7**(2) : 185-190.
28. Iqbal Q., Amjad M., Asi M. R. -et Ariño A., 2013. Characterization of capsaicinoids and antioxidants in hot peppers as influenced by hybrid and harvesting stage. *Plant foods for human nutrition*, **68**(4) : 358-363.
29. Jayaraman K. S. et Gupta D. D., 2020. Drying of fruits and vegetables. In *Handbook of industrial drying* (pp. 643-690). CRC Press.
30. Jin W., Mujumdar A. S., Zhang M. et Shi W., 2017. Novel Drying Techniques for Spices and Herbs: a Review. *Food Engineering Reviews*, **10**(1): 34–45.
31. Jumah R. Y. et Arun S. M., 2015. Dryer emission control systems." *Handbook of Industrial Drying 2*, 1179-1226.
32. Khazzar A. et Ounis A., 2020. Contribution à l'étude expérimentale de séchage du poivron. Mémoire de Master et Physique Energétique et Energies Renouvelables. Université Mohamed Boudiaf. M'sila, 63p.
33. Konan B.R., Agnememel A.B., Akely P.M.T., Assa R.R. et Konan K.J.L., 2016. Variation des paramètres biochimiques de l'eau de coco (*Cocos nucifera* L.) issu de la culture in vitro pendant la période de stockage. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **10**(3) : 957-965.
34. Kouassi C. K. et Koffi-Nevry R., 2012. Evaluation de la connaissance et utilisation des

- variétés de piment (*Capsicum*) cultivées en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **6**(1) : 175-185.
- 35. Krystyjan M., Gumul D., Ziobro R. et Korus A., 2015.** The fortification of biscuits with bee pollen and its effect on physicochemical and antioxidant properties in biscuits. *LWT-Food Science and Technology*, **63**(1) : 640-646.
- 36. Lekbir A., 2017.** Évolution des composés phénoliques et des paramètres biochimiques de trois variétés de dattes. Thèse de Doctorat en Qualité et Sécurité Alimentaire. Université Hadj Lakhder. Batna, 187p.
- 37. Liu W.Y., Kang W.H., Kang B.C., Kang B.C. et Kole C., 2013.** Basic Information on Pepper. *Genetics, Genomics and Breeding of Peppers and Eggplants*, **1**.
- 38. Mansour R. et AlJoubbeh M., 2014.** The effect of Storage Time and Humidity on Vitamin C level in Infant's baby milk powder after opening the package. *International Journal of ChemTech Research*, **6**(2): 1124-1130
- 39. Massot C., 2010.** Analyse des variations de la teneur en vitamine C dans le fruit de tomate et rôle de l'environnement lumineux. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. Avignon, 229p.
- 40. Meziane D., 2014.** Extraction assistée par micro-ondes des antioxydants à partir du *Rosmarinus officinalis* L. et de ses coproduits. Thèse de Doctorat en Chimie Organique Appliquée. Université des Sciences et de la Technologie de Houari Boumediene. Alger, 149p.
- 41. Mokhtar M., 2010.** Effet *in vitro* du piment (*Capsicum annuum* L.) de variété locale (Biskra) sur quelques germes pathogènes et sur certaines souches probiotiques. Mémoire de Magister et Biotechnologie Végétale. Université Abdelhamid Ibn Badis. Mostaganem, 106p.
- 42. Mujumdar A. S., 2014.** 20 Superheated Steam Drying. *Handbook of industrial drying*, 421-432.
- 43. Nguyen, T. H. (2015).** Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Ingénieur. Université de Bretagne Sud. Lorient, 242p.
- 44. Ouhai I. et Tifraouat A., 2016.** Essai de panification avec incorporation de la farine de dattes « Mech-Degla ». Mémoire de Master en Génie des procédés alimentaires. Université M'hamed Bougara. Boumerdes, 136p.
- 45. Prakash O. et Kumar A., 2020.** *Solar Drying Systems*. CRC Press.

