

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences et de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Alimentaires  
Filière : Sciences Biologique  
Spécialité : Sciences alimentaires  
Option : Bioprocédé et technologie alimentaire



Réf : .....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

***Thème***

*Effet du séchage au micro-onde et à l'étuve sur  
la composition et l'activité anti oxydante de la  
tomate (Solanum lycopersicum L.)*

Présenté par :

**OUTIS Assia & YAHIA Yamina**

Soutenu le : **15 Juin 2016**

Devant le jury composé de :

M<sup>me</sup> BELHAMICHE N.

MAA

Presidente

M<sup>r</sup> BOUKHALFA F.

MAA

Encadreur

M<sup>me</sup> MERZOUK H.

MAA

Examinatrice

**Année universitaire : 2015 / 2016**

## **Remerciement**

*Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et la patience de mener à bien ce modeste travail.*

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent à notre encadreur **M<sup>r</sup> BOUKHALFA F** qui nous a accordé l'honneur de diriger ce travail et pour son accueil chaleureux dans son laboratoire, la qualité de son encadrement, son exactitude, ainsi ses conseils qui nous seront toujours précieux.*

*Nous remercions **M<sup>me</sup> BELHAMICHE N.** d'avoir accepté de présider le jury d'examination de ce mémoire, et **M<sup>me</sup> MERZOUK H.** d'avoir acceptée d'évaluer ce travail. Qu'ils trouvent dans ces phrases l'expression de notre profond respect.*

*Nos remerciements les plus distingués à **M<sup>r</sup> MOUSSI K.** pour son encouragement, ces conseils ainsi que son aide illimité, qu'elle trouve dans ces phrases l'expression de notre profonde reconnaissance.*

*Nous exprimons notre gratitude aux personnels du laboratoire bloque 12 sans exception.*

*Nous adressons aussi nos sincères remerciements à l'ensemble des enseignants de l'université Targa ouzemour Abderrahmane Mira de Bejaia qui ont contribué à notre formation.*

*En définitive, nous remercions toute personne qui a participé de près ou de loin, de façon directe ou indirecte, à la réussite de ce travail pour lequel nous avons tant consacré en y mettant aussi tout notre cœur.*

**Merci**

# *Dédicaces*

*A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour*

*A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans les moments les  
plus difficiles*

*Et ceux à qui je dois tant*

*A mes chers parents pour leur amour, soutien et patience.*

*Je les remercie d'autant que je ne remercie personne*

*J'espère qu'un jour mon bon Dieu me donne l'occasion de les  
honorer et rendre ce qu'ils méritent.*

*A ma chère grande mère*

*A mes sœurs SAMIA, MELKHIR et KAHINA*

*A mes frères FARID et ZAHIR*

*A toute ma famille*

*A mes proches*

*A ceux qui m'ont soutenu de loin et de près*

*A ma collègue YAMINA et sa famille.*

*A mes amis (Yacine, Kahina, Karima, Souhila)*

*A toute la promotion de bioprocédés et technologie  
alimentaire.*

**ASSIA**

## *Dédicaces*

*À mon père, mon ange gardien, qui sans lui je ne puisse ni  
vivre ni arriver à ce que je suis.*

*À ma mère, la lumière de ma vie,*

*J'espère qu'un jour mon bon Dieu me donne l'occasion de les  
honorer et rendre ce qu'ils méritent.*

*À Mes sœurs (FATMA, KAHINA, NOUARA et HAMAMA),  
mon aide dans le parcours de ma vie.*

*Mes frères, ma joie et ma fierté, que Dieu les garde et les  
protège TAHAR et MEZIANE.*

*À mon fiancé RAMDAN qui ma soutenue tout au long de mon  
trajet d'étude, merci de bon cœur.*

*À toute la promotion de bioprocédés et technologie  
alimentaire toutes mes amies sans exception.*

*À ma collègue ASSIA et toute sa famille.*

**YAMINA**

# Liste des abréviations

**DCPIP** : 2,6 dichlorophenol-indophénol.

**E.A.A.** : Equivalent acide ascorbique.

**E.β.C** : Equivalent β-carotène.

**EAG** : Equivalent acide gallique.

**A<sub>w</sub>** : Activité de l'eau.

**MHz** : mégahertz (pour la mesure d'ondes électromagnétiques).

**GHz** : gigahertz (pour la mesure d'ondes électromagnétiques).

**MS** : matière sèche.

# Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Photographie de la tomate.....	4
<b>Figure 2:</b> Fonctionnement d'un four à micro-onde.....	11
<b>Figure 3:</b> photographie de fruit de tomate.....	14
<b>Figure 4 :</b> (A) : Photographie des tranches de tomate, (B) : étuve ventilée et (C) : Four à micro-ondes.....	15
<b>Figure 5 :</b> Photographie de morceaux de tomate après séchage (A : tomate séché au micro-onde ; B et C : tomate séché à l'étuve).....	15
<b>Figure 6 :</b> Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées à l'étuve ventilée aux températures <b>80°C</b> et <b>70°C</b> .....	18
<b>Figure 7 :</b> Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées à l'étuve ventilée aux températures <b>60°C</b> et <b>50°C</b> .....	19
<b>Figure 8 :</b> Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées au micro-onde aux puissances <b>800W</b> et <b>600W</b> .....	20
<b>Figure 9 :</b> Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées au micro-onde aux puissances <b>450W</b> et <b>300W</b> .....	21
<b>Figure 10 :</b> L'évolution de la cinétique de séchage, en fonction de l'épaisseur de la tranche, en utilisant différentes puissances, pour des temps inférieur à 100 secondes.....	22
<b>Figure 11 :</b> Teneur en acide ascorbique des extraits de tomate séchés au four à microonde et étuve ventilée de différente épaisseur (0.5 ; 1 et 1.5cm).....	23
<b>Figure 12 :</b> Teneur en polyphénol totaux des extraits de tomate séchées, au microonde et à l'étuve ventilée, de différente épaisseur (0.5 ; 1 et 1.5cm).....	25

**Figure 13** : Teneur en caroténoïdes totaux des tranches de tomate séchées, au microonde et à l'étuve ventilée, de différente épaisseur (0.5 ; 1 et 1.5cm).....27

**Figure 14** : Teneur en lycopéne des extraits de tomate séchés au four à microonde et étuve ventilée de différente épaisseur (0.5 ; 1 et 1.5cm).....28

## Partie Annexe

**Figure 15**: Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique .....Annexe II

**Figure 16**: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....Annexe II

**Figure 17**: Courbe d'étalonnage de  $\beta$ -carotène (caroténoïdes).....Annexe II

**Figure 18**: Courbe d'étalonnage de  $\beta$ -carotène (lycopéne).....Annexe II

**Figure 19**: Formule semi-développée de l'acide ascorbique.....Annexe III

**Figure 20**: Structure moléculaire de lycopène.....Annexe III

**Figure 21**: Structure moléculaire des caroténoïdes [ $\beta$ -carotène].....Annexe III

**Figure 22** : Principaux polyphénols (acide hydroxycinnamiques, acide hydroxybenzoïque, et types de coumarines).....Annexe III

## *Liste des tableaux (Annexe III)*

<b>N°</b>	<b>Titre</b>
<b>I</b>	La production de la tomate à Bejaia
<b>II</b>	La production mondiale de la tomate

# Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

## Partie bibliographique

### I Généralités sur la tomate

I Généralité sur la tomate.....	3
I-1 Histoire de la tomate.....	3
I-2 Description et classification.....	3
I-3 Composition de la tomate.....	4
I-3.1 Vitamines.....	4
I-3.2 Fibres.....	5
I-3.3 Minéraux.....	5
I-3.4 Composition en antioxydants de la tomate.....	6
I-3.4.1 Caroténoïdes.....	6
I-3.4.2 Composés phénoliques.....	6
I-4 Effet thérapeutique de la tomate.....	6

### II Généralités sur le séchage

II. Généralité sur le séchage.....	8
II-1 Définition.....	8
II-2 Objectif de séchage.....	8
II-3 Notion de l'activité de l'eau.....	9

II-4 Différents types de séchage.....	9
II-4.1 Séchage thermique.....	9
II-4.1.1 Séchage par ébullition.....	9
II-4.1.2 Séchage par entraînement.....	10
II-4.1.3 Fumaison.....	10
II-4.1.4 Séchage à l'air libre.....	10
II-4.1.5 Opération de friture.....	10
II-4.1.6 Séchage solaire.....	10
II-4.1.8 Séchage à l'étuve.....	11
II-4.1.9 Séchage par microondes.....	11
II-4.2 Séchage non thermique.....	12
II-4.2.1 Lyophilisation.....	12
II-4.2.2 Séchage osmotique.....	12

## **Partie expérimental**

### **III Matériel et méthodes**

III Matériel et méthode.....	13
III-1 Description de la variété.....	13
III-3 Collecte.....	13
III-2 Taux d'humidité.....	14
III-4 Préparation et séchage du matériel végétal.....	14
III-4.1 Préparation de biomasse récoltée.....	14
III-4.2 Séchage et coupure de matériel végétal.....	15
III-4.3 Etude phénoménologique de la tomate fraîche.....	15
III-4.3.1 Dosage des composés phénoliques totaux.....	15
III-4.3.2 Dosage de la vitamine C (acide L-ascorbique).....	16

III-4.3.3 Dosage des caroténoïdes.....	17
--	----

## **IV Résultats et discussion**

IV Résultats .....	18
IV-1 Cinétique de séchage.....	18
IV-2 Teneur en antioxydant des tranches séchées.....	23
IV-2.1 Vitamine C.....	23
IV-2.2 Polyphénol totaux.....	25
IV-2.3 Caroténoïdes.....	26
IV-2.4 Lycopénes.....	28
IV-3 Discussion des résultats.....	30
Conclusion.....	33

Références bibliographiques

Annexes

### Introduction

L'alimentation est aujourd'hui perçue comme un des facteurs de santé publique et les fruits et légumes sont particulièrement recommandés. Trois arguments sous-tendent les bénéfices des fruits et légumes pour la santé : une contribution importante en micronutriments nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, un effet protecteur contre les grandes pathologies chroniques que sont les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives et métaboliques (diabète) et les cancers, et enfin un contenu énergétique faible (**Djioua, 2010**).

