

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté des Science de la Nature et de la Vie

Département des sciences Alimentaires

Spécialité qualité des produits et sécurité alimentaire

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

***Effet du mode et de la température de séchage sur
l'activité antioxydant de trois légumes (Tomate, Poivron, Piment)***

Présenté par :

M^{me} : Chaouche Yasmina.

M^{elle} : Chikhouné Kamir.

Soutenu devant le jury composé de :

Promoteur : Mr Boukhalifa. F.

Président : Mr Tamandjari. A.

Examinatrice : M^{me} Soufi. O.

Année universitaire : 2021/2022

Remerciement

*Tout d'abord, nous tenons à remercier **ALLAH** le tout puissant qui nous a procuré, patience, courage et volonté afin de réaliser ce modeste travail.*

Nous aimerons exprimer nos gratitudeux aux êtres les plus chers au monde

« Nos parents » pour tous les efforts et sacrifices qu'ils ont entrepris afin de nous voir réussir et pour l'éducation qu'ils nous ont prodigué.

Au terme de la réalisation de ce travail, nous remercions vivement notre promoteur

***M. BOUKHALFA F**, on lui suit reconnaissantes de nous avoir accepté de nous encadrer, on le remercie, on le remercie pour tous ses conseils, sa disponibilité, son sérieux dans le travail, on est très fier d'avoir eu la chance de travailler sous sa direction.*

*On remercie sincèrement les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger ce travail : **M. Tamandjari A** et **M^{me} Soufi W**.*

*Nous remercions tous les membres du personnel du plateau technique d'analyses physico-chimique **CRAPC**.*

En fin, nos remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribué de près et du loin à la réalisation de ce travail et qui nous ont encouragé et soutenu à tout moment dans la réalisation de ce projet.

Dédicace

Au nom d'ALLAH

Je dédie ce travail à la mémoire de mon frère Lyes, ainsi que la mémoire de mes grands-parents maternels et mon grand-père paternelle.

A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour à ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans les moments les plus difficiles Et ceux à qui je dois tant, à mes chers parents pour leur amour, soutien et patience. Je les remercie d'autant que je ne remercie personne J'espère qu'un jour Dieu me donne l'occasion de les Honorer et rendre ce qu'ils méritent.

A ma cher grande sœur Rosa, qui a toujours su trouver les mots pour me motiver, a Ryma et son mari et son fils Aris.

A ma cher grand-mère Djida menoune pour sa sagesse et son amour, que dieu la garde encore longtemps.

A toute ma famille, mes oncles et tante ainsi que mes cousins et cousines, a tous mes ami(es) qui m'ont soutenu(e) dans ce travail.

A ma binôme et sa famille que j'estime beaucoup

A tous ceux qui m'ont apportés leurs aides, et leurs encouragements de près ou de loin durant ma formation.

Kamir

Dédicace

En premier lieu, je décise ce modeste travail à mes très chères parents pour leur patience illimitée et leur aide. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler, que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A ma sœur sassa son mari Riad et ces enfants Dida Mourad et Abdou. A mes frères :

Nabil, Madani, Hamidouche, Nadir.

A mon mari Imad qui m'a beaucoup soutenue et encouragé. A Ma belle-mère ima fadila

A mes belles sœurs, Samia, Linda, et son fils Anas, Sissa et ses filles Safa et Marwa.

A mes adorables nièces. A mes neveux.

A mon encadrant Mr BOUKHALFA qui a été là pour nous

A Mes amis Katia, Kamir, Kaci, Lydia, Lynda, Samira, Marzouk. A mes cousines et cousins.

A toute personne qui mon stylo n'a pas citée.

Yasmina

Sommaire

Liste des figures

Liste d'abréviations

Introduction :	1
I. Généralités(sur le séchage	3
I-1 Les phénomènes de séchage	3
I-2 Les méthodes de séchage	4
□ Séchage à l'étuve	5
I-3 Aptitude à la réhydratation	6
II Molécules bioactives et leurs activités biologiques	6
II-1 Les polyphenol	6
II-2 Les flavonoids	6
II-3 Les caroténoïdes	7
III Généralités sur les légumes étudiés	7
III-1 L'étude économique des légumes	9
III-1.1 Production mondiale	9
III-1.2 Production Africaine	10
III-1.3 Production nationale	10
III-1.4 Production de la wilaya de Bejaia	10
I.Matériels et méthodes	11
I-1 Matériel végétal	11
I-2 Détermination de l'humidité	12
I-3 Cinétique de séchage	12
I-4 Extraction des antioxydants	12
I-5 Dosage des antioxydants	13
I-5.1 Dosage des composes phénoliques totaux	13
I-5.2 Dosage des flavonoïdes	13
I-5.3 Dosage des caroténoïdes	13

I-6 Déterminer l'activité antioxydante	14
I-6.1 Neutralisation du radical libre (DPPH)	14
I-6.2 Neutralisation du radical cationique ABTS ^{*+}	15
I-7 Analyse statistique	15
II Résultats des analyses.....	16
II.1 Cinétique de séchage.....	16
II-2 Dosage de antioxydants	18
II-2.1 Teneur en polyphénols totaux.....	18
II.2.3 Teneur en caroténoïdes	22
II-2.4 Résultats de l'activité antioxydante	26
II-2.4.1 Neutralisation du radical DPPH	26
II-2.4.2 Neutralisation du radical cationique ABTS ^{*+}	28
II-2.5 Optimisation des températures pour le séchage des légumes	30
Conclusion	32
Annexes	

Liste des figures

<i>N° de figure</i>	<i>Le titre</i>	<i>La page</i>
1	Schéma représentatif des différents types de séchoir solaires.	05
2	Photographie de la tomate	08
3	Photographie du piment (<i>Capsicum annum L</i>) et du poivron (<i>Capsicum Frutescens L</i>).	09
4	Photographie des différentes opérations effectuées au cours du séchage	11
5	Variation de la teneur en eau des légumes étudiés au cours de séchage	16
6	Teneur en composés phénoliques des échantillons étudiés au cours de séchage	19
7	Variation de la teneur en flavonoïdes des légumes étudiés.	21
8	Variation de la teneur en caroténoïdes des légumes étudiés	24
9	Pourcentage d'inhibition du radical DPPH* des légumes étudiés	27
10	Pourcentage d'inhibition du radical ABTS ⁺ * des légumes étudiés	29
11	Dendrogramme des légumes	31

Liste d'abréviations

A_w : Activité de l'eau.

ABTS⁺* : l'acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-sulphonique)

DPPH^{*} : 1,1-diphenyl -2-picrylhydrazyl.

DSA : Direction des services agricoles.

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

MS : Matière sèche.

Q_x : quintaux.

Introduction

Introduction :

Un terroir est un espace géographique délimité défini à partir d'une communauté humaine qui construit au cours de son histoire un ensemble de traits culturels distinctifs, de savoirs et de pratiques, fondés sur un système d'interactions entre le milieu naturel et les facteurs humains et les savoir-faire mis en jeu.

La valorisation des produits du terroir est devenue non seulement un moyen incontournable pour promouvoir le développement des territoires, mais aussi une manière de préserver le patrimoine culturel et la mémoire collective locale (**Hachemaoui, 2021**).

Le séchage des fruits et légumes du terroir est l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments connues par l'homme. C'est une technique vitale pour les pays en voie de développement, dont l'autosuffisance alimentaire repose essentiellement sur l'agriculture (**Talla et al., 2001**). Cette opération consiste dans la réduction de la teneur en humidité à un niveau qui permet le stockage en toute sécurité sur une période prolongée. Il entraîne également une réduction du poids ainsi que du volume, ce qui réduit l'emballage, le stockage et les frais de transport (**Ben Meriem et al., 2017**). Ce mode de conservation altère peu les qualités nutritionnelles et organoleptiques lorsque la déshydratation et les prétraitements éventuels sont bien maîtrisés au niveau des transferts de chaleur et de matière (**Schuck et al., 2012**).

Au cours de cette opération, deux paramètres interviennent ; la puissance et la température. Ces deux facteurs influencent significativement les paramètres de séchage (**Garavade et al., 2011**), s'inscrit l'objectif de cette étude qui consiste à faire une comparaison entre le séchage traditionnel (méthode solaire) et le séchage industriel (à l'étuve) à différentes températures afin de déterminer la meilleure méthode qui permet de mieux préserver la qualité du produit.

Dans ce contexte, et afin d'atteindre l'objectif tracé ; à savoir l'influence du mode et de la température de séchage sur l'activité antioxydante de trois légumes consommés dans les régions de l'Algérie, la présente étude est divisée en trois parties. La première partie est réservée à la collecte des échantillons de légumes étudiés. La seconde partie, est consacrée à l'étude de la cinétique de séchage, au soleil et à l'étuve à différentes températures (50, 60, 70 °C), tandis que la troisième partie est réservée à l'étude de la composition bioactive et des activités antioxydantes des différents lots séchés et a l'état frais des échantillons de légumes étudiés.

Le document est fractionné en deux parties, dont la première est une étude bibliographique dans laquelle des généralités sur le séchage, ainsi qu'un aperçu botanique accompagné de quelque donnée commerciale des trois légumes étudiés, sont traitées. La deuxième partie, réservée à l'étude expérimentale, est scindée en matériel et en méthodes où les différentes procédures expérimentales sont décrites, et en résultats et discussion. Le manuscrit est finalisé par une conclusion générale et des perspectives.

Synthèse bibliographique

I. Généralités sur le séchage

Le séchage est un procédé très ancien de conservation des produits agricoles et alimentaires. C'est une opération de déshydratation entraînant l'abaissement de l'activité de l'eau (**A_w**) jusqu'à des valeurs inférieures à 0.5, ce qui permet de réduire considérablement la masse et le volume des produits, ainsi facilite leurs transport, leurs stockage et leurs manutention (**Benazzi et al., 2011**).

Le séchage industriel de denrées alimentaires est pratiqué depuis le début du 19^{ème} siècle. Les premiers dispositifs de séchage furent des séchoirs à rouleaux ou à cylindres de **Just** et **Hatmaker**, breveté en 1902, mais ce n'est que vers 1930 que s'est développé le séchage par pulvérisation encore appelée séchage par atomisation (**Schuck et al., 2012**).

Son objectif est de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, ce qui augmente la durée de vie et de disponibilité des produits. Elle est aussi considérée comme une opération de formulation (élaborer des ingrédients et des additifs pour une seconde transformation : alimentaire intermédiaire) ou de texturation capable de fournir des produits nouveaux faciles à l'emploi. Le séchage permet également l'inactivation des enzymes, ainsi que la restriction du développement de la flore microbienne.

Il est noté que le séchage possède plusieurs inconvénients qui sont regroupés dans : la Perte et altération des vitamines A, B1 et C, insolubilisations des protéines, migration des constituants solubles, formation d'une couche gommeuse imperméable, concentration de la coloration, réaction de Maillard (**Nguyen, 2016**).

L'opération de séchage est diversifiée dans l'industrie alimentaire, elle s'applique dans plusieurs préparations (Les pâtes alimentaires, les charcuteries, le fromage, la conservation des grains et des végétaux) (**Benseddik, 2011**).

I-1 Les phénomènes de séchage

Les interactions entre l'eau et les autres constituants dépendent de la mobilité de l'eau et des solutés, entraînant des réactions, des transformations biochimiques (le brunissement enzymatique, la dénaturation thermique des protéines, Solutés vers la surface, migration de matière grasse, le croutage, les fissures, les déformations).

Ainsi que des transformations physiques ou des variations liées à la perte d'eau et à la

variation de la température dans le temps est observés (Diminution de l'activité de l'eau, transition vitreuse, cristallisation, évaporation de composants volatiles, migration ou rétention des composants volatiles **(Benazzi et al., 2011)**).

I-2 Les méthodes de séchage

Plusieurs méthodes de séchage ont été utilisées pour les différentes denrées alimentaires. Ces méthodes différents selon les caractéristiques des produits à sécher et la source de l'énergie appliquée, mais les plus appliquées sont :

□ Séchage au soleil

Le séchage solaire se fait traditionnellement sur le toit des maisons à l'air libre pendant une durée allant jusqu'à trois semaines, ce qui permet de déshydrater les denrées.

Dans la situation actuelle, les fruits sont séchés au bord des routes ou dans les champs et même le sol. La période de séchage se déroule durant les mois de Juin, Juillet et Aout, car au cours de cette période les données climatiques sont favorables au séchage. En effet, l'ensoleillement est d'environ 350 heures /mois (Juin, Juillet, Aout).

Ces conditions de séchage ne permettant pas la commercialisation de ces produits et limitent leurs qualités. C'est un système de séchage solaire peu couteux et permettant une optimisation de la qualité des fruits secs **(Saifullah et al., 2020)**.

Le séchoir solaire est une construction qui capte les rayons solaires pour sécher les aliments disposés à l'intérieur (figure 1). Il garantit, comme le déshydrater, de sécher toutes les denrées alimentaires : fruits, légumes, herbes, poissons et viandes. Il est souvent construit en bois avec une plaque de verre qui sert à reproduire un effet de serre à l'intérieur du séchoir

Le séchoir solaire est une construction qui capte les rayons solaires pour sécher les aliments disposés à l'intérieur (figure 1). Il garantit, comme le déshydrater, de sécher toutes les denrées alimentaires : fruits, légumes, herbes, poissons et viandes. Il est souvent construit en bois avec une plaque de verre qui sert à reproduire un effet de serre à l'intérieur du séchoir

Malgré que le séchoir solaire du type indirect soit plus difficile à mettre en œuvre et plus couteux il reste toutes fois meilleur par rapport au type direct vu qu'il permet de préserver les vitamines et les éléments nutritifs et de conserver la couleur des aliments, et d'éviter le problème des moisissures retrouvées dans le séchoir solaire du type direct **(Visavale, 2012)**.

N'est au moins les deux méthodes permettent de limiter les pertes dues aux contaminations, de gagner du temps et d'obtenir des produits de meilleure qualité en comparaison avec le séchage solaire traditionnel.