- 46. Richter Reis F., 2014.** Introduction to low pressure processes. In *Vacuum Drying for Extending Food Shelf-Life*, (pp. 1-6). Springer, Cham.
- 47. Roshanak S., Rahimmalek M. et Goli S.A.H., 2016.** Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of green tea (*Camellia sinensis* or *C. assamica*) leaves. *Journal of food science and technology*, **53**(1): 721-729.
- 48. Ruiz B. G., 2020.** Prédiction de la dégradation de la vitamine C en conditions de traitement thermique : étude en milieu modèle liquide entre 50 et 90 °C. thèse de Doctorat en Génie des procédés. Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). Paris, 179p.
- 49. Saf A. et Reddam S., 2018.** Technologies de séchage : Etude de cas séchage de deux matrices végétales par étuve. Mémoire de Master en Qualité Des Produits Et Sécurité Alimentaire. Université Abderrahmane Mira. Béjaïa, 52p.
- 50. Salazar-González C., Martín-González S., Fernanda M., López-Malo A. et Sosa-Morales M. E., 2012.** Recent studies related to microwave processing of fluid foods. *Food and Bioprocess Technology*, **5**(1): 31-46.
- 51. Sari Mohammed F. W., 2017.** Comparaison entre deux méthodes de dosage de la vitamine C. Mémoire de Master en Alimentation et Nutrition. Université Aboubekr Belkaid. Tlemcen, 63p.
- 52. Sarkar N., Srivastava P. K. et Dubey V. K., 2009.** Understanding the language of vitamin C. *Current Nutrition & Food Science*, **5**(1): 53-55.
- 53. Schwartz E., 2016.** La Vitamine C. *Monographie Université du Québec a Chicoutimi DESS de Cosmetologie*. 30p.
- 54. Shashirekha M. N., Mallikarjuna S. E. et Rajarathnam S., 2013.** Status of Bioactive Compounds in Foods, with Focus on Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **55**(10) : 1324–1339.
- 55. Singh G., Kaushal N., Tokusoglu O. et Singh A., 2022.** Optimization of process parameters for drying of red Grapes (*Vitis vinifera*) to raisin: A design expert laden approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, **46**(5) : 15248.
- 56. Singhal P., Satya S. et Naik S.N., 2022.** Effect of different drying techniques on the nutritional, antioxidant and cyanogenic profile of bamboo shoots. *Applied Food Research*, **2**(1) : 100036.

- 57. Szadzińska J., Lechtańska J., Kowalski S.J. et Stasiak M., 2017.** The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. *Ultrasonics Sonochemistry*, **34**: 531-539.
- 58. Téllez-Pérez C., Sabah M. M., Montejano-Gaitán J. G., Sobolik V., Martínez C. A. et Allaf K., 2012.** Impact of instant controlled pressure drop treatment on dehydration and rehydration kinetics of green Moroccan pepper (*Capsicum annuum*). *Procedia Engineering*, **42** : 978-1003.
- 59. Verlhac P., 2019.** Étude et optimisation des cycles de lyophilisation d'une souche probiotique modèle. Thèse de Doctorat en Génie des Procédés. Université Claude Bernard. Lyon, 222p.

ANNEXES

Annexe I : Dosage des sucres par la méthode Dubois (1956)

✚ Préparation de la gamme d'étalonnage

❖ Réactifs

- Acide sulfurique concentré
- Phénol : 5g pour 100ml d'eau distillée

❖ Gamme des oses (0,05 – 0,15mg/ml)

La gamme étalon est préparée à partir de glucose (solution mère 1mg/ml)

- Peser 50mg de glucose ;
- La dissoudre dans 50ml d'eau distillée, soit une solution mère avec une concentration de 1mg/ml ;
- A partir de cette solution mère préparer différentes concentrations (0,05 - 0,15mg/ml) ;
- Prendre 1ml de chacun de ces tubes ;

Dans des tubes à essai introduire :

- ✓ 0,5ml d'une solution d'ose ;
- ✓ 0,5ml de solution de phénol à 5% ;
- ✓ 3ml d'acide sulfurique concentré.
- Verser l'acide sulfurique concentré sur les deux solutions afin de dégager une chaleur intense (110°C). Pour plus de reproductibilité néanmoins on peut maintenir 5min à 100°C.
- Laisser refroidir 15min à l'obscurité et à température ambiante.
- Lire la DO (Densité Optique) à 490nm dans des cuves en plastique et tracer la $DO = f(C)$.