Les légumes et les fruits ont de grande importance dans le régime humain, fournissant une source importante des substances bioactives. Parmi ces derniers, la tomate *Solanum Lycopersicon* les représente en dehors de ses propriétés commerciales et alimentaires. En effet, c'est la deuxième récolte végétale dans le monde et une partie intégrale du régime humain (**Azabou et al., 2016**). La tomate, *Lycopersicon esculentum* Miller, est une plante annuelle de la famille des solanaceae. Elle est cultivée sous presque toutes les latitudes, sur une superficie d'environ 3 millions d'hectares, soit environ un tiers des surfaces mondiales cultivées consacrées aux légumes (**Ferrero, 2009**). Ce légume populaire est connu comme source importante des aliments importants comprenant le lycopène, le  $\beta$ -carotène, les flavonoïdes et la vitamine C aussi bien que les dérivés acides hydroxycinnamiques (**Gerszberg et al., 2014**).

De nombreux produits agricoles, consommés en grandes quantités ne sont pas toujours disponibles toute l'année. Une grande partie de cette production agricole (tomate, dattes, etc.) se prête parfaitement à une conservation par séchage pour assurer une continuité dans sa disponibilité (**Lahmari et al., 2012**).

Le séchage est par définition l'opération dont l'objectif est d'éliminer par évaporation l'eau d'un corps humide (solide ou liquide) le produit final obtenu étant toujours un solide. Cette définition peut être généralisée à l'élimination par évaporation de toute substance volatile d'un mélange (**Kisselmina, 2011**). Le séchage est l'une des opérations d'unité les plus grandes consommatrices d'énergie dans les industries de transformation. Dans un processus de séchage, un grand nombre d'énergie est nécessaire pour le changement sensible de chauffage et de phase de l'eau (**Hao et al., 2012**).

L'objectif de la présente étude était de comparer deux méthodes de séchage. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail qui consiste à étudier et valider des techniques innovantes de séchage (microonde et étuve) sur une variété de tomate «*Solanum lycopersicum L.*» qui est considérée parmi les variétés les plus appréciées par le consommateur.

Parmi les plantes les plus populaires, ayant des propriétés médicinales dues à leurs composés bioactifs, nous pouvons citer la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) qu'est très utilisée et connue pour leurs activités démontrées scientifiquement.

La tomate avait fait l'objet de beaucoup d'études antérieures par (**Toussaint et al., 2010 ; Naika et al., 2005; Bressy et al.,2013; Chanforan, 2010**). Cette filière a connu un essor important grâce à la découverte des vertus alimentaires et thérapeutiques de ce fruit. Ainsi nous cherchons par ce présent travail à démontrer est-ce que la composition de la tomate sera affecté par les deux méthodes de séchage qu'on va étudiés tels que le séchage par four à micro-onde ainsi que le séchage à l'étuve ventilé et est-ce que peut avoir un bon rendement concernant l'activité anti oxydante et quelle est la meilleure méthode qu'on va choisir ?

## I Généralité sur la tomate

### I-1 Histoire de la tomate

L'origine de la tomate se situe en Amérique de sud. Son ancêtre sauvage, *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*, était présent au Pérou, au Chili, dans la vallée des Andes et en Equateur. Cette plante à fruits très petits fut d'abord domestiquée au Mexique et améliorée par les Aztèques. Dans le 16<sup>e</sup> siècle, la tomate fut rapportée en Europe par les conquistadors espagnols, qui adoptèrent son nom indien <<tomatl>>. Elle fut d'abord implantée dans le sud de l'Europe, notamment en Espagne et en Italie (Toussaint et al., 2010).

Sa première description fut faite en 1544 par un botaniste Italien du nom de Mathioli. Il évoque une tomate jaune qui donnera son nom à la tomate italienne : *pomodoro* signifiant (pomme d'or) .son nom latin *Lycopersicum esculentum* lui fut donné par le botaniste anglais Philip Miller en 1731. Actuellement, pour des raisons phylogénétiques, la tomate est appelée *Solanum lycopersicum* L (Toussaint et al., 2010).

Le plus ancien catalogue de Vilmorin-Andrieux de 1760 classait la tomate dans les plantes ornementales annuelles. Elle gagna son statut de plante potagère dans l'édition de 1778, puis dans le *Bon jardinier* en 1785. Aujourd'hui, 9 variétés sauvage existent encore (Toussaint et al., 2010).

Parmi les noms communs utilisés pour désigner la tomate, il y a les suivants : tomate (Espagnol, Français), tomat (Indonésien), faan ke'e (Chinois), tomati (Afrique de l'Ouest), tomatl (Nahuatl, langue indigène du Mexique), jitomate (espagnol mexicain), pomodoro (Italien), Nyanya (Swahili). (Naika et al., 2005).

### I-2 Description

La tomate *Lycopersicon esculentum* Mill est devenue un des légumes les plus importants du monde (Naika et al., 2005).

La tomate est une plante herbacée de la famille des solanacées, cultivée pour son fruit. Le terme désigne à la fois la plante et le fruit charnu qui, bien qu'il soit biologiquement un fruit, est considéré comme un des légumes les plus importants dans l'alimentation humaine (Ranc, 2010).

## Taxonomie

**Règne :** *Plantae*

**Sous règne :** *Trachenobionta*.

**Division :** *Magnoliophyta*

**Classe :** Magnoliopsida.

**Sous-classe :** Asteridae.

**Ordre :** Solonales

**Famille :** Solanaceae

**Genre :** *Solanum*.

**Espèce :** *Lycopersicon esculentum*

**Nom :** *Solanum lycopersicum* Mill (Toussaint et al., 2010).



**Figure 1 :** photographie représente la tomate.

## I-3 La composition de la tomate

Les tomates *Lycopersicon esculentum* Mill sont une excellente source de beaucoup d'éléments et des métabolites secondaires qui sont importants pour la santé des personnes, y compris la matière minérale, les vitamines, le lycopène, les flavonoïdes, les acides organiques, les composés phénoliques et la chlorophylle (Bressy et al., 2013).

### I-3.1 Vitamines

Les vitamines sont des substances organiques sans valeur énergétique qui, une fois converties dans leur forme active, sont essentielles pour la croissance et le maintien de l'état de santé. Certaines vitamines ne sont pas synthétisées par le corps humain d'une manière insuffisante, donc elles doivent être apportées par l'alimentation (Haems, 2013). Elles se divisent en deux groupes distinctifs, les hydrosolubles et liposolubles (Cécile, 2001).

La tomate est considérée comme une bonne source en vitamine, qui joue un rôle bénéfique pour la santé.

La tomate est reconnue pour sa richesse en vitamine C (vitamines hydrosolubles), avec des teneurs variables selon les variétés et les conditions de culture; elles sont généralement comprises entre 7 et 30 mg/100g (de matière fraîche) mais peuvent atteindre 70 mg/100 g (**Chanforan, 2010**). Par ailleurs, ce fruit contient aussi des vitamines B1, B2, B3 et B5 (thiamine, riboflavine, niacine et acide pantothénique) pour les liposolubles elle contient essentiellement de la provitamine A (béta carotène) avec une teneur de 346µg/100g (**Anonyme 1**).

### I-3.2 Fibres

Les fibres alimentaires sont des éléments qui font partie des parois des cellules, ou encore des substances complémentaires, qui ne sont pas détruites par les sécrétions gastro-intestinales du système digestif et de ce fait traversent l'intestin grêlesans être digérées (**Henauer et al., 2008**). La teneur de la tomate en fibre est d'environ de 1.20g/100g (**Anonyme 1**).

### I-3.3 Minéraux

Les minéraux sont des substances que le corps ne peut pas les synthétisés, elles sont notamment nécessaire pour la régulation des enzymes et des hormones (**Haems, 2013**).

La tomate est un aliment diététique, riche en éléments minéraux et en oligo-éléments et parmi les minéraux de la tomate, le potassium (204 mg) domine largement, suivi par le phosphore (28 mg), le Calcium et le Sodium (13 mg) et en fin le Magnésium (10 mg). Parmi les oligo-éléments, on peut noter des teneurs non négligeables en manganèse (1 mg) et en fer (0.51 mg) ainsi que des traces de Cuivre (0.09 mg), zinc (0.07 mg), et de sélénium (0.4 mg) (**Anonyme 1**).