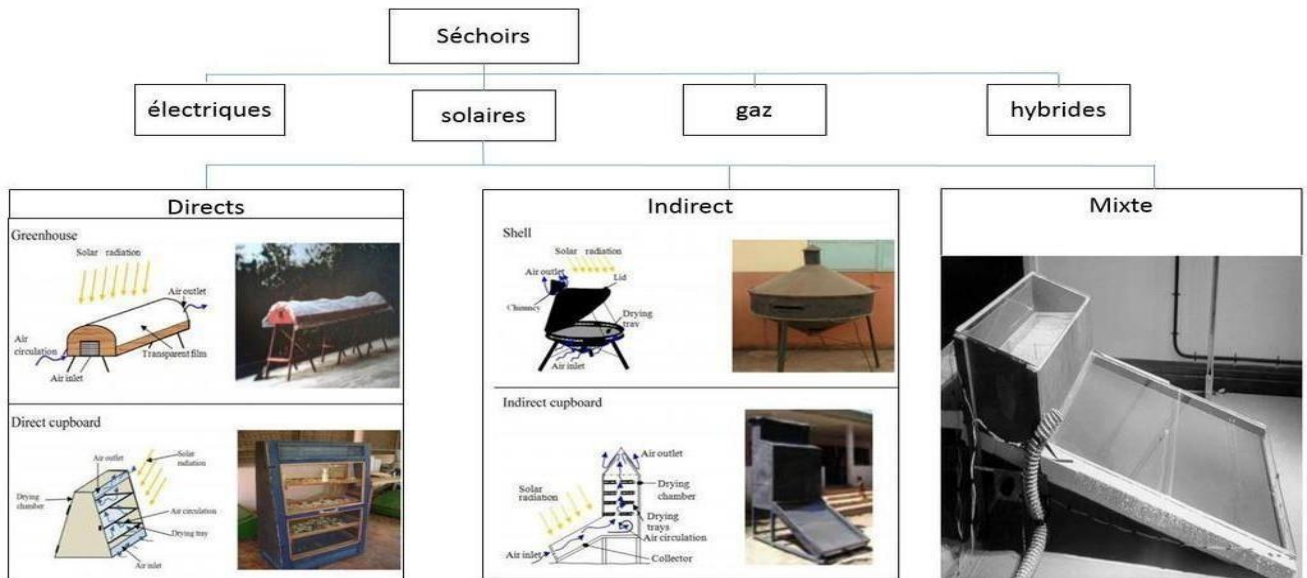


Figure 1: Schéma représentatif des différents types de séchoir solaires. (visavale, 2012)

□ **Séchage à l'étuve**

Le séchage à l'étuve est la façon la plus simple pour sécher les aliments, parce qu'il n'a pas besoin d'équipement spécial. C'est un moyen de déshydratation plus rapide que le séchage au soleil, mais il ne peut être utilisé que sur une petite échelle. Il faut préciser les consignes ; la température de l'étuve, le temps de séjour et la taille de l'échantillon testé, malgré que la taille ne soit pas en général critique.

Le temps de séjour dans l'étuve doit être adapté au rapport surface/volume, la meilleure durée est « jusqu'à poids Constant » pour atteindre la masse sèche voulue, la perte de poids est calculée par la différence de pesée avant et après séchage. L'air présent dans l'étuve peut être augmenté par la vapeur émise par les échantillons séchés en fonction du renouvellement de l'atmosphère interne de l'étuve (Jean et al., 2009).

I-3 Aptitude à la réhydratation

L'aptitude à la réhydratation d'une poudre ou d'un aliment séché dans l'eau est une propriété essentielle pour les industriels utilisateurs d'ingrédients déshydratés en phase liquide. Il est généralement admis que le processus de réhydratation se déroule en différentes étapes qui sont le mouillage, la dispersibilité et la solubilité. La cinétique de réhydratation dépend d'une part de la composition de la poudre (la composition de surface pour le mouillage) et de l'affinité entre ces composants et l'eau et d'autre part, de l'accessibilité de l'eau aux constituants de la poudre (**Schuck et al., 2012**).

II Molécules bioactives et leurs activités biologiques

Les antioxydants naturels peuvent être des composés phénoliques (acides phénoliques, flavonoïdes), des caroténoïdes ou des vitamines (acide ascorbique, tocophérols) apportés par l'alimentation.

II-1 Les polyphénol

Les polyphénols, métabolites secondaires des végétaux qui regroupent approximativement 8.000 composés naturels caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec les glucides. Les composés phénoliques peuvent être regroupés en de nombreuses classes qui se différencient par la complexité et le degré de modifications du squelette de base et par les liaisons de ces molécules avec d'autres molécules (**Stalikas, 2010**).

Pour ce qui est des propriétés biologiques des polyphénols, leurs activités se manifestent par leur grande réactivité en perdant un proton pour donner un radical libre fortement stabilisé inhibant ainsi l'oxydation de façon indirecte en désactivant l'oxygène singulet ($1O_2$) ou en chélatant les métaux. (**Annexe v**) Les multiples polyphénols présents dans les fruits et légumes possèdent plusieurs effets, tel que les effets anti-inflammatoires, antiallergiques, anti-viraux et anti-prolifératifs. Les polyphénols renforcent nos défenses naturelles contre le stress oxydatif et préviennent ainsi de diverses maladies chroniques. La biodisponibilité des polyphénols a un effet sur la capacité antioxydante des tissus. **Djenidi (2020)**

II-2 Les flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent une large gamme de composés phénoliques naturels dont plus de 4000 molécules ont été identifiées. Ils sont abondants et omniprésents dans les plantes,

produits généralement en tant que dérivé glycosylé, les flavonoïdes se répartissent en plusieurs classes de molécules dont les plus importantes sont les flavones, les flavonols, les flavanones, les dihydroflavonols, les isoflavones et les anthocyanes. (**Annexe V**) Les flavonoïdes empêchent l'oxydation des lipoprotéines basses densité et réduisent les thromboses. Ils ont également une activité antimicrobienne (**Castillejo et al. 2022**).

II-3 Les caroténoïdes

Ce sont des pigments liposolubles, de couleur jaune à rouge, synthétisés par les plantes phototrophes, présents dans les chloroplastes et dans certains plastes qui colorent les fleurs, les fruits ou les racines.

Les caroténoïdes appartiennent à la famille des tétra-terpènes (C₄₀), formés de huit unités à cinq atomes de Carbone, liées par le modèle tête-à-queue (**Annexe V**)

Les Caroténoïdes sont généralement de bons capteurs de radicaux hydroxyles (OH*) et peroxydes (RO₂*). Ils sont susceptibles d'inhiber les chaînes de peroxydation lipidique.

Ils protègent contre les radiations solaires par absorption de leurs énergies tout en protégeant la peau des dommages oxydatifs. Ils jouent un rôle préventif contre plusieurs formes du cancer (prostate et sein...), les maladies cardio-vasculaires et l'érythème provoqué par la lumière, et également la maladie d'athéromateuse (**Hernández- Pérez et al., 2020**).

III Généralité sur les légumes étudiées

□ **La tomate** *Lycopersicum esculentum* Mill

La tomate *Lycopersicum esculentum* Mill, de la famille des solanacées, est une plante herbacée annuelle, originaire des Andes et d'Amérique. Il s'agit d'une plante ramifiée pouvant atteindre 5 à 7 mètres de long et se présente sous plusieurs formes (buissonnante, grimpante et palissable) (figure 2). Parmi les plantes maraîchères cultivées dans le monde, elle demeure l'une des plus largement produite en plein champ et dans les jardins (**Ekissi et al., 2022**).



Figure 2: Photographie des fruits de la tomate *Lycopersicum esculentum* Mill

(Ekissi et al.,2021)

□ **Le piment, le poivron** *Capsicum annuum*

Le piment *Capsicum ssp*, appartient à la famille des Solanaceae. Le piment *Capsicum ssp* est une plante très répandue dans les régions tropicales et subtropicales dont les fruits comme tant d'autres épices sont utilisés directement dans l'alimentation humaine ou indirectement après transformation (figure 3). D'après les botanistes, il existe environ cent espèce actuellement regroupent en deux espèces principales: *Capsicum annuum* L. et *Capsicum Frutescens* L., caractérisées par l'existence de nombreuses variétés se distinguant par leurs formes, leurs couleurs et leurs pouvoirs piquants (Jarret et al., 2019).

Trois dénominations sont utilisées en français ; le piment est le plus commun et le plus général, le poivron qui est utilisé pour caractériser des piments doux à très gros fruits, enfin le paprika qui signifie la poudre de piment séché qui pour être doux ou piquant suivant les spécifications. (Thabuis et al., 2003).

Le poivron est le fruit d'une plante du genre *Capsicum*, famille des Solanées. Il convient par conséquent de bien définir tous les termes qui seront employés (piment, poivron, piment doux, poivron doux, paprika...).

Le poivron est un condiment utilisé pour aromatiser les sauces ou autres préparations culinaires. Riche en vitamines, il contient des pigments en grandes quantités et des composés aromatiques. Toutes ces substances peuvent être extraites du fruit frais ou séchés, et conservées long temps sous forme d'oléorésine



Figure 3: Photographie du piment *Capsicum annuum* L
. et du poivron *Capsicum Frutescens* L (Thabuis et al., 2003).

III-1 L'étude économique des légumes

III-1.1 Production mondiale

Selon les statistiques de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, la production mondiale des trois produits : Tomate, poivron et le piment ont été estimée en 2020 à 186821216 (Tonne), 4151205 (Tonne), 36136996 (Tonne) successivement en 2020 (FAO STAT, 2020).

La Méditerranée couvre 31% de la production mondiale de tomates (Giove et al., 2007). Cependant, environ un quart de la production mondiale est produit hors de la méditerranée. La Chine occupe la première position avec près d'un quart de la production mondiale (34%), suivie par l'Inde avec (11%), la Turquie (7%) et les Etats Unis (6%). L'Algerie est classé en 14^{eme} position avec (0.87%) (FAO STAT., 2020).

Concernant la production du piment, la Chine est le plus grand producteur au monde avec (46%), suivie par le Mexique (7.7%), l'Indonésie (7.6%), la Turquie (7.2%). L'Algerie est classée en 8^{eme} position avec (1.9%) (FAO STAT, 2020)

III-1.2 Production Africaine

La production totale en Afrique est de 22228893 (tonne) de tomate, 893523 (tonne) de poivron et 3993433 (tonne) de piment (**FAO STAT, 2020**).

L’Egypte est le premier producteur de tomate en Afrique avec (30%), suivie du Nigeria avec (16%). L’Algerie occupe la 3^{eme} place avec (7%) de production.

L’Egypte est aussi le premier producteur de piment fort et doux en Afrique (26%), suivie du Nigeria avec (19%) et l’Algérie dans la 3^{eme} place avec (17%) de production (**FAO STAT, 2020**) (**Annexe II**).

III-1.3 Production nationale

La production nationale est en augmentation continue avec une production de 13 097 452(qx) de tomate, 3 417 150 (qx) de poivron, 3 093 299(qx) de piment, en 2018, et elle est estimée à 16 356 163(qx) de tomate, 3 898 739(qx) de poivron, 3 277 850 (qx) de piment en 2020.

Selon le **ministère de l’agriculture (2020)** la production de cette année de la tomate est réparti respectivement dans les wilayas de Biskra 4 596 621 (qx), El oued 2 675 000 (qx), Tipaza 1 393 318 (qx), Mostaganem 1 316 375 (qx). Pour ce qui est du poivron Biskra reste la première wilaya productrice avec 1 286 805 (qx), El oued 183 190 (qx), Sétif 183 190 (qx), Ain defla 126 695 (qx). Biskra reste la première productrice de piment au niveau nationale : 1 019 175,00 (qx), suivie par Mostaganem 404 285 (qx), Tipaza 293 586 (qx), Sétif 296 175 (qx) (**Annexe III**).

III-1.4 Production de la wilaya de Bejaia

En 2021, au niveau de Bejaia, la production de la tomate, du poivron et du piment s’élève à environ 99 765,25, 42 655,00 et 42 655,00 quintaux, respectivement (**DSA, 2021**).

Une augmentation significative de la production ainsi que de la superficie de récolte a été notée entre 2018 et 2021 pour les différents légumes étudiés

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

I. Matériel et méthodes

I-1 Matériel végétal

La présente étude est réalisée sur trois légumes largement consommés dans les différentes régions d'Algérie à savoir ; la tomate, le poivron et le piment. Ces légumes ont été procurées au niveau du marché hebdomadaire EDIMCO de la ville de Bejaia.

Ces légumes frais sont représentés par des échantillons prélevés de manière aléatoire, et sont choisies sur la base de critères établis ; fruits sains, et de couleurs uniformes.

Les fruits, sont alors nettoyés à l'eau distillée pour éliminer les salissures et les impuretés. Une fois bien égouttés, ces fruits sont découpés en morceaux homogènes de 1cm d'épaisseur pour la tomate, et d'environ de 1cm de largeur pour le poivron et le piment.

Par la suite, l'échantillon représentatif (morceaux) de chaque fruit est divisé en cinq lots. Un est gardé à l'état frais, les autres subissent un séchage : un lot au soleil et trois autres à l'étuve (Memmert) à différentes températures (50°C, 60°C, 70°C) (figure 4).

Une fois l'opération de séchage est achevée, les échantillons séchés sont alors broyés à l'aide d'un broyeur électrique (Sayona), afin d'obtenir des poudres, qui sont conservées dans des boites en plastique.



Figure 4 : Photographie des différentes opérations effectuées au cours du séchage

I-2 Détermination de l'humidité

La teneur en eau des légumes étudiées est déterminée selon la méthode décrite par AOAC (2005).

Une prise d'essais de 20g des légumes étudiées est séchée au séchoir solaire, à l'étuve ventilée jusqu'à l'obtention d'un poids constants. Le taux d'humidité est calculé par la formule suivante :

$$H (\%) = (1 - (P_0 - P_s) / P_0) * 100$$

D'où :

H% : pourcentage d'humidité.

P₀ : poids initiales des échantillons

P_s : poids sec de l'échantillon après étuvage.

I-3 Cinétique de séchage

Afin de suivre la perte en eau au cours de l'opération de séchage, un suivi de taux d'humidité des échantillons est réalisé chaque 30 minute. Le séchage est arrêté lorsque le taux d'humidité des échantillons est au voisinage de 11 à 15% (Wang Jun et al., 2018).

I-4 Extraction des antioxydants

L'extraction des antioxydants des légumes étudiés est réalisée selon la méthode décrite par Boukhalfa et al. (2018) légèrement modifié, qui consiste à une extraction par macération en utilisant l'éthanol (80%), comme solvant d'extraction.

Une prise d'essai d'environ de 3g d'échantillon, est mise en contact avec 10ml de solvant (éthanol 80%), et l'ensemble est laissé macérer sous agitation pendant 30 min, le mélange est filtré, et le résidu subit d'autre extractions dans les même conditions jusqu'à l'obtention d'une couleur plus au moins transparent.

I-5 Dosage des antioxydants

I-5.1 Dosage des composés phénoliques totaux

La teneur en composés phénoliques totaux des extraits est estimée selon la méthode décrite par **Laib et al. (2022)**, légèrement modifiée.

Un volume de 500µl d'extraits est additionné de 1ml de folin-ciocalteu (dilué 1/10), auquel 2ml de carbonate de sodium (7%) sont ajoutés, après 5 minutes d'agitation. L'ensemble est incubé pendant 30min à température ambiante et l'absorbance est alors mesurée à 750nm.

La concentration en composés phénoliques, exprimée en mg équivalent d'acide gallique (E.A.G.)/100g d'échantillon, est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue dans les mêmes conditions en utilisant l'acide gallique (**Annexe VI**).

I-5.2 Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes totaux des extraits étudiés est évaluée selon la méthode décrite par **Castillejo et al. (2022)**.

Pour 500µl d'extraits sont ajoutées 1.5ml de chlorure d'aluminium (2%). Après 15mn d'incubation à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 430 nm.

La teneur en flavonoïdes, exprimée en mg d'équivalent de Quercitine (E.Q)/100g de légumes, est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions avec de Quercitine (**Annexe VI**).