Tableau : Dilutions des étalons et leurs DO.

Solution de glucose à 0,01%	0	0,05	0,1	0,15
Eau distillée (ml)	0,5	0,45	0,4	0,35
Concentration (mg/ml)	0	0,05	0,1	0,15
Densité optique DO	0	0,584	0,969	1,580

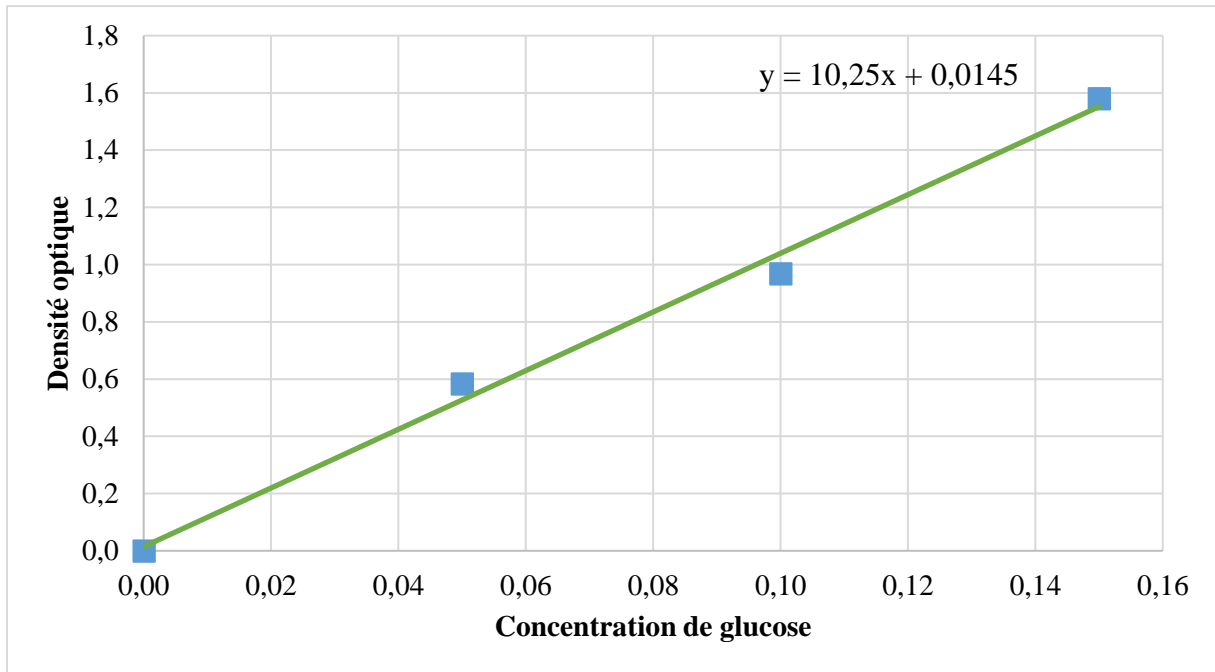


Figure 1 : Courbe d'étalonnage du glucose.

Annexe II : Matériel utilisé



Figure 2 : Colorimètre.



Figure 3 : Étuve sous vide Memmert.



Figure 4 : Four à moufle.



Figure 5 : Mesure du pH au pH-mètre.



Figure 6 : Extraction au Soxhlet.



Figure 7 : Rotavapeur.