### I-3.4 Composition en antioxydants de la tomate

Un antioxydant est une molécule qui diminue ou empêche l'oxydation d'autres substances chimiques.

L'effet des antioxydants provient de deux mécanismes, ils neutralisent les radicaux libres et empêchent les réactions en chaîne initialisées par ces derniers, détruisent les hydroperoxydes (composés intermédiaires formant des radicaux libres en interrompant la liaison O-O), diminuant ainsi la vitesse de formation de radicaux libres (**Penchev, 2010**).

#### I-3.4.1 Caroténoïdes

Le caroténoïde retrouvé majoritairement chez les tomates rouges est le (*E*)-lycopène qui constitue leur principal pigment avec une teneur de **0,11 à 17,5 mg/100g** et le  $\beta$ -Carotène avec **0,08 à 1,06 mg/100g** (**Chanforan, 2010**).

#### I-3.4.2 Composés phénoliques

Une grande diversité de composés phénoliques a été identifiée dans la tomate, et parmi ces composées on trouve l'acide chlorogénique avec une teneur de **3,67 à 21,0 mg/100g**, la rutine avec **19,8 à 31,23 mg/100g** et Naringénine avec une teneur de **0 à 22,48 mg/100g** (**Chanforan, 2010**).

### I-4 Effet thérapeutique de la tomate

La tomate est excellente pour la santé comme tous les fruits et légumes à condition de ne pas être bourrée de pesticides.

La consommation de la tomate est associée à la réduction de plusieurs types de cancers (cancer de prostate, de pancréas, de colon et de sein...etc.) et les maladies cardiaques vasculaires. L'effet bénéfique de ce fruit serait lié à sa composition en caroténoïdes particulièrement en  $\beta$ -Carotène et lycopènes (**Miller et al., 2002**).

La consommation de la tomate peut augmenter les fonctions de système immunitaire ; dans le corps humain l'augmentation de la concentration de lycopènes est en relation avec l'accroissement de nombre de cellules lymphocytaires T ; aident à maintenir les os forts ;

réduisant des niveaux de cholestérol et intervenir à la régulation de sucre dans sang (**Debjit et al., 2012**).

L'exposition de la peau aux radiations solaire est très nocive qui due aux rayons ultraviolet qui agis sur les cellules conduisant aux déférents dommages. Plusieurs antioxydants tels que les caroténoïdes la vitamine C de la tomate joue un rôle dans la protection de la peau. La tomate a un effet régénérateur des globules rouges ; facilite la digestion aussi ; elle est bonne pour le fonctionnement rénal et considéré comme un anti-âge naturel (un anti vieillissement) [**Anonyme2**].

## II-Généralité sur le séchage

De tous temps, l'homme a recherché des méthodes pour conserver sa nourriture en empêchant et on retardant les principaux types de détérioration alimentaire, dont le séchage est l'un des procédés les plus utilisés pour la conservation des fruits et légumes assurant ainsi une meilleure répartition et qualité ainsi qu'une bonne réhydratation (**Maskan, 2001 ; Oteng, 1984**).

Le séchage comme un moyen de conservation ou comme une étape dans la transformation de certains produits, est utilisé à la fois dans le monde rural et industriel à travers l'agro-alimentaire, le textile...etc (**Benkhelfellah et al., 2005**).

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes de conservation des aliments. Il consiste en sujets d'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique afin d'augmenter la vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage. (**Verdier et al., 2016**).

### II-1 Définition

Le séchage est une opération unitaire qui consiste à éliminer totalement ou partiellement un liquide imprégnant un matériau par apport d'énergie thermique. Il consiste en sujets d'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique afin d'augmenter la durée de vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage. (**Verdier et al., 2016**), ce qui permet de réduire considérablement la masse et le volume des produits et facilite leur transport, stockage et manutention (**Djerroud et al., 2010**).

### II-2 Objectif de séchage

L'objectif principal du séchage est de diminuer l'activité de l'eau ( $a_w$ ) de divers matériaux périssables qui consiste de convertir ce dernier en produits stabilisés. Il consiste à enlever l'excès d'humidité d'un produit par évaporation de l'eau qu'il contient aux valeurs  $<0.5$ , afin de permettre leur stockage à la température ambiante (**Bonazzi et al., 2011**).

## II-3 Notion de l'activité de l'eau

L'activité de l'eau, définie comme rapport de la pression de vapeur d'eau (P) du produit à la pression de vapeur d'eau pure ( $P_0$ ) dans les mêmes conditions (la température) (Kerdudo, 2014).

$$A_w = P/P_0$$

L'activité d'eau est un indicateur principal de la qualité des produits alimentaires. L'eau contenue dans les produits alimentaires est largement classée par catégories dans deux classes : eau libre et liée. L'eau libre est définie comme eau qui peut être facilement extraite à partir des nourritures par le serrage, le découpage ou le pressurage, alors que l'eau liée n'est pas comme facile à extraire car est liée aux nutriments tels que les protéines, les pectines est donc non libre pour agir en tant que dissolvant pour des sels et des sucres (Gowen, 2012).

La teneur moyenne en eau des aliments frais est d'environ de 70% d'eau, alors que les fruits et légumes frais peuvent contenir jusqu'à de 95%. L'eau est un vecteur des infections bactériennes, chimique et biochimique, est impliquée dans les réactions de dégradation du produit. Il est donc nécessaire de déshydrater partiellement le produit pour stabiliser, en enlevant une partie de l'eau "libre" (Smida *et al.*, 2014).

Cependant, l'élimination de l'eau par le séchage inévitablement change la structure et la composition de nourriture, et peut avoir comme conséquence la détérioration de qualité, qui dépend à la fois de la méthode de séchage et des conditions de traitement (Gowen, 2012).

## II-4 Les différents types de séchage

### II-4.1 Séchage thermique

#### II-4.1.1 Séchage par ébullition

L'ébullition a lieu lorsque la température du matériau est à une valeur telle que la pression de vapeur d'eau en équilibre avec ce matériau.

Il découle de cette définition que, la température d'ébullition dépend à la fois de la pression totale et de l'activité de l'eau (Djerroud *et al.*, 2010).

### II-4.1.2 Séchage par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle d'eau tel que le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à l'élimination de l'eau ainsi que l'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau (Djerroud et al., 2010).

### II-4.1.3 la fumaison

Le fumage est une opération de transformation pour la conservation de produits (viandes, poissons ou fromages) et la diversification alimentaire (conférer une saveur). Il est souvent associé à une cuisson, un séchage et/ou un salage (Rivier et al., 2009). Selon (Rivier et al., 2010) on distingue deux types de fumage :

- **Le Fumage à froid** : La température ambiante est maintenue entre 20°C et 25°C.
- **Le fumage à chaud** : La température ambiante varie entre 60°C et 120°C.

### II-4.1.4 Séchage à l'air libre

Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de  $22 \pm 2$  °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle (Lahmari et al., 2012).

### II-4.1.5 L'opération de friture

La friture est une opération qui permet en une seule étape de déshydrater, cuire, texturer, imprégner et développer des saveurs (Juan et al., 2007)

Le procédé de séchage par friture consiste à mettre en contact une phase solide humide divisée (la boue d'épuration) et une phase liquide non miscible (une huile alimentaire usagée) (Alberto et al., 2005).

### II-4.1.6 Séchage solaire

Le séchage solaire permet à la fois de respecter l'environnement et d'améliorer la qualité des productions. Cogen'Air est la solution solaire la plus efficace pour la production simultanée d'électricité et d'air chaud à destination des applications de séchage (ANONYME3).

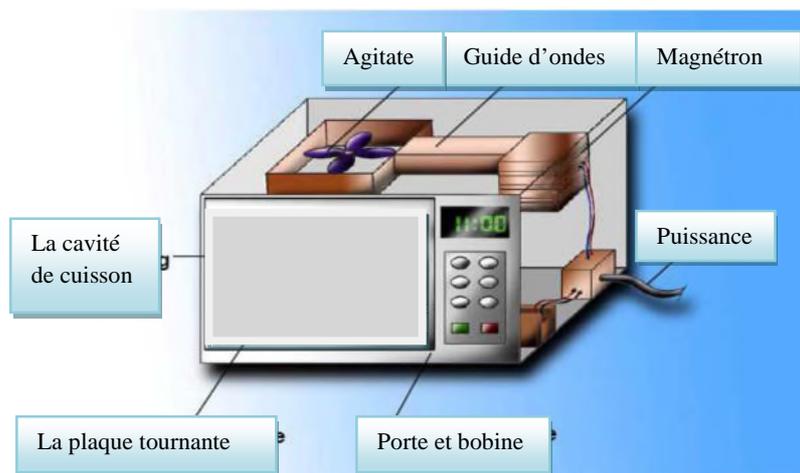
### II-4.1.7 Séchage à l'étuve

Cette méthode, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif ; la convection est principalement impliquée. Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Le choix de ces deux critères ( taille et temps de séjours) doit être adapté au rapport surface/volume (**Vasseur, 2009**).

### II-4.1.8 Séchage par microondes

Les micro-ondes ou hyperfréquences sont des ondes électromagnétiques (**Mikula et al., 1992**). Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Les micro-ondes se situent dans les fréquences allant de 300 MHz à 300GHz ce qui correspond à des longueurs d'onde d'un mètre à un millimètre (**Jean et al., 2002**).

Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple. L'énergie électrique apporté alimente le magnétron qui convertie l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les micro-ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur une plaque tournante, qui permet au produit alimentaire d'être exposé aux micro-ondes qui pénétrant l'aliment pour atteindre les molécules d'eau (**Mathavi et al., 2013**).



**Figure 2:**schéma d'un four à micro-onde (**Mathavi et al., 2013**).

### ➤ **Avantages spécifiques des micro-ondes**

Le séchage par micro-onde présente de nombreux avantages, entre autres comme une opération très rapide dans le temps, permettant des économies d'énergie, et une qualité du produit plus élevée. Ce séchage est très élargi dans diverses applications comme l'inactivation, la stérilisation enzymatique et la pasteurisation des produits alimentaires (jus de fruit, laits, purée alimentaire, viande) (Fito *et al.*, 2005).

L'absence d'inertie permet une régulation et un asservissement aisés, la production de la chaleur étant liée à la nature de la matière elle-même et en fin le chauffage est sélectif seul le produit est chauffé, et non l'environnement (Mikula *et al.*, 1992).

## **II-4.2 Séchage non thermique**

### **II-4.2.1 La lyophilisation**

La lyophilisation est un procédé de déshydratation à température suffisamment basse qui offre des produits déshydratés de haute qualité et permet une meilleure consommation des constituants de base des produits (Mahacine *et al.*, 2007).

Cette technique consiste à ôter l'eau d'un produit liquide, pâteux ou solide, à l'aide de l'action combinée du froid et du vide. Le principe de base est que lorsqu'on réchauffe de l'eau à l'état solide à très basse pression, l'eau se sublime, c'est-à-dire qu'elle passe directement de l'état solide à l'état gazeux. Cette technique permet de conserver à la fois le volume et l'aspect du produit traité (Coulibaly *et al.*, 2011).

### **II-4.2.2 Séchage osmotique**

La déshydratation osmotique (OD) est une opération employée pour le déplacement partiel de l'eau des tissus végétaux par immersion dans une solution hypertonique, de sucre et/ou saline, pour réduire la teneur en eau des nourritures avant le processus de séchage réel (Akbarian *et al.*, 2014). Elle facilite le traitement des fruits et légumes tels que la banane, la figue, l'ananas, les raisins, les carottes (Amarowicz, 2012).

### III Matériel et méthode

#### III-1 La collecte

Ce travail porte sur l'étude de l'une des variétés généralement utilisée pour l'alimentation humaine. La tomate *solanum lycopersicum* L ; dont la partie étudiée est le fruit ; la récolte de matériel végétal se fait durant toute l'année à partir de deux champs l'un dans la région de la wilaya de Bejaia à EL Kseur.

#### III-2 Taux d'humidité

Pour déterminer la teneur en eau un test d'humidité a été effectué. Quatre tranches de tomates de différentes épaisseurs (0,5, 1 et 1,5 cm) ont été portées à différentes températures (50, 60, 70 et 80°C) et différentes puissances (300, 400, 600 et 800 W) jusqu'à une masse constante. Le calcul de taux d'humidité est comme suivant :

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

**H%** : pourcentage d'humidité, **P<sub>0</sub>**: poids initiale de l'échantillon, **P<sub>s</sub>** : poids sec de l'échantillon

#### III-3 Préparation et séchage du matériel végétal

##### III-3.1 Préparation de l'échantillon

Au laboratoire, notre échantillon a été bien lavé avec de l'eau de robinet suivi de l'eau distillée, puis découpé en tranches d'épaisseur de 0.5cm, 1cm et 1.5cm. Ces différentes tranches ont subi deux types de séchage l'un au micro-onde (procédé innovant) à différentes puissances (W) et l'autre à l'étuve (procédé conventionnel à différentes températures).



**Figure 3 :** Photographie de tranches de tomate

Pour les deux types de séchage, nous avons étalé les différentes tranches sur un verre de montre, porté sur la plaque tournante de la micro-onde et sur les étagères de l'étuve, des pesées ont été effectuées pour les différentes températures (50, 60, 70 et 80°C) figure (B) et pour les différentes puissances (300, 450, 600 et 800W) Figure (C) d'une façon équidistante jusqu'à la pesée correspondante à l'humidité recherchée, l'opération a été arrêtée.



**Figure 4 :** (A) : Photographie des tranches de tomate, (B) : étuve ventilée et (C) : Four à micro-ondes.

### III-3.2 Séchage et coupure de matériel végétal

Après chaque opération de séchage, la masse séchée a été coupée en petits morceaux et mise dans des boîtes à conserver.



**Figure 5** : Photographie de morceaux de tomate après séchage (A : tomate séché au micro-onde ; B et C : tomate séché à l'étuve.)

### III-3.3 Etude phénoménologique de la tomate fraîche

#### III-3.3.1 Dosage des composés phénoliques totaux

Le dosage des polyphénols totaux repose sur la méthode de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est un réactif composé d'acide phospho-tungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ) qui se réduisent, dans un milieu basique, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $MO_8O_{23}$ ) par les composés phénoliques. L'intensité de la coloration bleue produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'extrait. La méthode de dosage des polyphénols utilisé est celle décrite par (Samydurai *et al.*, 2012) et la teneur en polyphénols est déterminée en référence à une courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique (0,01 mg/ml). Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide gallique (EAG) par 100 g MS. Le protocole de dosage des polyphénols est présenté ci-dessus :

Pour l'extraction des composés phénoliques, une quantité de 5 g de broyat de tomate est introduite dans un bécher, puis 25ml d'acétone 80% sont ajoutées. Les béchers sont incubés sous agitation pendant 30 min. Les extraits (sous forme de liquide jaune) sont récupérés et soumis à une filtration puis on ajout au reste de la tomate 25ml d'acétone 80% et une autre agitation pendant 15min, on aura par la suite la récupération de mélange et détection de volume totale.

100 $\mu$ l de l'extrait (mélange) sont déposer dans un tube mélangé avec 750 $\mu$ l de Folin-Ciocalteu et 750 $\mu$ l de  $Na_2CO_3$ , les tubes sont incubés à l'abri de la lumière Pendant 1h30. Une mesure de l'absorbance se faite à une longueur d'onde de 725nm (Samydurai *et al.*, 2012) .

### III-3.3.2 Dosage de la vitamine C (acide L-ascorbique)

La méthode de dosage de la vitamine C est décrit par (Aké *et al.*, 2006) et avec quelque changements, pour l'extraction de l'acide ascorbique, 5 g de broyat de tomate est dissout dans 15 ml d'acide oxalique (1%) puis agité durant 30 min à l'obscurité. Le mélange est ensuite filtrée et le volume de filtrat (15ml de volume et si on a moins on ajout de l'acide oxalique jusqu'à 15ml) puis on aura le titrage avec DCPIP de couleur bleue, dès qu'il y a un changement de couleur (couleur rose) on mention le volume de DCPIP utilisé.

### III-3.3.3 Dosage des caroténoïdes

Selon (zamora *et al.*, 2005) l'extraction des caroténoïdes se déroule comme suite : une quantité de 5 g de broyat de tomate est introduite dans un bécher, puis 30ml de mélange de solvants [Hexane (6ml) +Acétone (5ml) +méthanol (4ml)] sont ajoutés. Les béchers sont incubés sous agitation pendant 15 min et ajout de 2ml de KOH (1M) une incubation pendant 17h à l'abri de la lumière se faite. Après cette incubation on aura l'ajout de 5ml d'hexane et après 1min on aura l'ajout de 5ml de sulfate de sodium (1%), laisser décanter à l'abri de la lumière pendant 1h et une absorbance a été mesuré à une longueur d'onde de **450nm**.

C'est le même protocole pour les lycopénes mais la longueur d'onde est équivalente à **472nm**.