I-5.3 Dosage des caroténoïdes

La teneur en caroténoïdes totaux des fruits est déterminée selon la méthode décrite par **Zamora et al (2005)**, qui consiste à extraire les caroténoïdes, à l'abri de la lumière, en homogénéisant (10g) de fruits broyés avec 30 ml d'un mélange de solvants (hexane, acétone, méthanol, toluène : 10 : 7 : 6 : 7) pendant 15 mn.

Deux millilitres d'une solution de KOH (1M) sont additionnés au mélange qui sera gardé à l'abri de la lumière pendant 16 h. Ensuite, sont ajoutés respectivement, 30 ml d'hexane et après une minute, 30 ml d'une solution de sulfate de sodium (1%), le mélange est laissé décanter, à l'abri de la lumière, pendant une heure et la phase supérieure qui représente l'extrait caroténoïde est récupéré.

L'absorbance des extraits est mesurée à 450 nm et la concentration en caroténoïdes est estimée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant le β -carotène (**Annexe VI**).

I-6 Déterminer l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des extraits est évaluée selon l'évaluation du pouvoir antiradicalaire en mesurant le pourcentage de neutralisation des radicaux (DPPH \cdot , ABTS $^{+*}$) par les antioxydants présents dans l'extrait.

I-6.1 Neutralisation du radical libre (DPPH \cdot)

Le pouvoir anti-radicalaire, par la neutralisation du radical DPPH \cdot , des extraits est évalué selon la méthode décrite par **Sharif et al. (2016)**.

Pour 500 μ l de l'extrait, 2ml de DPPH \cdot (0,06 mg/ml) sont ajoutées. Après une incubation de 30mn à l'abri de la lumière, l'absorbance des extraits est mesurée à 517 nm.

Le pouvoir antiradicalaire des extraits est exprimé en pourcentage d'inhibition du radical DPPH \cdot :

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(A_o - A_I / A_o)]. 100.$$

A_o : Absorbance du contrôle.

A_I : Absorbance de l'échantillon.

Le pouvoir anti-radicalaire des extraits est comparé à celui de quelques standards (l'acidegallique, BHA, BHT et la quercétine) obtenus dans les mêmes conditions opératoires que les échantillons.

I-6.2 Neutralisation du radical cationique ABTS^{*+}

Le pouvoir anti-radicalaire, par la neutralisation du radical cationique ABTS^{*+}, des extraits est évalué selon la méthode décrite par **Palestrina et al. (2018)**. Une solution aqueuse d'ABTS est préparée à une concentration finale de 7 mM.

Afin d'activer la forme cationique ABTS^{*+}, la solution est additionnée de persulfate de potassium (2,45 mM), et l'ensemble est laissé à l'obscurité et à température ambiante pendant 12-16 heures avant son utilisation.

Afin de mesurer l'activité antioxydante des extraits, la solution ABTS^{*+} est diluée avec de l'éthanol à une absorbance de 0,7 ($\pm 0,02$) à 734 nm.

Un volume de 990 μ l de cette solution fraîchement préparée est ajouté à 10 μ l d'extraits, après incubation 30 minutes à l'abri de la lumière, une lecture est réalisée à 734 nm.

Le pouvoir anti-radicalaire des extraits est exprimé en pourcentage d'inhibition du radical cationique ABTS^{*+} est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(A_0 - A_1) / A_0] \cdot 100.$$

D'où :

A₀ : absorbance du contrôle.

A₁ : absorbance de l'extrait.

I-7 Analyse statistique

Une étude statistique des résultats obtenue a été faite dans le but de la mise en évidence des différences significatives entre les extraits à l'aide du logiciel STATISTICA (comparaison post Hoc, test LCD) pour l'analyse de la variance à un seul critère de classification (ANOVA) dont le degré de signification des données est pris à la probabilité de $P < 0,05$.

Pour mettre en évidence l'influence de séchage, une comparaison est effectuée par la mesure de la distance réelle existant entre les divers modes de séchage, et ceci par l'application d'une analyse multi-variée « **La Classification hiérarchique ascendante** » visant à classer les modes en utilisant les distances euclidiennes. Le logiciel utilisé est Statistica.

Pour mettre en évidence l'influence de séchage, une comparaison est effectuée par la mesure de la distance réelle existant entre les divers modes de séchage, et ceci par l'application d'une analyse multi-variée « **La Classification hiérarchique ascendante** » visant à classer les modes en utilisant les distances euclidiennes. Le logiciel utilisé est Statistica.

Résultats et discussions

II Résultats des analyses

II.1 Cinétique de séchage

Le séchage est l'une des méthodes la plus ancienne, la plus courante et la plus diversifiée des méthodes de traitements. Il s'agit d'un processus complexe impliquant simultanément le transfert de chaleur et de masse nécessitant un contrôle précis du processus (Karam *et al.*, 2016).

Les résultats du suivi de la cinétique de séchage à l'étuve ventilée à différente température (50°C, 60°C, 70°C) et au soleil, exprimée en taux d'humidité des échantillons étudiés (Tomate, Poivron et Piment) sont représentées dans la figure suivante.

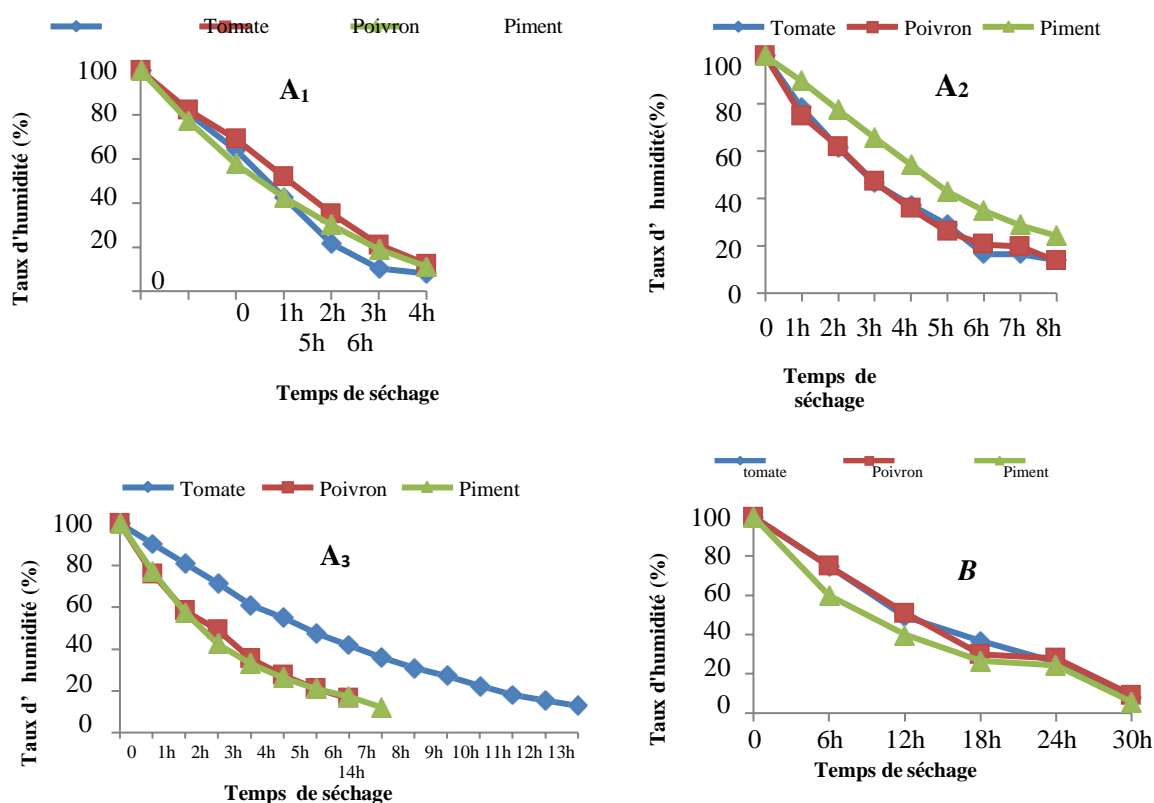


Figure 5: variation de la teneur en eau des légumes étudiés au cours de séchage

A₁: à l'étuve 70°C

A₂: à l'étuve 60°C,

A₃: à l'étuve 50°C

B: au soleil.

L'étude statistique a révélé l'existence d'une différence significative ($p < 0.05$) entre les différents échantillons séchés à l'étuve (50, 60, 70°C) et avec les échantillons séchés au séchoir solaire en comparaison avec les échantillons frais.

Les résultats de l'étude statistique montrent une différence significative ($p < 0.05$) identiques pour les différentes méthodes de séchage concernant les différentes matrices (Tomate, Poivron, Piment).

L'influence de la température sur la cinétique de séchage est importante, une augmentation de la température provoque une diminution de la teneur en eau. Ces échanges sont de moins en moins importants au fur et à mesure que le séchage se fait, car la quantité d'eau que l'on peut retirer du produit est plus faible de ce fait la teneur en eau entre le produit et l'air est de plus en plus faible. Donc les échanges se font plus difficilement (**Lahmari et al. 2012**).

Le processus de séchage modifie toutes les propriétés biologiques et volatiles des produits, et cela grâce au mécanisme de diffusion moléculaire, plusieurs méthodes de transfert d'humidité en phase de séchage sont proposées dans la littérature, cependant le modèle diffusif est le plus adapté et permet à plusieurs matrices de déterminer la diffusion de l'humidité à partir de données expérimentales de séchage (**Djebli et al., 2019**).

Le processus de séchage doit être poursuivi jusqu'à ce que les produits aient atteint l'humidité finale souhaitée, soit une teneur de (10 à 15%) (**Vincenzo et al., 2021**; **Xu-Hai Yang et al., 2018**).

L'étude réalisée par **Kennaoui et al., (2020)** montre que le séchage au soleil des piments a duré 27h, pour réduire la teneur en humidité jusqu'à 9%, ce qui montre des similitudes avec les résultats qu'on a obtenus.

Le rythme des températures à l'intérieur du séchoir solaire est en corrélation avec celui du rayonnement solaire, la vitesse de séchage est parallèle à l'augmentation du temps de séchage et à la diminution de la teneur en humidité, les taux d'humidité au début du séchage sont très élevés puis elle diminue progressivement jusqu'à atteindre une stabilité. La teneur en eau réduite des échantillons à l'étuve reste encore élevée par rapport à celle du séchoir solaire alors qu'on devrait s'attendre au phénomène inverse vu que les températures sont élevées au

niveau de l'étuve, cette situation peut s'expliquer dans un premier temps par la faible aération à l'intérieur de l'étuve par rapport au séchoir solaire car la vitesse de l'air de séchage est également un facteur important dans le processus de séchage d'un produit, l'énergie nécessaire pour l'évaporation de l'eau du produit est apportée par l'air asséchant, l'eau doit être évacuée de l'enceinte de séchage afin d'éviter le processus de reprise d'eau par le produit, d'où l'importance d'une bonne aération du séchoir (Badaoui et al., 2019 ; Kharidioula et al., 2021).

II-2 Dosage de antioxydants

II-2.1 Teneuren polyphenols totaux

Les polyphénols sont des composants très recherchés dans l'alimentation humaine en raison de leurs propriétés bénéfiques notamment leurs activités antioxydants et leurs rôles préventifs dans différentes maladies liées au stress oxydatif, y compris le cancer, maladies cardiovasculaires et maladies neuro dégénératives.

Les résultats du dosage des polyphenols obtenus, exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique (E.A.G) par gramme de matière sèche et cela on se référant à une courbe d'étalonnage (standard acide gallique) réalisée dans la même condition (Annexe IV). Les résultats obtenus pour les échantillons étudiés sont représentés dans la figure suivante.

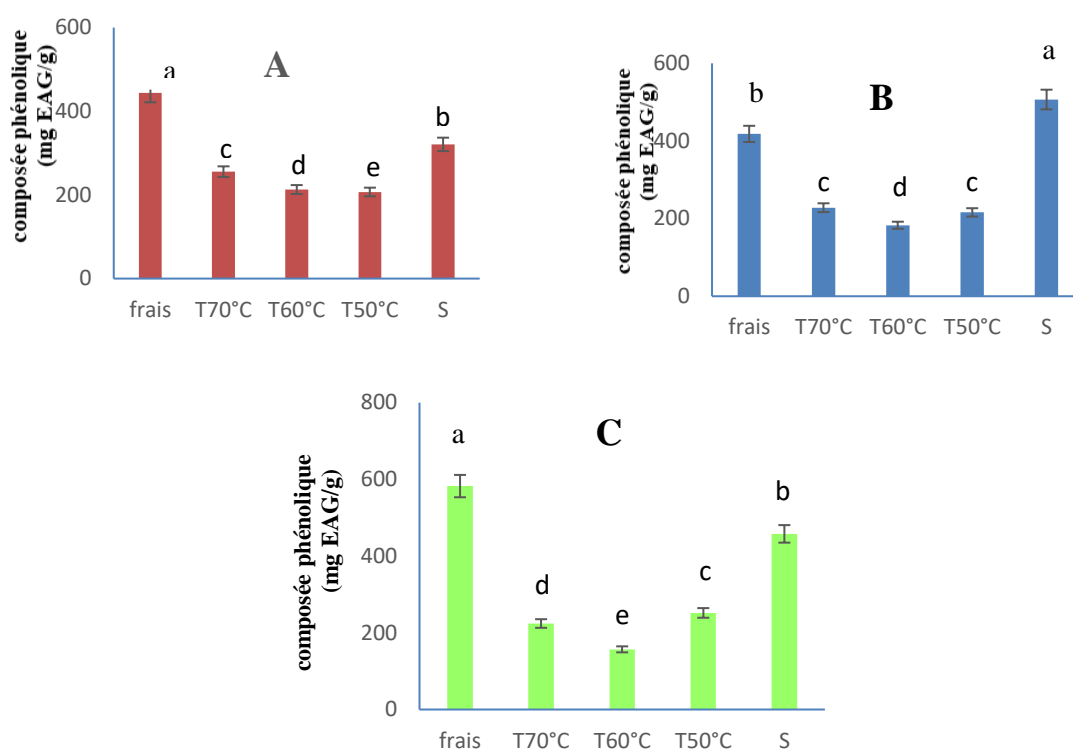


Figure 6 : Teneur en composés phénoliques des échantillons étudiés au cours de séchage.

A : La tomate **B** : Le poivron **C** : Le piment

D'après les résultats de la présente étude, la teneur en composé phénolique des échantillons étudiés varie de 207 à 443,58 mg EAG/g de MS pour la tomate, entre 182,80 et 506,81 mg EAG/g de MS pour le poivron et entre 159,82 jusqu'à 582,48 mg EAG/g pour le piment et cela selon la température et le mode de séchage.

L'étude statistique, montre à partir des résultats obtenus que les échantillons frais sont les plus riches en polyphénols notamment pour (la tomate et le piment et poivron) suivie de ceux séchés au soleil, enfin les échantillons séchés à 70, 60, 50°C ont les valeurs les plus faibles.