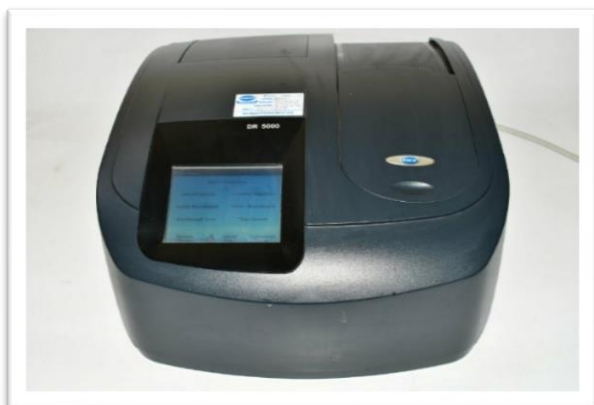


Figure 8 : Spectrophotomètre UV-visible.



Figure 9 : Lyophilisateur.



Figure 10 : Microonde.



Figure 11 : RMN.

Résumé

La conservation des aliments pour une utilisation quotidienne, dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique nécessite des traitements thermiques. Parmi ces aliments le poivron vert (*Capsicum annuum* L), qui possède des propriétés antioxydantes, fonctionnelles et pharmacologiques potentielles.

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'effet de deux techniques de séchage, lyophilisation et microonde, sur les propriétés physico-chimiques du poivron y compris la rétention de la vitamine C, en les comparant avec le poivron à son état frais, pour en déduire la plus efficace.

En ce qui concerne les résultats, le poivron lyophilisé avait la composition chimique la plus complète et proche du poivron frais. Mais cette technologie reste relativement lente et coûteuse. Tandis que le poivron séché par microonde est de bonne qualité à l'exception d'une détérioration de couleur et de forme ainsi qu'une perte partielle de vitamine C, malgré la rapidité du microonde à sécher.

Néanmoins la lyophilisation et le séchage par et microonde restent parmi les meilleures techniques de séchage.

Mots clés : *Capsicum annuum* L., vitamine C, séchage, lyophilisation, microonde.

ملخص:

يتطلب حفظ الطعام للاستخدام اليومي، في صناعة الأغذية والأدوية، معالجات حرارية. من بين هذه الأطعمة الفلفل الحلو الأخضر (*Capsicum annuum* L.)، الذي يحتوي على خصائص مضادة للأكسدة وخصائص وظيفية ودوائية. كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم تأثير تقنيتي التجفيف، التجفيف بالتجميد والميكروويف، على الخواص الفيزيائية والكيميائية للفلفل الحلو الأخضر، بما في ذلك الاحتفاظ بفيتامين ج، من خلال مقارنتها مع الفلفل الطازج. لاستنتاج أيهما الأكثر فعالية. بالنسبة للنتائج، فإن الفلفل المجفف بالتجميد يحتوي على التركيبة الكيميائية الأكمل والأقرب للفلفل الطازج. لكن هذه التقنية بطيئة نسبياً ومكلفة. في حين أن الفلفل المجفف بالميكروويف ذو نوعية جيدة باستثناء تغير اللون والشكل والفقدان الجزئي لفيتامين ج، على الرغم من سرعة الميكروويف في التجفيف.

ومع ذلك، يظل التجفيف بالتجميد والتجفيف بالميكروويف من بين أفضل تقنيات التجفيف.

الكلمات المفتاحية: *Capsicum annuum* L.، فيتامين ج، تجفيف، تجفيف بالتجميد، مايكروويف.

Abstract :

The preservation of foods for daily use, in the food and pharmaceutical industry requires heat treatments. Among these foods, the green bell pepper (*Capsicum annuum* L.), which has antioxidant, functional and pharmacological potential properties.

The main objective of this study was to evaluate the effect of two drying techniques, freeze-drying and microwave, on the physicochemical properties of the bell pepper, including the retention of vitamin C, comparing them with the raw bell pepper, in order to deduce the most effective. As far as the results are concerned, the freeze-dried bell pepper had the most complete chemical composition and was close to the raw bell pepper. But this technology is still relatively slow and expensive. While the microwave dried bell pepper is of good quality except for a deterioration of color and shape as well as a partial loss of vitamin C, despite the speed of the microwave to dry.

Nevertheless, freeze-drying and microwave drying remain among the best drying techniques.

Keywords: *Capsicum annuum* L., vitamin C, drying, freeze drying, microwave.