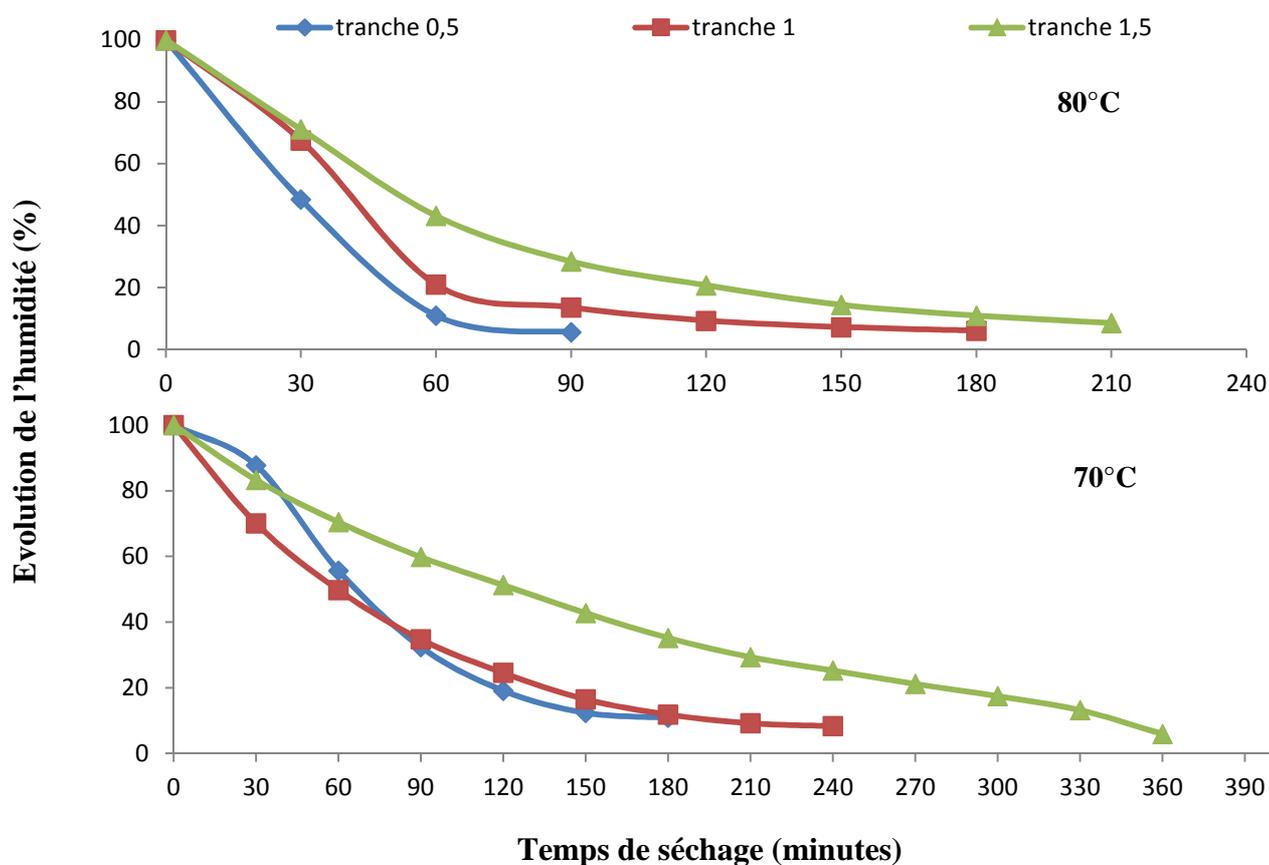
## IV Résultats

### IV-1 Cinétique de séchage

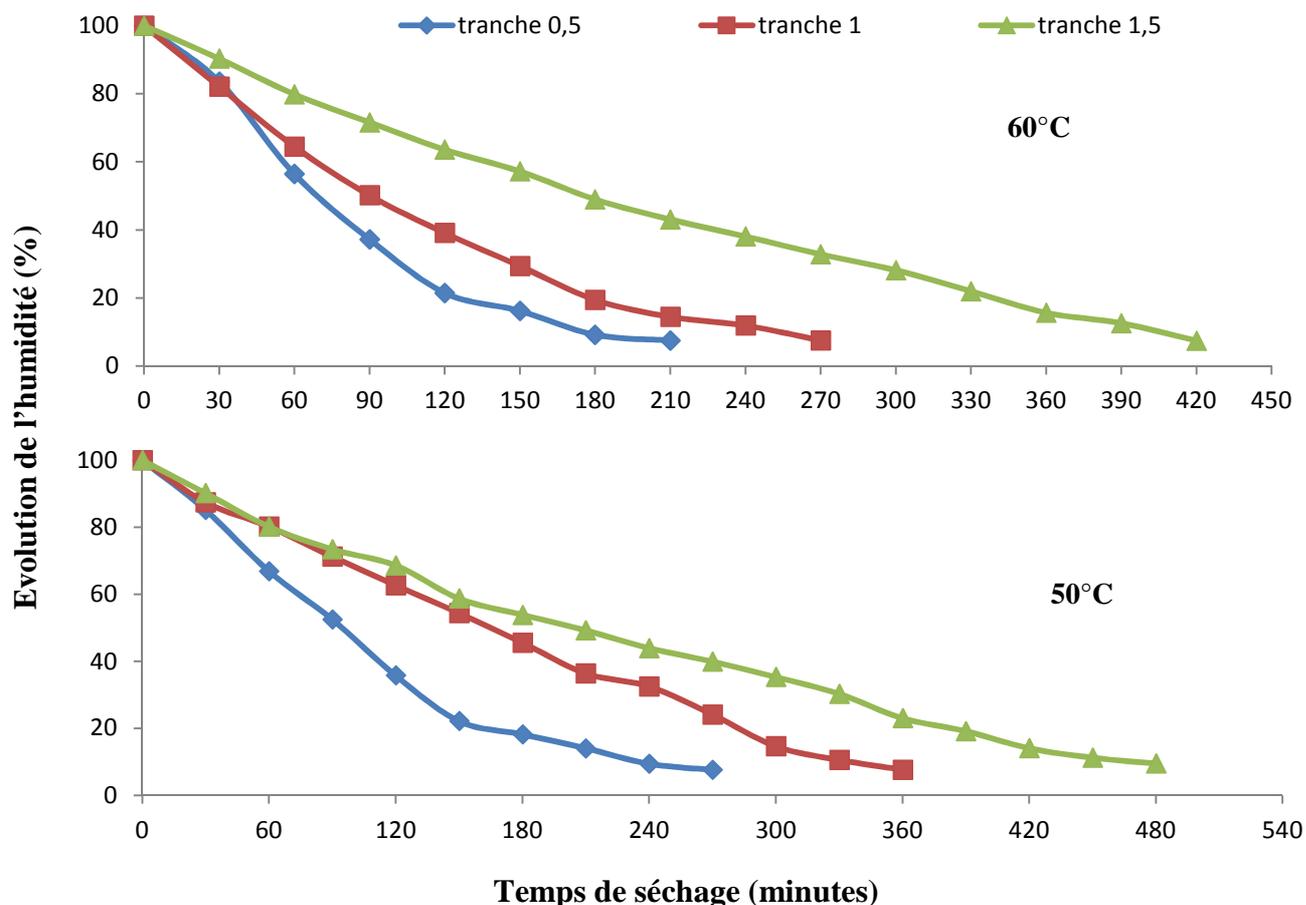
#### A) Partie étuve

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes et les plus utilisées généralement pour la conservation des fruits, légumes et des produits aquatiques car il abaisse l'activité de l'eau, prolonge la durée de conservation (Huang et al., 2016) ralentissant la croissance microbienne, l'activité enzymatique, et la réaction chimique (Ricardo et al., 2016). L'utilisation de diverses méthodes de séchage est pour une meilleure conservation de ces paramètres (Samoticha et al., 2016).

Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées à l'étuve ventilée à différentes températures sont représentés dans la figure N°6 et figure N°7.



**Figure N°6** : Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées à l'étuve ventilée aux températures 80°C et 70°C.



**Figure N°7** : Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées à l'étuve ventilée aux températures **60°C** et **50°C**.

Les résultats obtenus montrent que le taux d'humidité résiduelle évolue avec l'évolution de temps de séchage. En effet, les pertes d'humidité sont plus rapides pour les tranches de 0,5, suivi de 1 puis 1,5 cm pour la même température. Les résultats de l'étude statistique montrent l'existence de différence significative ( $p \leq 0.05$ ) de la perte en eau des tranches pour la même température.

Les résultats de cette étude, montrent également que le taux de perte en eau, pour une épaisseur donnée des tranches, change d'une température à une autre. Le taux de perte le plus rapide est enregistré avec les tranches de tomates de 0,5 cm d'épaisseur séchée à la température de 80°C.

L'étude statistique a révélée l'existence de différence significative ( $p \leq 0.05$ ) de taux de perte en eau avec l'évolution de température de séchage, pour une épaisseur de tranche donnée.

Selon (Lahmari et al., 2012), la température a une influence sur l'évolution de la teneur en eau au cours du séchage. L'influence de la température sur la cinétique de séchage est importante, une augmentation de la température résulte en une diminution de la teneur en eau.

La durée de séchage n'est pas la même pour les quatre températures, le temps de séchage est plus courte avec l'augmentation des températures. Les températures inférieures à 50°C ne favorisent pas un déplacement suffisant de la vapeur d'eau à partir du l'aliment pour atteindre le taux d'humidité souhaité, tandis que les températures au-dessus de 70°C, entraînent la volatilisation des composants du produit, ce qui provoque la perte de qualité (Correia et al 2015).

## B) Partie micro-onde

Le séchage par four à micro-onde est une alternative intéressante pour enlever l'humidité du produit du matériel et serait accéléré par la pression de vapeur à l'intérieur du matériel (Tuan et al., 2014).

Les résultats de l'évolution de l'humidité, au cours de temps, des différentes tranches de tomates séchées au micro-onde à différentes puissances sont représentés dans la figure N°8 et N°9.