Pour la tomate, ce sont les échantillons frais qui ont la teneur en polyphénol la plus élevée suivie des échantillons séchés au soleil, enfin suivent les échantillons séchés à l'étuve (50, 60, 70°C) qui ont les valeurs les plus faibles en polyphénol. Pour le poivron ce sont les échantillons séchés au soleil qui ont les valeurs les plus élevées suivies des échantillons frais, enfin les valeurs les plus faibles reviennent aux températures 70, 60, 50°C. Pour le piment ce sont les échantillons frais qui ont la teneur en polyphénol la plus élevée, suivie du séchage au soleil et les valeurs les plus faibles reviennent aux températures 70, 60, 50°C.

Les résultats de l'étude statistique ne montrent aucune différence significative ($p < 0,05$) entre les différentes matrices (Tomate, Poivron, Piment) séchées à l'étuve et au séchage solaire.

L'étude réalisée par **Djenidi (2020)** montre des taux de 197,40 mg EAG/g pour la tomate et 294,07 mg EAG/g pour le piment ces résultats sont similaires par rapport aux résultats qu'on a obtenus.

D'après **Dabiré et al. (2021)** la teneur en composés phénoliques des échantillons de tomates séchés au soleil est de (1459,64 mg EAG/g de MS). Cette valeur est plus élevée par rapport à celle de la présente étude qui est de (320,81 mg EAG/g de MS).

D'après **Salamatullah et al. (2022)** le taux en composés phénoliques du poivron varie de 15,55 à 19,63 mg EAG/g. Ces valeurs retrouvées sont plus faibles par rapport à ceux de la présente étude. Cette différence peut être attribuée au degré de maturité et également au facteur variétal.

L'augmentation de la température conduit à un séchage court et rapide du produit. La diminution des composés phénoliques dans les produits pourrait être expliquée aussi comme étant la conséquence de la dégradation thermique (**Si tan et al., 2021**).

Selon **Onwude et al. (2022)**, la teneur faible en composés phénoliques résiduelles des produits séchés pourrait résulter de la condensation oxydative ou de la décomposition de composés thermolabiles. Ce qui pourrait expliquer les taux bas obtenus pour nos différentes matrices séchées à l'étuve.

Poste récolte D'après **Al Maiman et al. (2021)** le stockage des tranches de tomates séchées au soleil a entraîné une diminution de la couleur, mais aussi une augmentation de la teneur en polyphénols, caroténoïdes, ainsi que l'activité antioxydante en particulier après stockage entre 90 à 180 jours, de ce fait le prolongement de la durée de conservation jusqu'à 6 mois indique un grand potentiel d'application de l'énergie solaire dans l'industrie alimentaire ce qui pourrait devenir un agent de conservation efficace notamment pour les pays en voie de développement.

II.2.2 Dosage des flavonoïdes

Les résultats du dosage des flavonoïdes obtenus, exprimés en mg d'équivalent de la quercitrine (E.Q) par 100g d'échantillon en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions, pour les différentes matrices (tomate, piment, et le poivron) sont présentés dans la figure suivante.

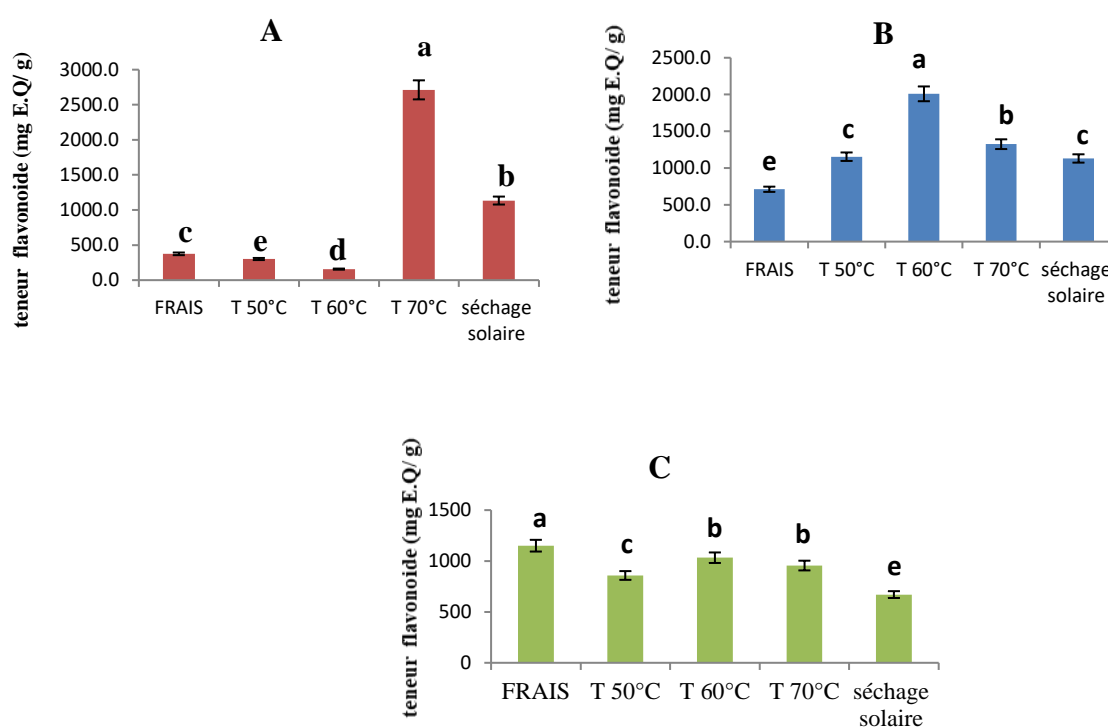


Figure 7 : variation de la teneur en flavonoïde des légumes étudiés

A : La tomate B : Le poivron C : Le piment

Les résultats de la présente étude montrent que la teneur moyenne en flavonoïdes des lots de différentes matrices étudiées (tomate, piment, poivron) varie de 157,2 à 2712,36 mg/100g d'échantillon.

L'étude statistique montre l'existence d'une différence significative ($p < 0,05$) entre les teneurs en flavonoïdes des différents échantillons séchés selon le mode de séchage et la température utilisée.

Les tomates séchées à l'étuve à 70°C sont les plus riches en flavonoïdes avec une teneur de 2712,4 mg/100g. Suivi respectivement par les échantillons séchés au soleil, 50°C et le frais, enfin les échantillons séchés à 60°C ont la teneur la plus faible en flavonoïdes (157.2mg/100g).

Pour le poivron séché à 60°C est le plus riche en flavonoïdes avec une teneur de 2009.5mg/100g, suivi respectivement par le séchage à 70°C, 50°C, et soleil, enfin les échantillons frais sont considérés comme étaient les plus pauvres en flavonoïde avec une teneur de 711.7mg/100g.

Pour le piment, ce sont les échantillons frais qui ont la teneur la plus riche en flavonoïde avec une teneur de 1150,647 mg/100g, suivi respectivement par les variétés séchées à 50, 60 et 70°C. Tandis que le piment séché au soleil est considéré comme le plus pauvre en flavonoïde avec une teneur de 670,34mg/100g.

La quantité des flavonoïdes des extraits de plantes varie d'une plante à l'autre, cela est probablement dû à la localisation géographique, la saison de récolte, les conditions climatiques et environnementales, la maturité de la plante, la durée de conservation, et aussi dépend de la polarité des solvants utilisés dans la préparation des extraits (**Ghedadba et al., 2014 ; Gheffouret al., 2015**).

La concentration des flavonoïdes dans un seul extrait est liée à la solubilité qui dépend du nombre et de la position des groupements hydroxyles libres, du poids moléculaire et de la glycosylation (**Mohammedi et atik, 2011 ; Iloki Assanga et al., 2015**).

II.2.3 Teneur en caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments lipophiles provenant de plantes, Ils sont classés selon leur importance biologique comme : caroténoïdes primaires, directement impliqués dans

la photosynthèse (β -carotène, zéaxanthine, lutéine et autres), et caroténoïdes secondaires non impliqués dans la photosynthèse (lycopène, α -carotène, capsanthine et autres) (**Hernández-Pérez et al., 2020**).

Les résultats sont exprimés en μg d'équivalent de la β -Carotène (E. β -c.)/g de matière sèche en se référant avec une courbe d'étalonnage réalisé grâce a un standard qui est la β -carotène dans les même conditions (**Annexe IV**). Et cela pour les différents échantillons, les résultats sont représentés dans la figure 8.

Les résultats obtenus montrent que la teneur moyenne en caroténoïdes des différents échantillons étudiés varie entre 190,99 à 2093,76 mg E β C /g MS et cela selon la température et la matrice utilisée.

La présente étude montre que la tomate séchée à 60°C est le plus riche en caroténoïde avec un taux de 2093,79mg E β C/g MS suivie de des températures 70,50°C, solaire, enfin c'est le frais qui possède le taux le plus faible en caroténoïdes.

L'étude réalisée montre que le poivron séché au soleil est le plus riches en caroténoïde, suivie de la température 50, 70°C et le frais, enfin c'est les échantillons séchés à 60°C qui a le taux le plusfaible en caroténoïdes.

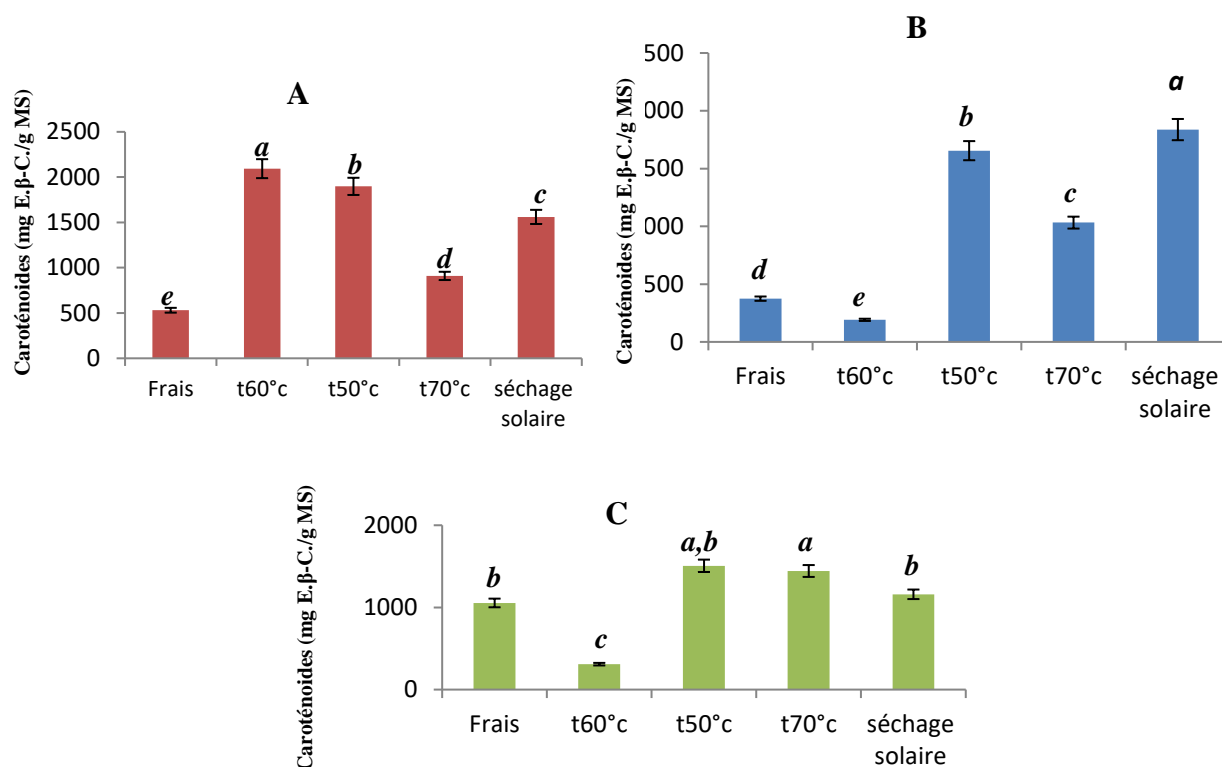


Figure 8 : variation de la teneur en caroténoïdes des légumes étudiés.

A : La tomate **B** : Le poivron **C** : Le piment

La présente étude montre que le piment séché à 60, 50°C sont les plus riches en caroténoïde suivis de ceux séchés au soleil et à 70°C, enfin c'est les échantillons frais qui ont le taux le plus bas en caroténoïde.

L'étude statistique montre l'existence d'une différence significative ($p < 0,05$), entre les teneurs en caroténoïdes, des différentes échantillons (Tomate, Poivron, Piment).

Les résultats obtenus de la présente étude sont plus élevés par rapport à ceux de la bibliographie.

Selon **Özcan et al. (2021)** les teneurs en caroténoïdes des poivrons séchés à l'étuve est 11,35 $\mu\text{g E}\beta\text{C/g MS}$.

Selon l'étude réalisée par **Azeez et al. (2019)** les teneurs en caroténoïdes des tomates séchées à l'étuve varient entre 47,23 jusqu'à 74,02 $\mu\text{g E}\beta\text{C/g}$ pour la T50°C, entre 46,45 jusqu'à 72,12 $\mu\text{g E}\beta\text{C/g}$ pour la T60°C et entre 48,27 jusqu'à 71,18 $\mu\text{g E}\beta\text{C/g}$ pour la T70°C.

Selon **Lahmari et al. (2012)** lorsqu'on passe de 50 °C à 70 °C, la teneur en lycopène diminue, cela peut expliquer les taux bas en caroténoïde obtenu dans les échantillons séché à 70°C en comparaison avec les échantillons de tomate séchée à 50°C.

D'après **Ramandeep et al. (2020)** la température de séchage affecte la teneur en caroténoïde (lycopène) notamment en retrouve des taux élevés en lycopène dans la tomate séché à 60°C, cette augmentation pourrait être due à la destruction des parois et de la membrane cellulaire mais aussi la rupture du complexe lycopène protéine. Ce qui pourra expliquer le tau élevé retrouvé dans nos échantillons de tomate séché à 60°C.

Le séchage naturel a augmenté la concentration totale de caroténoïdes dans les échantillons séchés de 38%, par rapport à la concentration des échantillons frais de poivrons et piments avant séchage, la perte en caroténoïde des échantillons séché à l'étuve est plus élevée de 38% par rapport aux échantillons séchés au soleil qui ont un taux de perte de 9%. (**Clarice et al., 2022 ; Speronza et al., 2019**).

Selon **Popescu et al. (2019)** les conditions de séchage comme la température et le temps, et l'exposition à l'oxygène affectent la couleur, généralement la modification de la couleur du produit est associée à la dégradation du lycopène.

Selon **Adamu et al. (2021)** le séchage et le broyage ont des effets sur la couleur et quele broyage affecte également la rétention en raison de l'accumulation de la chaleur. Ce qui prouve que les résultats qu'on a obtenus peuvent être dus à la réaction de Maillard.

Les facteurs environnementaux, tels que l'augmentation de la température à la surface de la matrice provoquée par la lumière directe du soleil, diminuent la teneur en lycopène, mais aussi que les conditions de récolte (date de récolte dans l'année, ensoleillement, température, qualité du sol, etc.), ainsi que le mode de traitement peuvent affecter grandement la teneur en caroténoïdes. (**Sawadogo et al., 2015**).