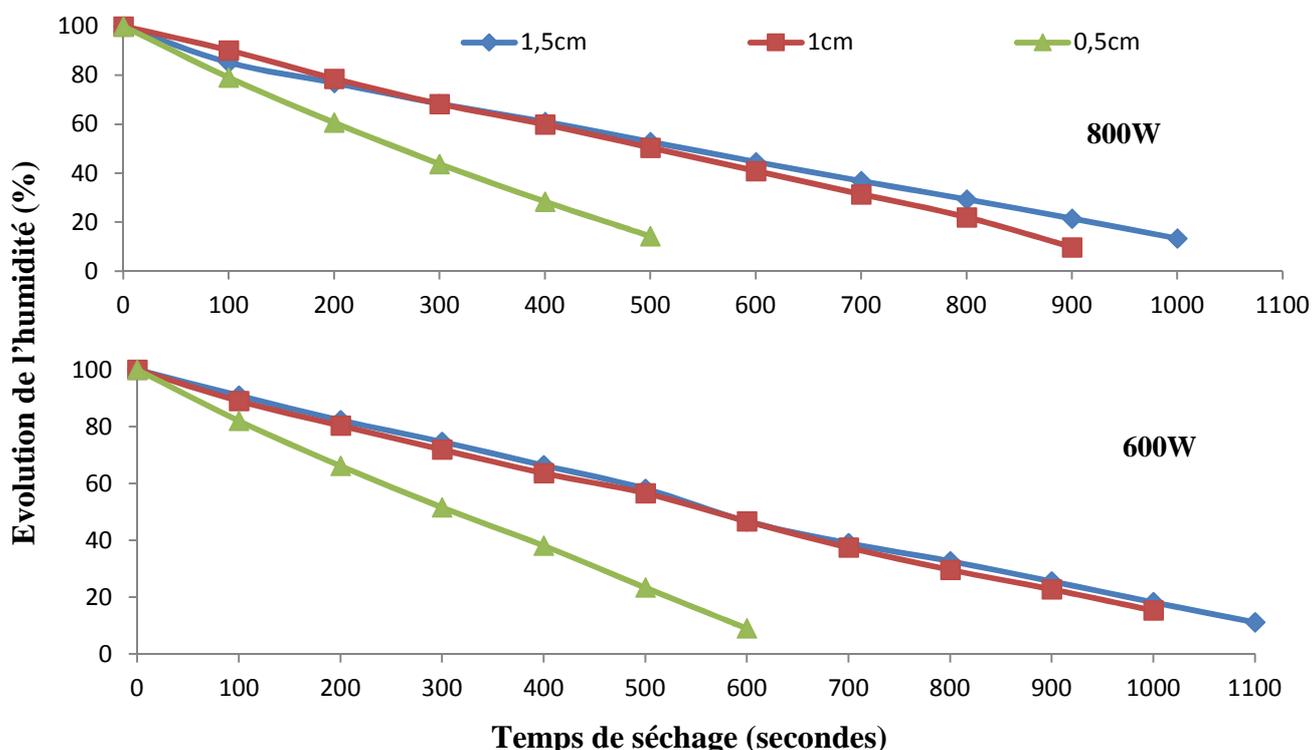
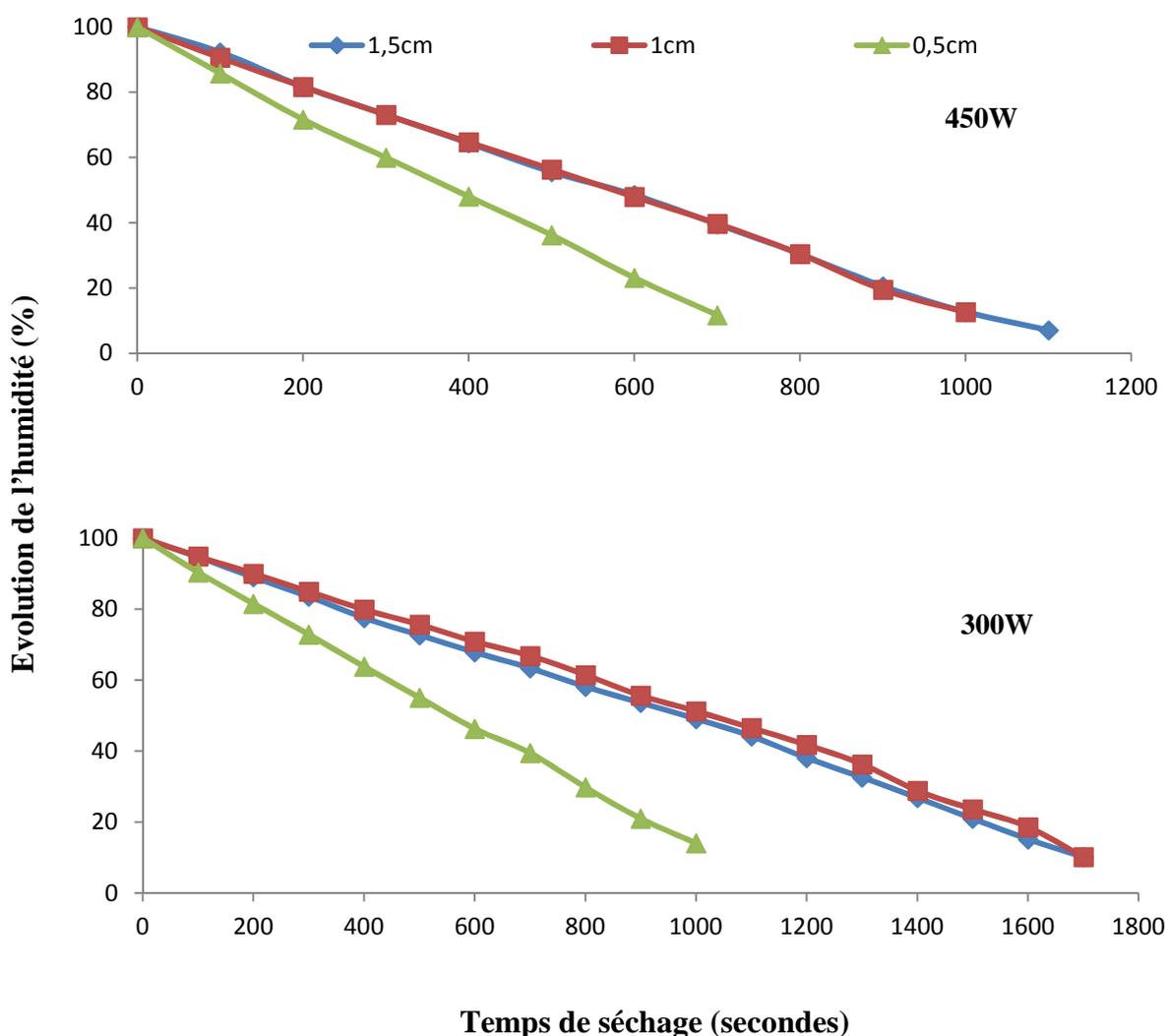


Figure N°8 : Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées au micro-onde aux puissances 800W et 600W.



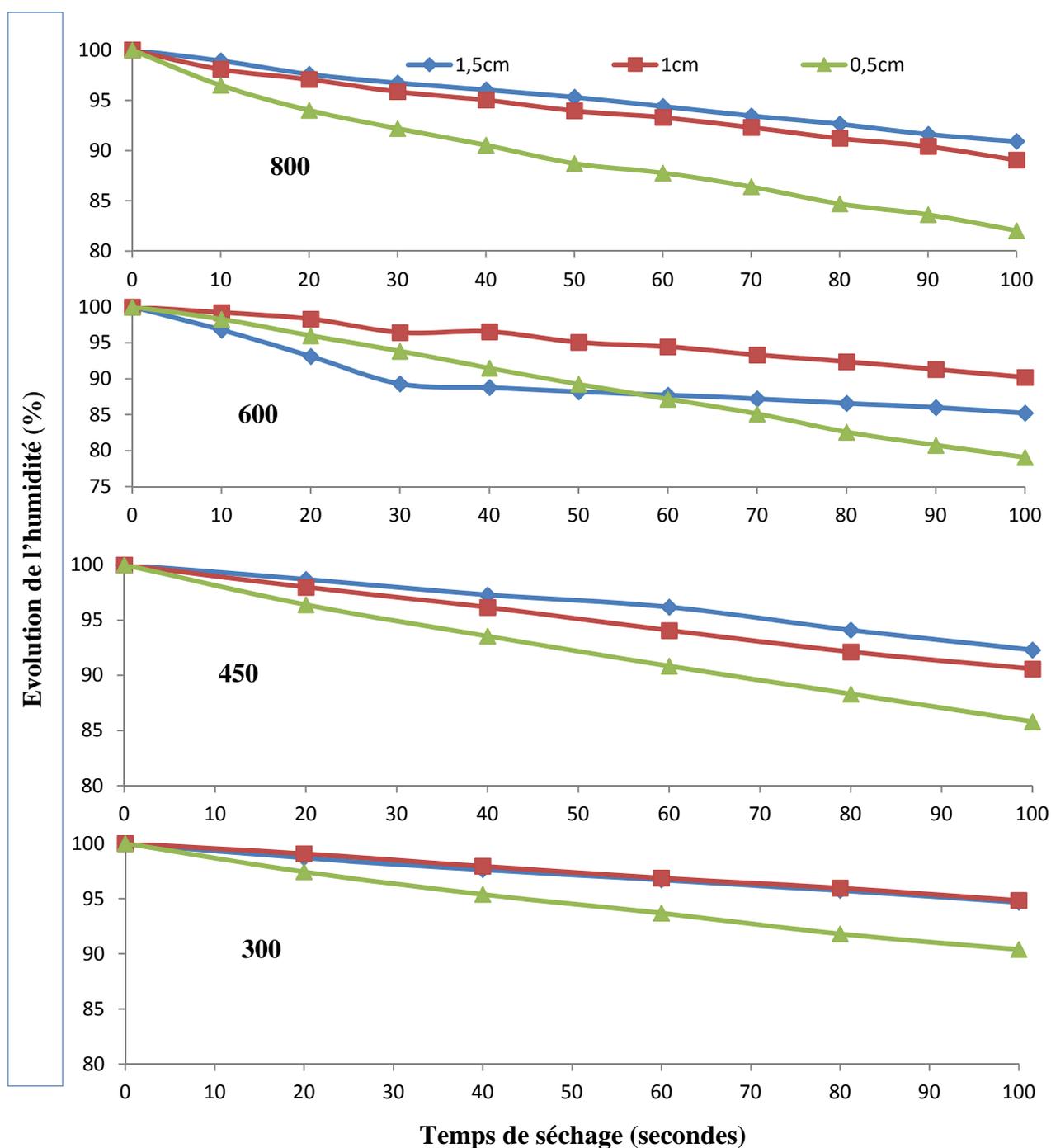
**Figure N°9** : Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de tomates séchées au micro-ondes aux puissances **450W** et **300W**.

Les résultats de la présente étude montrent que le taux d'humidité résiduelle évolue avec l'évolution de temps selon la puissance utilisée et l'épaisseur des tranches. En effet, les pertes d'humidité sont plus rapides pour les tranches de 0.5, suivi de 1 puis 1.5 cm pour la même puissance utilisée. Plus l'épaisseur des tranches est faible, plus la perte en eau est accélère avec le temps et ceci quelle que soit la puissance utilisée.

Les résultats de l'étude statistique montrent l'existence de différence significative ( $p \leq 0.05$ ) de la perte en eau des tranches d'épaisseur 0.5cm avec la puissance de séchage utilisé,

tandis que la perte en eau des tranches d'épaisseur 1cm et 1.5cm, aucune différence significative ( $p \leq 0.05$ ) n'est enregistrée avec les puissances de séchage utilisé (800, 600, 450 et 300W).

L'évolution de la cinétique de séchage, en fonction de l'épaisseur de la tranche, en utilisant différentes puissances, pour des temps inférieur à 100 secondes, est représentée dans la figure 12.



**Figure 10** : L'évolution de la cinétique de séchage, en fonction de l'épaisseur de la tranche, en utilisant différentes puissances, pour des temps inférieur à 100 secondes.

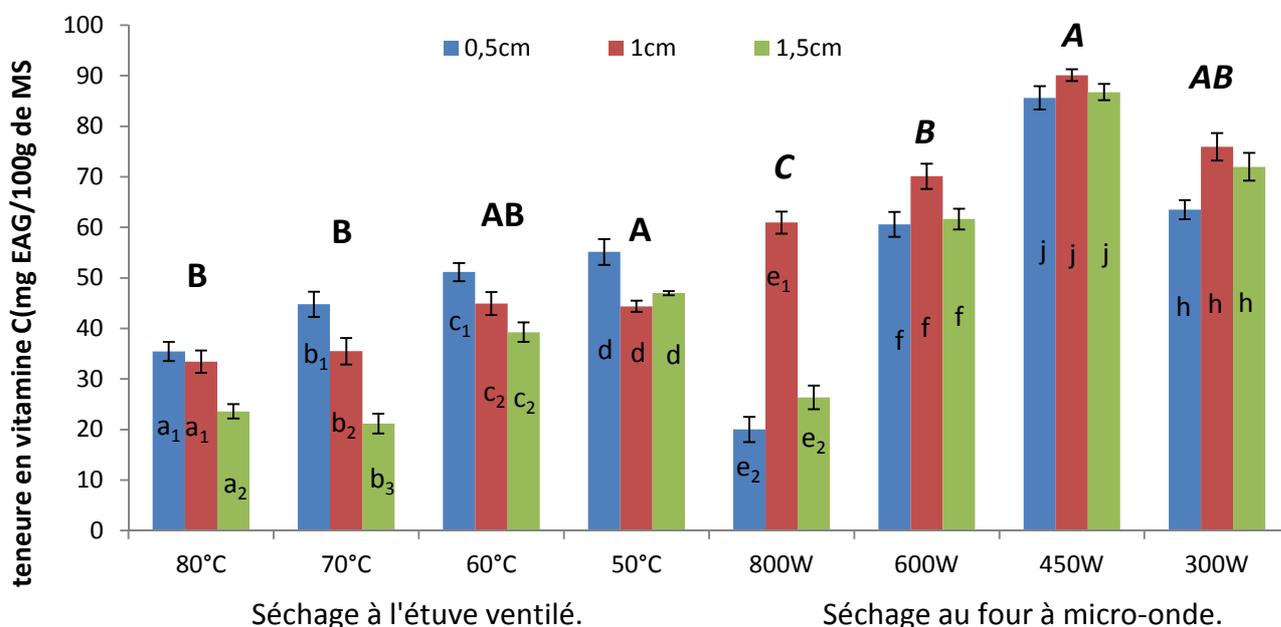
Les résultats obtenus de l'étude de la cinétique de séchage, des tranches de tomates de différente épaisseur, en fonction de la puissance de séchage pour des temps inférieurs à 100 secondes montrent clairement que la perte en eau est très similaires pour une épaisseur de la tranches comprise entre 1 et 1.5 cm, pour l'ensemble des puissances utilisées, tandis que pour une épaisseur de 0.5cm la perte en eau varirait considérablement avec la puissance de séchage utilisée. Ces résultats montrent s'alignent clairement avec ceux de l'étude statistiques ( $p \leq 0.05$ ).

## IV-2 Teneur en antioxydant des tranches séchées

### IV-2.1 Vitamine C (Acide ascorbique)

Les fonctions biologiques de l'acide L-ascorbique sont diverses. Cet acide est connu pour ses effets anti radicalaire (neutralisation des radicaux libres tels que les radicaux superoxyde et hydroxyle) et réducteur des métaux de transition, et comme un cofacteur d'enzymes, et un régulateur du transport d'électrons (Davey *et al.*, 2000).

Les résultats du dosage de l'acide ascorbique obtenus, pour les extraits de tomate séchée avec les différentes méthodes, exprimées en mg équivalent d'acide ascorbique (EAA)/100g de matière sèche, sont représentés dans la figure 13.



**Figure 11** : Teneur en acide ascorbique des extraits de tomate séchés au four à microonde et étuve ventilée de différente épaisseur (0.5 : 1 et 1.5cm).

Les barres verticales représentent les écart-types. a, b, c, d, e, f, j et h : représentent les différences significatives entre les épaisseurs et **A, B, C, D**, **A, B, C** et **D** : représentent les différences significatives entre les différentes températures et puissances (ANOVA-MANOVA).

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une différence significative entre  $a_1$  et  $a_2$ ;  $b_1$ ,  $b_2$  et  $b_3$ ;  $c_1$  et  $c_2$  à des températures de 80°C, 70°C et 60°C respectivement. La température a une influence sur l'épaisseur et il n'existe pas cette différence à la température de 50°C alors la température 50°C n'influence pas sur l'épaisseur des trois tranches.

Concernant le séchage au micro-onde, les résultats de la présente étude montrent qu'il n'existe pas une différence significative entre les différentes tranches à la puissance 600w, 450w et 300w respectivement et elle existe à la puissance 800w entre  $e_1$  et  $e_2$ .

Les teneurs en acide ascorbique des tranches séchées à l'étuve ventilé varient de 21,979±0.383 à 55.786±2.485 mg EAA/100g de MS. Le taux le plus élevé est de 55.786±2.485 mg EAA/100g de MS qui attribué à la température de 50°C pour la tranche de 0.5cm, suivit d'une teneur de l'ordre de 46,179±1,986 mg EAA/100g de MS et de 44,505±2,614 mg EAA/100g de MS pour les tranches d'épaisseur de 1.5cm et 1cm, respectivement.

Pour les tranches de tomates séchées à l'étuve à 80°C, les teneurs en acide ascorbique sont de 35,152±1.803 mg EAA/100g de MS ; 33,951±2.274 mg EAA/100g de MS ; 23,253± 1.931mg EAA/100g de MS attribué aux tranches de 0.5cm ; 1cm ; 1.5cm, respectivement.

Concernant la température 70°C, les teneurs sont repartis comme suite 44,141±2,549 mg EAA/100g de MS ; 35,385±1.079 mg EAA/100g de MS ; 21,979±0.383 mg EAA/100g de MS pour les tranches de 0,5cm ; 1cm et 1,5cm.

Les différentes fluctuations observées peuvent être dues à un effet de température ou du temps ou les deux en même temps.

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en acide ascorbique des extraits de tomates séchées au micro-onde varient entre 20.014±2.472 mg EAA/100g de MS à 90,110 ±1.162 mg EAA/100g de MS.