Les résultats de l'étude de **Clarice et al. (2022)** sur le piment et poivron séché naturellement ont révélé que le séchage solaire conserve les niveaux les plus élevés en caroténoïdes, ce qui confirme les résultats de notre étude.

D'après les résultats de la présente étude, le séchage solaire est la technique la plus adaptée pour préserver les caroténoïdes.

II-2.4 Résultats de l'activité antioxydante

II-2.4.1 Neutralisation du radical DPPH·

Afin d'estimer l'activité anti-radicalaire des différentes matrices tomate piment et poivron, la méthode basée sur la réduction d'un radical libre stable (DPPH·), est utilisée cette méthode évalue la capacité des antioxydants de piéger les radicaux libres.

Le principe de ce test se résume en la capacité de l'extrait à réduire le radical libre DPPH· de couleur violet foncé, qui se transforme après réduction en couleur moins foncé. Cette coloration est mesurable par spectrophotométrie (**Yaici et al., 2019**).

Les résultats de l'activité anti-radicalaire, exprimés en pourcentage d'inhibition du radical DPPH· pour les matrices étudiées (tomate piment et poivron) sont représentés dans la figure suivante.

Les résultats de la présente étude indiquent que l'activité anti radicalaire des extrais (tomate, piment, poivron) séché est supérieur de ceux frais qui varie de 6,54 à 12,93% en comparaison avec les échantillons séchés qui varie de 8,908 à 72,44%. L'activité anti radicalaire la plus élevée est attribué au des matrices séchés à l'étuve à 70°C suivi respectivement par les matrices séchés au soleil, 60, 50°C. Le frais présente l'activité anti radicalaire la plus faible 6.54%.

Pour le piment, les échantillons frais présente l'activité anti-radicalaire la plus élevée 83,57% suivie respectivement par les échantillons séchés à l'étuve (50, 60, 70°C). Les échantillons séchés au soleil présentent l'activité anti-radicalaire la plus faible estimée à une valeur moyenne de 52,34%.

Pour le poivron séché à étuve 70C° présente une activité anti-radicalaire DPPH* le plus élevé avec pourcentage moyenne de 42,69% suivi respectivement par le séchage soleil,

le frais, et le séchage à 50°C. Le séchage à 60°C présente l'activité anti radicalaire la plus faible 8,51%.

Pour la tomate séchée a étuve à 70°C présent l'activité anti radicalaire DPPH* la plus élevé de l'ordre de 39,11%, suivi respectivement par le séchage au soleil, le frais, et à 60°C. Le séchage à 50°C présente l'activité anti-radicalaire (DPPH*) la plus faible 8,90%.

Les différentes matrices étudiées (tomate, piment, poivron) révèlent unecorrélation significative ($p < 0.05$) entre le pouvoir réducteur et l'activité anti radicalaire.

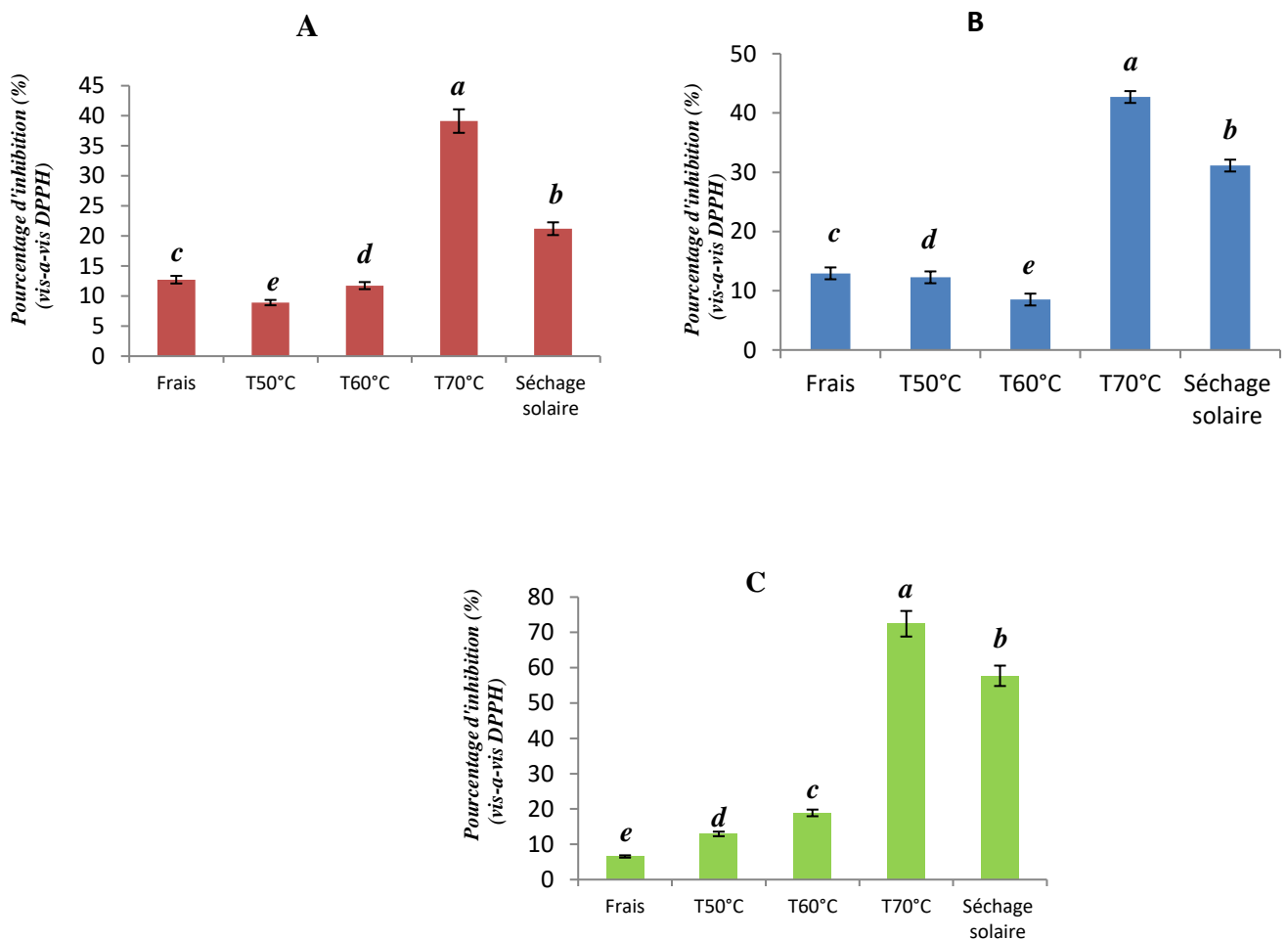


Figure 9 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH des légumes étudiées

A : La tomate

B : Le poivron

C : Le piment

Pour les échantillons séchés à 60°C et 50°C, les activités sont très faibles. La diminution de l'activité antioxydante pour les échantillons qui subissent un traitement thermique est attribuée à la dégradation thermique des composés phénoliques (**Brahmi et al., 2015**).

Le mécanisme de la réaction entre l'antioxydant et le radical DPPH dépend de la conformation structurale de l'antioxydant. Ce dernier réagit avec le radical DPPH \cdot en réduisant un nombre égal aux groupements hydroxyles portés par la molécule de l'antioxydant (**Dallali et al., 2018**).

Ces résultats montrent que les extraits riches en molécules antioxydantes (flavonoïdes), peuvent réduire et décolorer le DPPH.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une corrélation entre la concentration des polyphénols (flavonoïdes) et l'activité antioxydante, ce qui confirme que les flavonoïdes sont des antioxydants puissants capables d'inhiber la formation des radicaux libres et de s'opposer à l'oxydation des macromolécules.

En effet, l'activité antioxydante ne dépend pas seulement de la concentration des polyphénols (flavonoïdes), mais également de la nature et la structure des antioxydants dans l'extrait. Généralement, les polyphénols ayant un nombre élevé des groupements hydroxyles présentent une activité antioxydante très importante (**Fadili et al., 2015**).

II-2.4.2 Neutralisation du radical cationique ABTS⁺*

La méthode décrite donne l'activité antioxydante des échantillons utilisés tomate piment et poivron, déterminé par la décoloration de l'ABTS⁺* lors de son inhibition, en mesurant l'absorbance du cation radicalaire à 734nm.

La décoloration du cation radicalaire ABTS⁺ (2,2'-azino-bis (3-éthylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) sel d'ammonium) implique la production directe du chromophore ABTS⁺ de couleur bleu/vert par une réaction entre l'ABTS⁺* et le persulfate de potassium.

Les résultats du pouvoir anti-radicalaire, exprimés en pourcentage d'inhibition du cation radicalaire ABTS⁺* par les matrices étudiées (tomate piment et poivron), sont représentés dans la figure suivante.

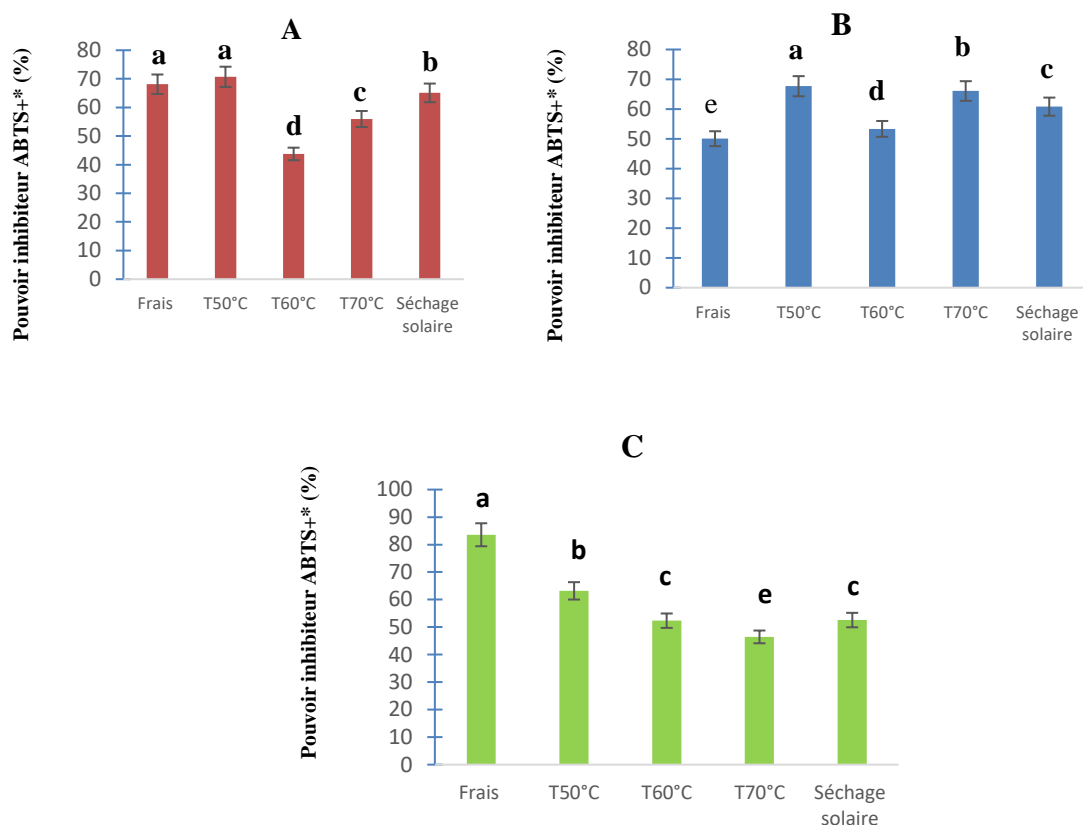


Figure 10 : Pourcentage d'inhibition du radicale ABTS^{++*} des légumes étudiés

A : La tomate

B : Le poivron

C : Le piment

L'activité anti radicalaire des matrices à l'état frais est supérieure à celle des matrices séchées, elle varie de 50,041 à 83,578%.

Pour le piment le frais présente l'activité anti-radicalaire la plus élevée 83,578%, suivi respectivement par le séchage 50°C, soleil, 60°C et 70°C.

Les échantillons tomates séchés à l'étuve à 50°C présentent une activité anti-radicalaire la plus élevée, qui est de 70,71%, suivi respectivement par le frais, séchage soleil, 70°C et 60°C.

Pour le poivron le séchage à 50°C présente une activité anti-radicalaire la plus élevée avec une activité anti-radicalaire de 67,66%, suivi respectivement par le séchage à 70°C, séchage soleil, 60°C, le frais présente l'activité anti radicalaire la plus faible de pourcentage varie de 50,04%.

Bouyahya et al., (2019), en étudiant l'activité antioxydante des huiles essentielles de *lentisucus L*, ont montré que les feuilles de cette plante présentent un pouvoir de piégeage du cation radical ABTS⁺* (113,72±7,91 µg/ml) ainsi que pour ces fruits (73,80±3,96 µg/ml) comparativement à nos résultats.

Ce pouvoir antioxydant est du probablement aux composés phénolique contenus dans les fruits et les feuilles, connus comme substances antioxydantes ayant la capacité de piéger les espèces radicalaires (**Ferradji, 2018**).

L'activité anti radicalaire d'antioxydante naturels tels que les flavonoïdes pourrait être due à leur richesse en groupement d'hydroxyles. Plusieurs études sur les antioxydants de plantes du genre *Salvia* ont attribué leurs activités aux principaux composés phénoliques et les flavonoïdes tels que les diterpènes, l'acide rosmarinique (**Farhat et al., 2015a ; Farhat et al., 2015b ; Kostic et al.,2015**).

II-2.5 Optimisation des températures pour le séchage des légumes étudiées

Les teneurs en composés phénoliques totaux, en flavonoïdes et en caroténoïdes, ainsi que les pourcentages d'inhibition (DPPH* et ABTS+*) sont les critères pris en considération pour la mise au point de l'influence de mode et de la température de séchage sur l'activité antioxydante des trois légumes étudiées. Les résultats obtenus montrent que le mode et la température de séchage à une influence sur le profil anti oxydant et l'activité antioxydante pour les trois légumes étudiés.

Le traitement statistique des observations au moyen du logiciel Statistica, fait ressortir quatre classes (quatre classifications) selon les critères cités dans le paragraphe précédent :

Le traitement thermique à 50°C, 60°C et au soleil à un impact direct sur la teneur en caroténoïde en les fragilisant. Les matrices fraîches et séchées à 50°C possèdent la teneur en polyphenol ainsi que l'activité antiradical ABTS⁺* la plus élevée vue que ces derniers ont tendance à ce stabilisée à 50°C. Les échantillons séchées à 60°C, 70°C ont la teneur la plus élevée en flavonoides, le piment séché à 70°C possède l'activité antiradicalaire DPPH* la plus élevées.

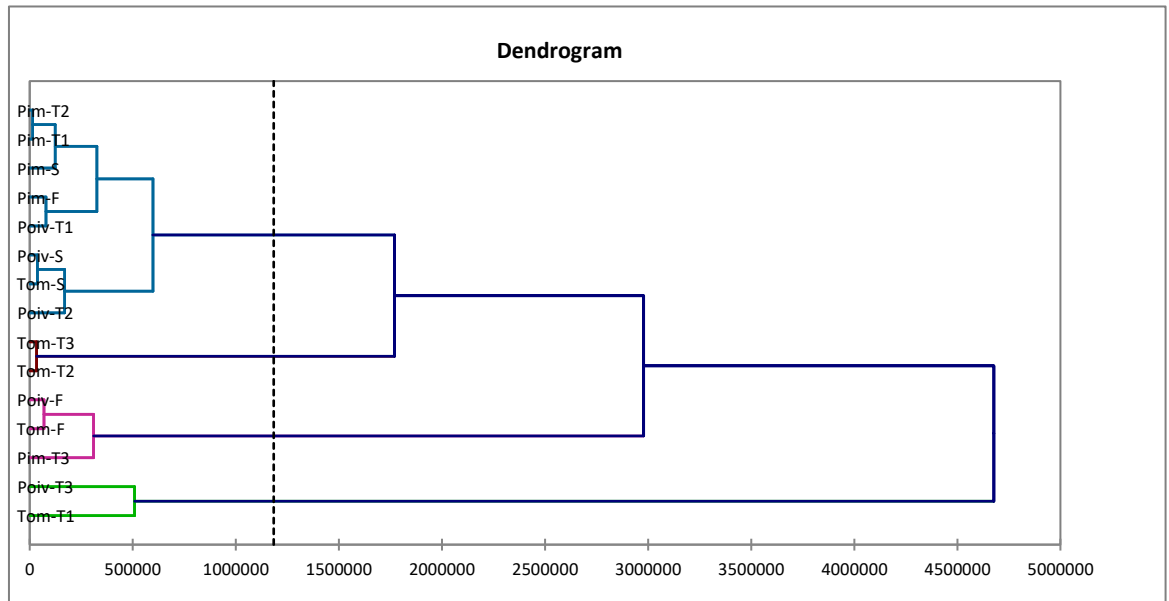


Figure 11 : Dendrogramme des légumes étudiées

Conclusion

Conclusion

Ce présent travail a été focalisé sur l'étude comparative de deux <W> procédés de séchage et son influence sur la composition et l'activité antioxydant incluant trois matrices végétales. Les teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes et en caroténoïdes ainsi que les activités anti-radicalaires, (DPPH*, ABTS*+) ont été évaluées.

Les résultats obtenus de la présente étude montre d'une manière générale que les taux d'extraction des substances bioactives augmentent avec l'augmentation de la température de séchage.

Les résultats obtenus montrent également, que la teneur en composés phénoliques dans les légumes étudiées (Tomate, Poivron, Piment) est plus élevée dans les échantillons séchés au soleil avec une teneur moyenne de 506,75 mg EAG/g de produit.

Pour les caroténoïdes, les valeurs les plus élevés sont enregistrées dans les échantillons séchés à 50°C avec une teneur moyenne d'environ de 1686.57mg, E, β .C/g de produit.

Pour les flavonoïdes, les plus élevées sont retrouvées dans les échantillons séchés à 70°C avec une teneur moyenne de 2712.4 mg E.Q/g.

La mesure de l'activité anti-radicalaire vis-à-vis du DPPH a révélé que l'activité anti radicalaire des légumes étudiés augmente avec l'augmentation de la température de séchage, ainsi que les résultats de l'activité anti radicalaire vis-à-vis le radical cationique ABTS*+ ont révélé également que le séchage n'affecte pas l'activité anti-radicalaire des extraits (Tomate, Poivron, Piment), à l'exception des échantillons séchés à 60°C et à 70°C.

L'étude des corrélations entre les teneurs en antioxydants et les différentes activités Antioxydantes montrent

Les résultats de l'optimisation de la température de séchage des légumes étudiés ont révélé que les légumes frais la valeur nutritionnelle la plus élevée, suivie des lots séché à 70°C et à 50°C, enfin les valeurs les plus faibles reviennent aux lots séchées à 60°C et au soleil.

Ces résultats permettent de conclure que les trois légumes étudiés constituent une bonne source d'antioxydant, le séchage de ces dernières permette de démontrer une augmentation de la teneur en polyphénol, caroténoïde, flavonoïde, ainsi qu'une augmentation de l'activité des radicaux libre DPPH*, ABTS*+.

Conclusion

Afin d'approfondir les résultats obtenus, il serait souhaitable de compléter cette étude par :

- Une étude statistique plus élargie afin de déterminer le meilleur séchage (température) pour chaque matrice ;
- Des températures de séchage plus élevées au de la de 70°C ;
- L'étude de la biodisponibilité des composés phénolique des matrices (tomate, piment, poivron) afin de prévoir leur effet sur la santé humaine ;
- Utiliser des techniques d'analyses plus performantes telles que (HPLC, RMN).
- L'évaluation de l'activité antibactérienne des différents extraits.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

AOAC (2005). Official methods of analysis of AOAC international (16ème ed. 3rd Revision).

AOAC (1997). Official methods of analysis of AOAC international (16ème ed. 3rd Revision).

Al Maiman, S. A., Albadr, N. A., Almusallam, I. A., Al-Saad, M. J., Alsuliam, S., Osman, M. A., & Hassan, A. B. (2021). The Potential of exploiting economical solar dryer in food preservation: Storability, physicochemical properties, and antioxidant capacity of solar-dried tomato (*Solanum lycopersicum*) Fruits. *Foods*, 10 (4), 734.

Azeez, L., Adebisi, S. A., Oyedejib, A. O., Adetoroa, R. O., & Tijani, K. O. (2019). Bioactive compounds' contents, drying kinetics and mathematical modelling of tomato slices influenced by drying temperatures and time. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18 (2), 120-126.

Adamu, H. D., Ariaahu, C. C., & Igbabul, B. D. (2021). Quality characteristics of hot pepper (*Capsicum chinense*) powder in relation to the drying and milling regimes. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal Open acces at <http://www.cigrjournal.org>*, vol 23 (3), 319.

B

Ben Mariem, Sana & Mabrouk, S. B. (2017). Cinétique de séchage et Courbe caractéristique de séchage d'une couche mince de tomate. *18^{ème} Journées Internationales de Thermique*

Boukhalfa, F., Kadri, N., Bouchemel, S., Ait Cheikh, S., Chebout, I., Madani, K., & Chibane, M. (2018). Antioxidant activity and Hypolipidemic effect of *Ficus carica* leaf and twig extracts in Triton WR-1339-induced hyperlipidemic mice. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 11(1), 37-50.

Benazzi, Dumoulin. E (2011) .Quality changer in Food matériels as influenced by drying processes Modern Drying technologie. *Product quality and formulation, volume 3*, 1-20.

Benseddik, A., AZZI, A., BENSABA, H., LALMI, D., & ALLAF, K (2011). Isothermes de Sorption des Figues: champs d'iso-sorption et chaleur isostérique nette de sorption. *Journal of Renewable Energy* 24(1), 75-104.

Références bibliographiques

- Badaoui, O., Hanini, S., Djebli, A., Haddad, B., & Benhamou, A. (2019).** Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse: Evaluation of new drying models. *Renewable energy*, 133, 144-155.
- Bettaieb Rebey, I., Bourgou, S., Aidi Wannas, W., Hamrouni Selami, I., Saidani Tounsi, M., Marzouk, B., & Ksouri, R. (2018).** Comparative assessment of phytochemical profiles and antioxidant properties of Tunisian and Egyptian anise (*Pimpinella anisum* L.) seeds. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 152(5), 971-978.
- Baskar, V., Venkatesh, R., & Ramalingam, S. (2018)** flavonoïdes (antioxydants systèmes) in highes plants and their respoure to stresses. *Antioxidants and enzymes in highes plants. vol 21 (1)*, 253-268.
- Bouyahya, A., Assemim, I. C. C., Mouzout, H., Bonais, I., Et-Toys, A., Fellah, H., & Bakri, Y (2019).** Could volatile compounds from leaves and fruits of pistacia lentiscus constitue à nouvel souce of anti cancer, antioxidants, antiparasitic and antibacterial drugs. *Industrial crops and products*. 128, 62- 69.
- Brahmi F., Hauchard D., Guendouz N., Madani K., Kiendrebeogo M., Kangaju L., Stévigny C., Chibane M. & Duez P., 2015.** Phenolic composition in vitro anti oxydant effects and tytosinaseinhibitory activity of three algerien mentha species. *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotandifolia* (L.) Huds (Lumiaceae). *Industrial crops and products*, Vol 74, 722-730.

C

- Castillejo, N., Martínez-Zamora, L., & Artés-Hernández, F. (2022).** Postharvest UV radiation enhanced biosynthesis of flavonoids and carotenes in bell peppers. *Postharvest Biology and Technology*. Vol 184, 111774.
- Clarice Se, Souza Daood, H. G., Duah, S. A., Vinogradov, S., Palotás, G., Neményi, A., & Pék, Z. (2022).** Stability of carotenoids, carotenoid esters, tocopherols and capsaicinoids in new chili pepper hybrids during natural and thermal drying. *LWT*, 113520.
- Coklar, H., Akbulut, M., Kilinc, S., Yildirim, A., & Alhassan, I. (2018).** Effect of freeze, oven and microwave pretreated oven drying on color, browning index, phenolic compounds and

Références bibliographiques

antioxydant activity of hawthorn (*Crataegus orientalis*) fruit. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46 (2), 449-456.

D

D.S.A. (2021): Direction de services agricoles, section statistique et prévision. Willaya de Bejaia, 2021.

Djebli, A., Hanini, S., Badaoui, O., & Boumahdi, M. (2019). A new approach to the thermodynamics study of drying tomatoes in mixed solar dryer. *Solar Energy*, 193, 164-174.

Dabiré, C., Sémème, A., Sanou, A., Dakéné, V. M., Guissou, W. A., Oboulbiga, E. B., & Dicko, M. H. (2021). Impact of organic or conventional cultivation and drying method on phenolic compounds, carotenoids and vitamin C contents in tomato. *World Journal of Advanced Research and Review*. Vol 10 (1), 360-372.

Daniel. I.Onwudeab, Kamran Iransha, hiac Donato, Rubine ttiad, Seraina Schude, laJörg Schemmingera, Alex Martynenkoe, Thijs De fraeyeeae. (2022). How much do process parameters affect the residual quality attributes of dried fruits and vegetables for convective drying. *Food and Bioproducts Processing*. Vol 131, 176-190

Dallali, S., Selmi, H., & Selmi, H., & Sebei, H. (2018). Comparaison of the chemical composition the antioxydant activity of the leaves of carols (*Ceratonia siliqua* L.) Collected in three sites of djebel zaghouan (Tunisia). *Journal of new sciences. Agriculture and Biotechnology*. Vol 21, 3429-3438.

Djenidi, H. (2020). Activité antioxydante et antiradicalaire des aliments d'origine végétale consommés dans les régions de Biskra et Setif (*Doctoral dissertation*).

E

Ekissi, A. C., KOUAME, K. B., BEUGRE, G. A. M., & Séraphin, K. A. T. I. (2021). Amélioration de la durée de conservation des fruits de tomate F1 (Boomerang) par des techniques traditionnelles de conservation. *Afrique science*, 19 (4), 159-173.

Références bibliographiques

F

F.A.O. (2020). (Food and Agriculture Organization). Data base results; FAO-STAT :

<https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>.

Ferradji, A. (2018) Activité antioxydants et anti inflammatoire des extrais alcoolique et aqueux desfeuilles et des baies de pistacia lentiscus. *Mémoire magister*, 51-55.

Farhat, M.B., Chaouch- Hamada, R., Sotomayor, J.A., Landoulsi, A., & Jourdan, M.J.

2015a : Antioxidant propenties and evaluation of phytochemical composition of salvia verbenaca L. Extrads at different developmental Aiges plant foods for human nutrition. *Plant foods for human nutrition Vol 70 (1), 15-2.*

Farhat M.B., Jordan, M.J., Chaouch – Hamada, R., Landoulsi, A., & sotomayor, J.A.2015

b : Changes in phenolic profiling and antioxidant capacity of salvia aegyptiaca L.by- products during three phenological stages. *LWT- Food sciance and technology, Vol 63 (1), 791-797.*

Fadili, K, Amalich, S., El Hilali, F., & Zair, T.(2015) Teneur en polyphenols et évaluation de

l'activité antioxydante des extrais de deux espèces du haut Atlas du Maroc Rosmarinus officinals et Thymus Stimeiodes (Polyphénols coutent and antioxidant activity of two speciesfrom Moroccun High Atlas, Rosmadinus officinalis and Thymus Satureioides.

International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol 17 (1), 24-33.

G

Goetz, P., & Le Jeune, R. (2012). Capsicum annum et Capsicum frutescens Piment.

Phytothérapie, Vol 10(2), 126-130.

Ghedadba, N., Hambaba, L., Ayachi, A., Aberkane, M.C., Bousselsela, H. et Oued-

Mokhtar, S.M (2015). Polyphénols totaux, activités antioxydante et antimicrobiene des extraits des feuilles de Marrubium desert de Noé. *Phytothérapie 13, 118-129.*

Gheffour, K., Boucherit, K., and Boucherit, K., and Boucherit, Otmani, Z. (2015). Etude

phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante des extrait echinops Spinosus.

Phytothérapie. Phytochemical study and evaluation of the antioxidant activity of extracts of Echinops spinosus. Vol 3(5), 288-294.

Références bibliographiques

Gábor Palotás András Neményia Lajos Helyesa, Zoltán Pék. (2022). Stabilité of carotenoids, carotenoid esters, tocopherols and capsaicinoids in new chili pepper hybrids during natural and thermal drying. *Le bensmittel-Wissenschaft Technologie. Vol163, 113520*

H

Hamchaoui Bahidjeddine., (2021) The valorisation of local products a mode of collective action: the labelization of the dry fig of Beni Maouche –Algeria. (*cahier de Mecas*).

Hernández-Pérez, T., Gómez-García, M. D. R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2020). Capsicum annuum (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Vol 19(6), 2972-2993.*

I

Iloki-Assanga, S. B., Lewis-Luján, L. M., Lara-Espinoza, C. L., Gil-Salido, A. A., Fernandez-Angulo, D., Rubio-Pino, J. L., & Haines, D. D. (2015). Solvent effects on phytochemical constituent profiles and antioxidant activities, using four different extraction formulations for analysis of *Bucida buceras* L. and *Phoradendron californicum*. *BMC research notes, Vol 8 (1), 1-14.*

J

Jean, T., V., Panddey, R, Vyas, A., Shukla, S. (2009). Microwave assisted extraction for phytoconstituents-an overview. *Asian jornal of Research in chemistry, Vol 2 (1) 19-25.*

Jarret, R. L., Barboza, G. E., da Costa Batista, F. R., Berke, T., Chou, Y. Y., Hulse-Kemp, A., ... & Szoke, A. (2019). Capsicum—an abbreviated compendium. *Journal of the American Society for Horticultural Science, Vol 144(1), 3-22.*

Janjai, S., Bala, B.K. (2012). Solar Drying Technologie. *Food Enginering. Vol 4, 16-5*

K

Karam, M. C., Petit, J., Zimmer, D., Djantou, E. B., & Scher, J. (2016). Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. *Journal of Food Engineering, Vol 188, 32-49.*

Références bibliographiques

Karidioula, D., Akmel, D. C., Assidjo, N. E., & Trokourey, A. (2018). Modélisation du séchage solaire de fèves de cacao par le Réseau de Neurones Artificiel. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, Vol 12 (1), 195-202.*

Kostic, M., Zlatković, B., Miladinović, B., Zivanović, S., Mihjilov- kistev, T., Pavlović, D., & Kitić, D. 2015 : Rosmarinic acid levels, phénolic contents, antioxidant and antimicrobial activités of the extractes from salvia verbenaca L. *Obtained with Different solvents and procedures. Journal of Food biochemistry, Vol 39 (2), 199-208.*

Kennaou, E., Kumari, A., Singh, M., Hossain, S. A., Das, A., Wasnik, P. K., & Bharti, B. K. (2020). Effect of drying on physicochemical characteristics of Bhut Jolokia (chilli pepper). *Journal of Food Processing and Technology, Vol 11 (823), 1-8.*

L

LAIB, I., KARIT, H., BOUZERDOUNA, R., KETTOUCHE, F., & BARKAT, M (2022). Effet de digestion gastro-intestinale in vitro sur les composés phénoliques et l'activité antioxydante d'ail triquètre *Allium triquetrum* L. *Journal of Applied Biosciences, Vol 171, 17821-17837.*

Lahmari. N D. Fahloul et I. Azani. (2012). Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra). *Laboratoire Sciences des Aliments, Département de Technologie Alimentaire, Université Hadj Lakhdar.*

M

Mathavi, V., Sujatha, G., Bhavani, R., Karthika, S., DevI, B. (2013). New trends in food processing. *International Journal of Advances in Engineering & Technology. Vol 5(2), pp. 176-187.*

Mecha Petera, Ziwe iLiua, Yali, Fanga, Xianglin, Doua, Emmanuel, Awuaha, Shakeel A.Soomrob, Kunjie Chena. (2021). Computational intelligence and mathematical modelling in chanterelle mushrooms' drying process under heat pump dryer. *Biosystems Engineering*

Özcan, M. M., Uslu, N., Efe, N. S., Erdem, A. N., Değerli, Z., Kulluk, D. A., & Can Sağlık, N. (2021). Effect of thermal processing on the bioactive compounds and color parameters of types of three sweet pepper. *Journal of Food Processing and Preservation, Vol 45 (7), 15661.*

Références bibliographiques

Mohammedi, Z. et Atik, F. (2011). Impact of solvent extraction type on total polyphenols content and biological activity from *Tanarix aphylla* (L) Karst. *International Journal of phama and Bio sciences*, Vol 2 (1). 609-615.

N

Nguyen, V. T., Pham, N. M. Q., Vuong, Q. V., Bowyer, M. C., van Altena, I. A., & Scarlett, C. J. (2016). Phytochemical retention and antioxidant capacity of xao tam phan (*Paramignya trimera*) root as prepared by different drying methods. *Drying technology*, Vol 34 (3), 324-334.

O

Onwude, D. I., Iranshahi, K., Rubinetti, D., Schudel, S., Schemminger, J., Martynenko, A., & Defraeye, T. (2022). How much do process parameters affect the residual quality attributes of dried fruits and vegetables for convective drying. *Food and Bioproducts Processing*, Vol 131, 176-190.

Ochida, C. O., Itodo, A. U., & Nwanganga, P. A. (2019). A review on postharvest storage, processing and preservation of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Asian Food Science Journal*, Vol 6 (2), 1-10.

P

Palestina- López C. U., Aguirre-Mancilla, C. L., Raya-Pérez, J. C., Ramírez-Pimentel, J. G., Gutiérrez-Tlahque, J., & Hernández-Fuentes, A. D. (2018). The effect of an edible coating with tomato oily extract on the physicochemical and antioxidant properties of garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) fruits. *Agronomy*, Vol 8 (11), 248.

Popescu Mihaela, Petrica IANCU, Valentin PLEȘU, Maria Cristina TODAȘCĂ, Costin Sorin BÎLDEA. (2019). effect of different drying processes on lycopene recovery from tomato peels of crystal variety. *U.P.B. Sci. Bull., Series B*, Vol 81 (4).

T

Thabuis, A., Palloix, A., Pflieger, S., Daubèze, A. M., Caranta, C., & Lefebvre, V. (2003). Comparative mapping of *Phytophthora* resistance loci in pepper germplasm: évidence for

Références bibliographiques

conserved resistance loci across Solanaceae and for a large genetic diversity. *Theoretical and Applied Genetics*, Vol 106 (8), 1473-1485.

Talla, A., Jannot, Y., Kapseu, C., & Nganhou, J. (2001). Etude expérimentale et modélisation de la cinétique de séchage de fruits tropicaux. Application à la banane et à la mangue. *Sciences des aliments*, Vol 21 (5), 499-518.

R

Ramandeep Kaur, Kamaljit Kaur, Preeti Ahluwalia. (2020). Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. *Food Science and Technology*, vol 117.

S

Schuck, P., Dolivet, A., & Jeantet, R. (2012). Les poudres laitières et alimentaires. Techniques d'analyse. *Tec&Doc Lavoisier, Paris, France*, Vol 28.

Sharif, M., & Bennet, M. (2016). The effect of different methods and solvents on the extraction of polyphenols in ginger (*Zingiber officinale*). *Jurnal Teknologi*, Vol 78 (11-2), 49-54.

Seddik Khennouf, Smain Amira, Lekhmici Arrar and Abderahmane Baghiani.(2010). Effect of Some Phenolic Compounds and Quercus Tannins on Lipid Peroxidation. *Laboratory*

Saifullah, M., McCullum, R., McCluskey, A., & Vuong, Q. (2020). Comparison of conventional extraction technique with ultrasound assisted extraction on recovery of phenolic compounds from lemon scented tea tree (*Leptospermum petersonii*) leaves. *Department of Biology, Faculty of Science, University Ferhat Abbas, Setif*, Vol 6 (4).

Salamatullah Mohammad, A., Hayat, K., Mabood Husain, F., Asif Ahmed, M., Arzoo, S., Musaad Althbiti, M., ... & Bourhia, M. (2022). Effects of different solvents extractions on total polyphenol content, HPLC analysis, antioxidant capacity, and antimicrobial properties of peppers (red, yellow, and green (*Capsicum annum L.*)). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. (7372101).

Références bibliographiques

Si Tana, Zun liKeb, Dan Chaic, Yiwen Miaoa, Kui Luoa, Wenfeng Lia. (2021). Lycopene, polyphenols and antioxidant activities of three characteristic tomato cultivars subjected to two drying methods. *Food Chemistry*, Vol 338, 128062

Speranzab Giovanna, Gabriele, Campanellic Ulla, Kidmosed Roberto, Lo Scalzoa. (2019). Impact of drying techniques, seasonal variation and organic growing on flavor compounds profiles in two Italian tomato varieties. *Food Chemistry*, Vol 298, 125062

Speranza, G., Lo Scalzo, R., Morelli, C. F., Rabuffetti, M., & Bianchi, G. (2019). Influence of drying techniques and growing location on the chemical composition of sweet pepper (*Capsicum annum* L., var. Senise). *Journal of food biochemistry*, Vol 43 (11), 13031.

Seleem D., Pardi V., Murata R.M. (2017). Review of flavonoides : A diverse group of natural compounds with anti-candida albicans activity in vitro. *Archives of Oral Biology*, 76-83.

Shang, H, M, Zhou, H-Z, -Y. Yang, R. Li, H. Sang, and H, X J. P. O. W, In vitro and in vivo antioxidant activities of inulin. *Institute of Urban Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences vol 13 (2),20152*

Sawadogo, I., Koala, M., Dabire, C., Ouattara, L. P., Bazie, V. B. E. J. T., Hema, A., ... & Nebie, R. H. (2015). Etude de l'influence des modes de transformation sur les teneurs en lycopène de quatre variétés de tomates de la région du nord du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol 9 (1), 362-370.

T

Taoussaint A et Baudoin J-P. (2010). Biodiversité chez la tomate, stratégie de conservation et valorisation de la collection <<Luc Fichot*>>. *Gembloux agro bio tech*, Vol 102.

Talla Hernández-Pérez, María del Rocío Gómez-García, María Elena Valverde, Octavio Paredes-López. (2020). *Capsicum annum* (hot pepper): An ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. *comprehensive reviews in food science and food safety*, Vol 9,(6), 2972,2993.

V

Visavale, G. L. (2012). Principles, classification and selection of solar dryers. Solar drying: *Fundamentals, Applications and Innovations*, 1-50.

:

Références bibliographiques

Vincenzo Alfeo, Diego Planeta, Salvatore Velotto, Rosa Palmeri and Aldo Todaro. (2021). Cherry Tomato Drying: Sun versus Convective Oven. Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentarie. *Sun versus Convective Oven, Vol 13, 90128*

W

Wang, J., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Fang, X. M., Zhang, Q., Zheng, Z. A., ... & Xiao, H. W. (2018). Effects of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) pretreatment on the change of antioxidant capacity, the degradation kinetics of red pigment, ascorbic acid in dehydrated red peppers during storage. *Food Chemistry, Vol 259, 65-72.*

X

Xu-Hai Yang a, Li-Zhen Deng b, Arun S. Mujumdar c, Hong-Wei Xiao b, Qian Zhang a, Za Kan. Evolution and modeling of colour changes of red pepper (*Capsicum annuum* L.) during hot air drying. Department of Chemical & Biochemical Engineering, Western University, London, Ontario, Canada. *Journal of Food Engineering, Vol 231, 101-108.*

Y

Yaici, K., Dahamna, S., Moualek, I., Belhadj, H., & Houali, K. (2019). Evaluation de la teneur des composés phénolique, des propriétés antioxydants et antimicrobiennes de l'espèce *Erica arborea* L. (Ericaceae) dans la médecine traditionnelle du tel sétifien dans ESA Algerien. *Biomolecules and biological activities*

Z

Zamora G-S, Elhadi M-Y, Jeffrey K-B et Gardea A. (2005). Effects of postharvest hot airtreatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. *Food Science and Technology LWT, Vol 38, 657–663.*

Annexes

**Annexe I: Classement mondiale de la production de la Tomate,
Poivron, Piment (FAO, 2020)**

Tableau : Production Mondiale de la tomate

Position	Pays	Production (T)	Production (%)
1	Chine	64768158	34
2	Inde	20753000	11
3	Turquie	13204015	7
4	Etat unis	12227420	6
5	Italie	6247910	3
6	Iran	5787094	3
7	Espagne	4312900	2
8	Mexique	4137342	2,2
9	Brésil	3753595	2
10	Nigeria	3693722	1,9
11	Russie	2975588	1,5
12	Ukraine	2250300	1,2
13	Ouzbékistan	1928508	1,03
14	Algerie	1635616	0,85

Tableau : Production Mondiale du piment

Position	Pays	Production (T)	Production (%)
1	Chine	16650855	46
2	Mexique	2818443	7,7
3	Indonésie	2772594	7,6
4	Turquie	2636905	7,2
5	Espagne	1472850	4,07
6	Egypte	1055605	2,9
7	Nigeria	762174	2,1
8	Algerie	717659	1,9

**Annexe II: Classement Africain de la production de la
Tomate, Poivron, Piment (FAO, 2020)**

Tableau : Production Africaine de tomate

Position	Pays	Production (T)	Production (%)
1	Egypte	6731220	30
2	Nigeria	3693722	16
3	Algerie	1635616	7

Tableau : Production Africaine de piment

Position	Pays	Production (T)	Production (%)
1	Egypte	1055605	26
2	Nigeria	762174	19
3	Algerie	717659	17

Annexe III: Production nationale de la tomate, piment et Poivron (Ministère de l'agriculture et développement rurale)

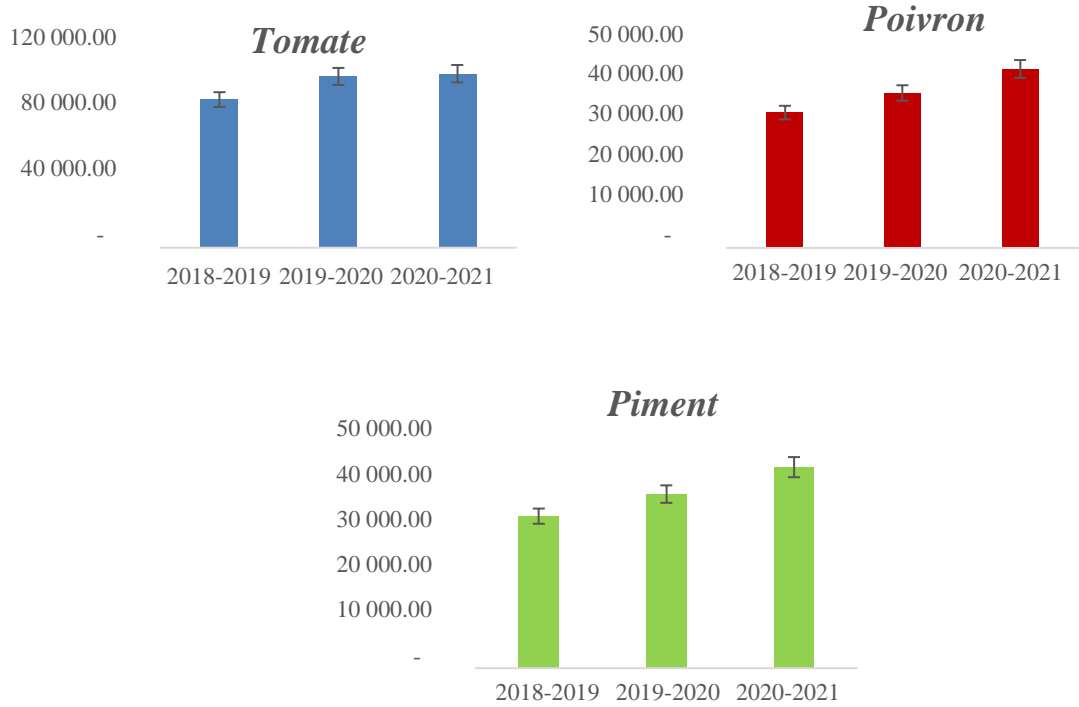
2020

WILAYA	TOMATE	PIMENTS	POIVRONS
1 ADRAR	191 374	15 827	4 348
2 CHLEF	402 150	4 903	23 640
3 LAGHOUAT	66 000	115 080	99 300
4 O.E.BOUAGHI	63 000	42 150	43 750
5 BATNA	69 879	94 032	32 070
6 BEJAIA	98 165	36 936	30 399
7 BISKRA	4 596 621	1 286 805	1 019 175,00
8 BECHAR	48 840	8 408	8 397
9 BLIDA	51 625	23 343	124 477
10 BOUIRA	68 828	8 840	9 480
11 TAMANRASSET	96 670	5 296	4 994
12 TEBESSA	31 600	9 183	6 768
13 TLEMCEN	924 000	27 000	187 500
14 TIARET	74 000	6 250	9 800
15 TIZI-OUZOU	51 916	24 559	15 893
16 ALGER	503 225	132 605	161 925
17 DJELFA	33 630	9 390	21 010
18 JIJEL	370 552	120 506	197 672
19 SETIF	213 370	171 025	296 175
20 SAIDA	177 910	52 470	0
21 SKIKDA	126 310	21 900	65 440
22 S.B.ABBES	182 175	14 250	27 861
23 ANNABA	0	55 380	20 155
24 GUELMA	71 940	19 600	10 270
25 CONSTANTINE	7 180	6 544	5 573
26 MEDEA	149 950	9 271	30 155
27 MOSTAGANEM	1 316 375	115 250	404 285
28 M'SILA	87 750	122 450	54 800
29 MASCARA	92 500	5 250	149 100
30 OUARGLA	59 223	32 794	3 942
31 ORAN	97 676	2 263	15 544
32 EL-BAYADH	48 480	4 787	8 090
33 ILLIZI	2 032	424	81
34 B.B.ARRERIDJ	28 400	7 808	4 203
35 BOUMERDES	209 087	55 754	64 397
36 EL-TARF	0	37 935	28 035

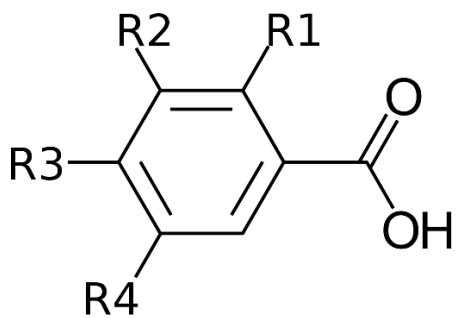
Annexes

37 TINDOUF	3 060	500	425
38 TISSEMSILT	28 515	2 787	1 608
39 EL-OUED	2 675 000	183 190	42 900
40 KHENCHELA	145 311	76 797	60 306
41 SOUK-AHRAS	19 280	4 738	3 475
42 TIPAZA	1 393 318	125 596	293 586
43 MILA	64 728	29 447	35 538
44 AIN-DEFLA	649 224	126 695	159 140
45 NAAMA	16 866	5 580	9 844
46 A.TEMOUCHENT	633 768	1 900	77 554
47 GHARDAIA	5 222	10 000	13 600
48 RELIZANE	109 440	4 355	12 060
TOTAL ALGERIE	16 356 163	3 277 850	3 898 739

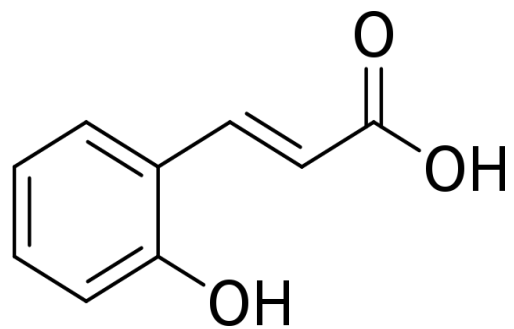
Annexe IV : Production de la tomate, piment et Poivron de la willaya de Bejaia (DSA, 2021)



Annexe V : La structure de quelles molécules bioactive

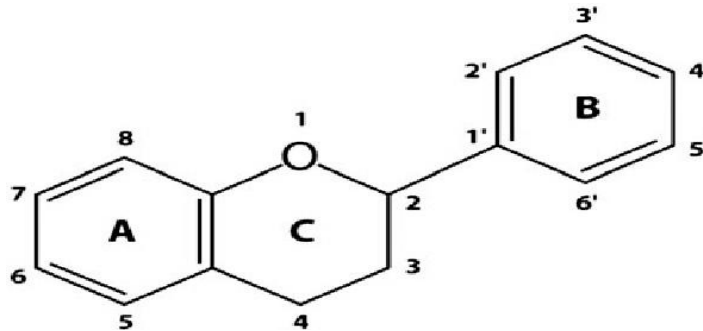


(I)

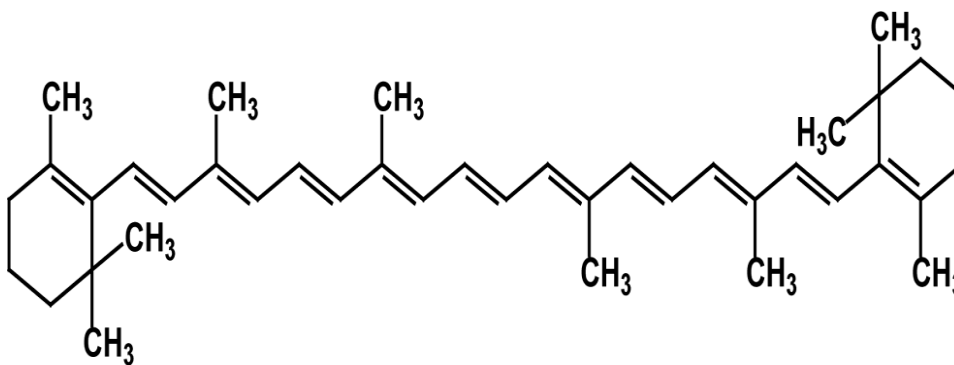


(II)

1. Structures de **Hydroxy benzoïque (I)** et de **hydroxy cinnamiques (II)**. R1, R2, R3, et R4 représente des atomes et groupement chimiques suivants : H, OH, OCH₃, (**Chira et al., 2008**).

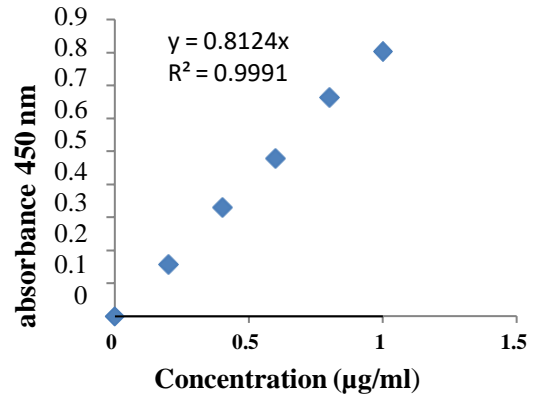
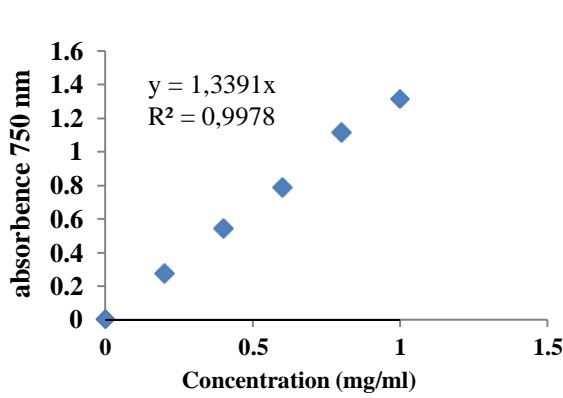


2. Structure de base des flavonoïdes (**Habermehl et al., 2002**).



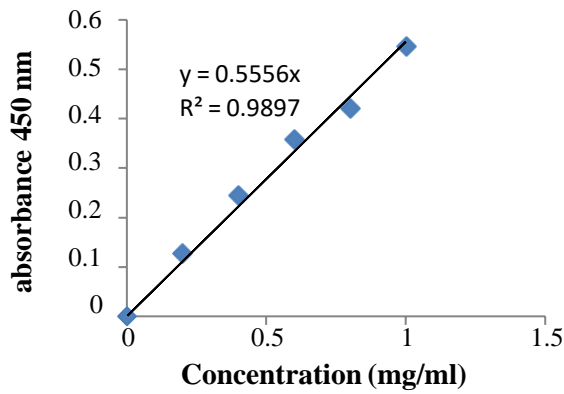
3. Structure de la B- carotène (**ZHANG Di et al., 2018**)

Annexe VI : les courbes d'étalonnage

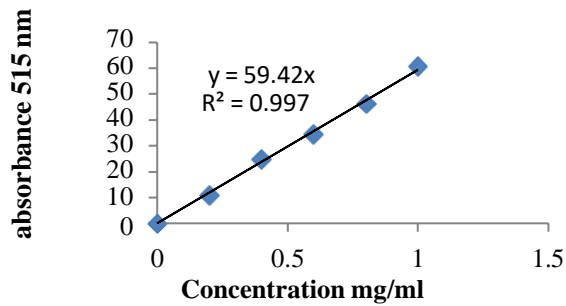


La courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

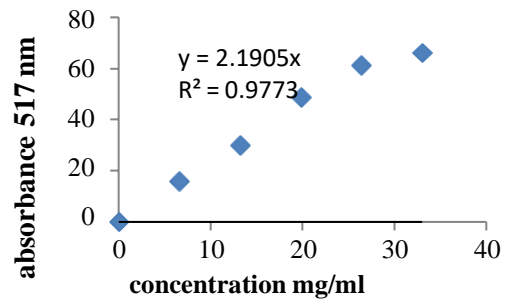
La courbe d'étalonnage de la β-carotène.



La courbe d'étalonnage de l'acide gallique (FeCl₃)

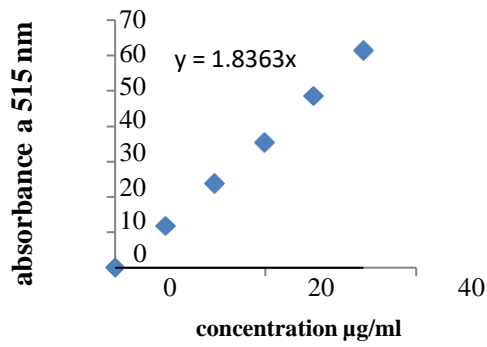


La courbe d'étalonnage de l'acide gallique (DPPH*)

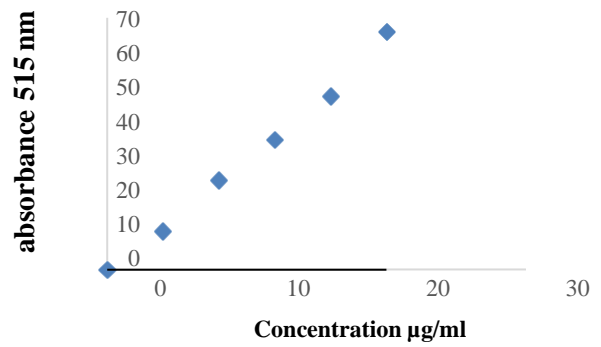


La courbe d'étalonnage du BHA (DPPH*)

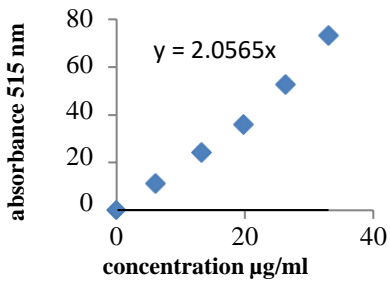
Annexes



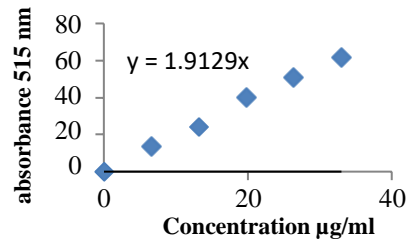
La courbe d'étalonnage du BHT (DPPH*)



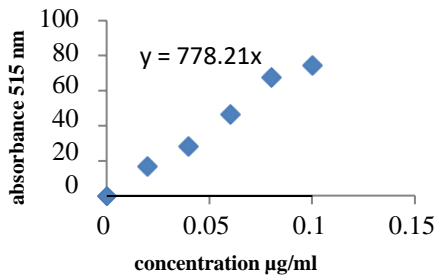
La courbe d'étalonnage de la Quercitine (DPPH*)



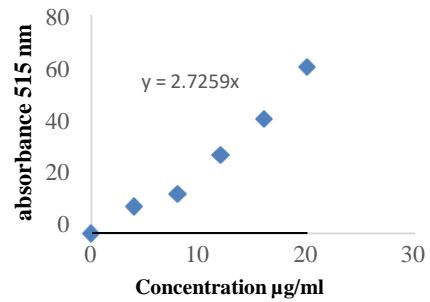
La courbe d'étalonnage de la Quercitine (Abts*)



La courbe d'étalonnage du BHA (Abts*)



La courbe d'étalonnage de l'acide gallique (Abts*)



La courbe d'étalonnage du BHT (Abts*)

Annexe VIII : Matériels et réactifs utilisés

Matériel utilisé	Réactifs Utilisés
Balance analytique RAS WAR PS 210/C/ ?	Acétone (Biochem)
Balance de précision (OHAUS)	Ethanol (Prolabe)
Broyeur électrique (Sayona)	Hexane (SIGMA)
Etuve ventilé de type Mamert.	Méthanol purs (Biochem)
Plaque magnétique.	AlCl ₃
Spectrophotomètre RAY LEIGH.	Carbonate de sodium
	DPPH (sigma).
	Eau distillée.
	KOH
	Réactif de Folin-Ciocalteu (2N) (Sigma).
	Standards polyphénol (Sigma) : Acide gallique, quercétine, et la B-carotène, BHA, BHT.
	ABTS.

Résumé

Deux méthodes de séchage ont été utilisées dans la présente étude afin de comparer l'effet du mode et de la température de séchage sur trois légumes largement consommés en Algérie (tomate, piment, poivron). La cinétique de séchage a été réalisée en suivant l'évolution de taux d'humidité en fonction du temps. Une étude comparative de la composition en substances bioactives et des activités antioxydantes des différents lots (frais et séchés) des légumes étudiés a été étudiée. D'après l'étude de la cinétique de séchage, il a été constaté que le temps de séchage par l'étuve est plus court par rapport au séchage solaire. Les résultats de dosage des différents composés montrent que le taux en composés phénoliques totaux le plus élevée a été obtenue dans les lots séchés au soleil (506.75mg EAG / g). Par contre, les taux les plus élevés de caroténoïdes et de flavonoïdes ont été retrouvés dans les lots séchés à l'étuve. Les activités antiradicalaire les plus élevés ont été obtenus dans les échantillons séchés à l'étuve. Ces résultats préliminaires montrent que le séchage par étuve est la méthode la plus adéquate pour le séchage des légumes étudiée.

Mots-clés : cinétique de séchage, étuve ventilée, piment, poivron, séchoir solaire, Tomate.

Abstract

Two drying methods were used in this study to compare the effect of drying mode and temperature on three vegetables widely consumed in Algeria (tomato, pepper, capsicum). The drying kinetics was carried out by following the evolution of the humidity rate as a function of time. A comparative study of the composition in bioactive compounds and the antioxidant activities of the different batches (fresh and dried) of the vegetables studied was studied. According to the study of the kinetics of drying, it was found that the drying time by the oven is shorter compared to solar drying. The assay results for the various compounds show that the highest total phenolic compound content was obtained in the sun-dried batches (506.75mg GAE/g). On the other hand, the highest levels of carotenoids and flavonoids were found in the oven-dried batches. The highest scavenging activities were obtained in the oven-dried samples. These preliminary results show that oven drying is the most suitable method for drying the vegetables studied.

Keywords: drying kinetics, ventilated oven, pepper, pepper, solar dryer, tomato