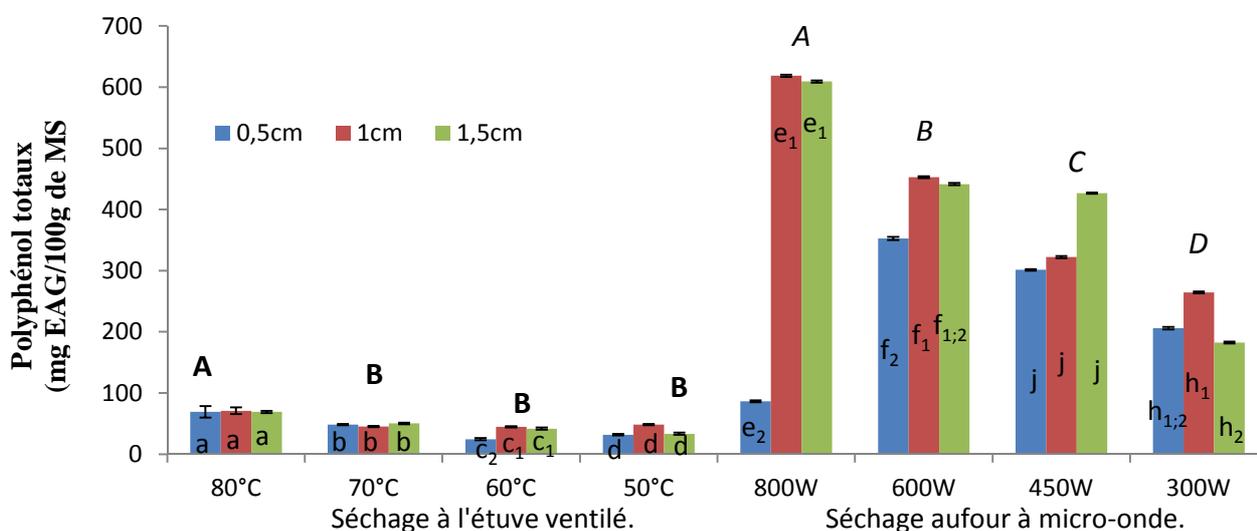
La teneur la plus élevée est de 90,786±1.162 mg EAA/100g de MS attribuée à la puissance de 450w pour la tranche de 1cm suivit d'une teneur de 86,750±1.598 mg EAA/100g de MS et de 85.622±2.285 mg EAA/100g de MS pour 1.5cm et 0.5cm respectivement.

D'après les résultats obtenus, la teneur la plus élevée en acide ascorbique sont enregistrées dans les tranches séchées au micro-onde par rapport à celle séchées à l'étuve. Les résultats de l'étude statistique montrent clairement cette différence significative ( $p \geq 0.05$ ).

#### IV-2.2 Polyphénol totaux

La réaction est basée sur la réduction du mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique du réactif de Folin-Ciocalteu, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène. La présence de carbonate de sodium rend le milieu légèrement alcalin (Vermerris et Nicholson, 2008).

Après l'ajout du réactif du Folin-Ciocalteu et de carbonate, une couleur bleue est obtenu dont l'intensité varie en fonction de la concentration phénolique des extraits. Les résultats du dosage des polyphénols totaux obtenus, exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique (E.A.G) par 100 g d'échantillon en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions (Annexe II), pour les tranches de tomates étudiés sont représentés dans la figure N°14.



**Figure 12** : Teneur en polyphénol totaux des extraits de tomate séchées, au microonde et à l'étuve ventilée, de différente épaisseur (0.5 ; 1 et 1.5cm).

D'après les résultats de la présente étude, la teneur en composés phénoliques des tranches de tomates séchées à l'étuve et au micro-onde, pour les différentes épaisseurs étudiés, varie entre  $24.56 \pm 4.60$  à  $70.93 \pm 3.38$  mg EAG/100g de MS pour les lots séchés à l'étuve, et de  $86.460 \pm 1.350$  à  $618.62 \pm 1.71$  mg EAG/100g MS pour les lots séchés au microonde.

Les résultats de l'étude statistique montrent l'existence de différence significative

( $p < 0,05$ ), entre les lots séchés au l'étuve et au microonde.

Pour les lots sèches a l'étuve, l'étude statistique a révélé l'existence de différence significative ( $p < 0,05$ ), entre le lot séché à 80°C, avec les lots séchés respectivement aux températures 70 ; 60 et 50°C.

Pour l'étude de l'impact de l'épaisseur de la tranches, aucune différence significatives ( $p < 0,05$ ) n'est démontrée pour l'ensemble des lots séchés respectivement aux températures 80, 70 ; 60 et 50°C.

Concernant le micro-onde, les résultats de la présente étude montrent l'existence d'une différence significative ( $p < 0,05$ ), entre les lots de tranches de tomate séchés aux puissances étudiés (800W ; 600W et 450W, 300W). La teneur en polyphénol augmente proportionnellement avec l'augmentation de la puissance utilisée, a l'exception des tranches (0.5cm) séchées à la puissance de 800W qui présentent le taux le plus faible, ce qui peut être due à l'intensité d'énergie élevée apportée par cette puissance par rapport à l'épaisseur.

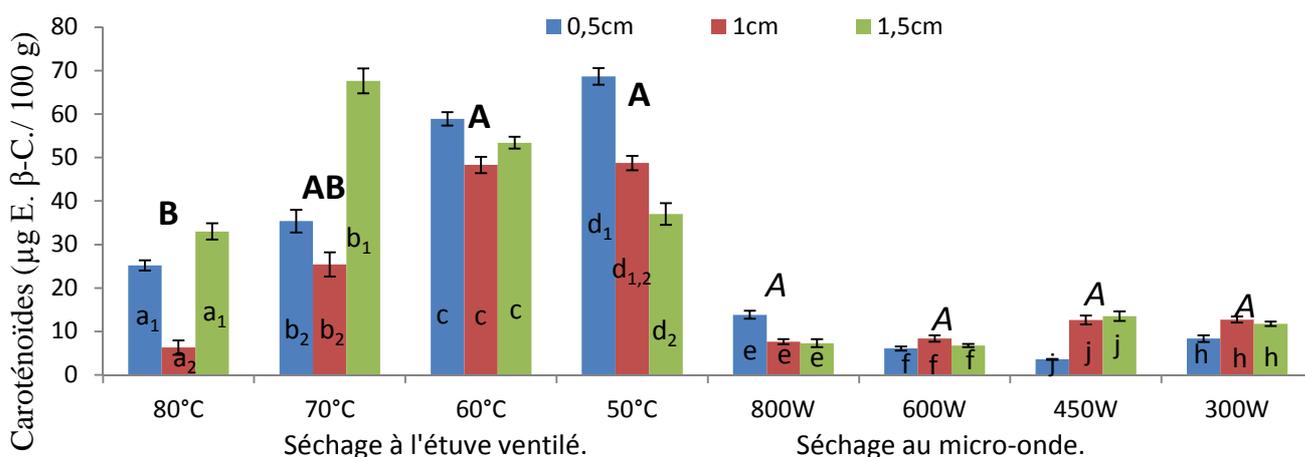
D'une manière générale, plus la puissance de microonde est élevée plus le temps de séchage est réduit, ce qui diminue le temps de contact de la matière avec l'énergie apportée.

#### IV-2.3 Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles responsables de la couleur jaune, rouge et orange de plusieurs fruits et légumes, qui constituent la source majeure dans l'alimentation humaine (**Rao et Rao, 2007**).

Les caroténoïdes sont associés aux bicouches lipidiques membranaires, et grâce à leur longue chaîne polyinsaturée, sont de bons piègeurs de radicaux libres (**Faure et al., 1999**).

Les résultats de dosage des caroténoïdes obtenus, exprimés en  $\mu\text{g}$  d'équivalent de la  $\beta$ -Carotène (E.  $\beta$ -C.) par 100 g d'échantillon en se référèrent à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions (Annexe II), pour les différents lots de tranches de tomates étudiées sont représentés dans la figure N°15.



**Figure 13** : Teneur en caroténoïdes totaux des tranches de tomate séchées, au microonde et à l'étuve ventilée, de différente épaisseur (0.5 ; 1 et 1.5cm).

Les résultats de la présente étude, montrent que la teneur en caroténoïdes des tranches de tomates séchées à l'étuve et au micro-onde, pour les différentes épaisseurs étudiés, varie entre  $6,3 \pm 1,15$  à  $68,6 \pm 1,88$  mg E $\beta$ C /100g de MS pour les lots séchés à l'étuve, et de  $3,5 \pm 0,11$  à  $13,83 \pm 0,91$  mg E $\beta$ C /100g de MS pour les lots séchés au microonde. Les résultats de l'étude statistique montrent l'existence de différence significative ( $p < 0,05$ ), entre les lots séchés à l'étuve et au microonde.

Pour les lots sèches à l'étuve, la valeur en caroténoïde la plus élevée est enregistrée dans le lot des tranches d'épaisseur de 0.5cm séchées à 50°C, suivie de lot dans tranches d'épaisseur de 1.5cm séchées a 70°C. Les teneurs en caroténoïdes, des lots de tranches 0.5cm et 1cm, diminue avec l'augmentation de la température, alors que le lot des tranches de 1.5cm le taux de caroténoïde progresse avec la hausse de la température pour atteindre le maximum à 70°C, et au chute au-delà de cette température.

L'étude statistique a révélé l'existence de différence significative ( $p < 0,05$ ), entre le lot séché à 80°C, avec les lots séchés respectivement aux températures 60 et 50°C.

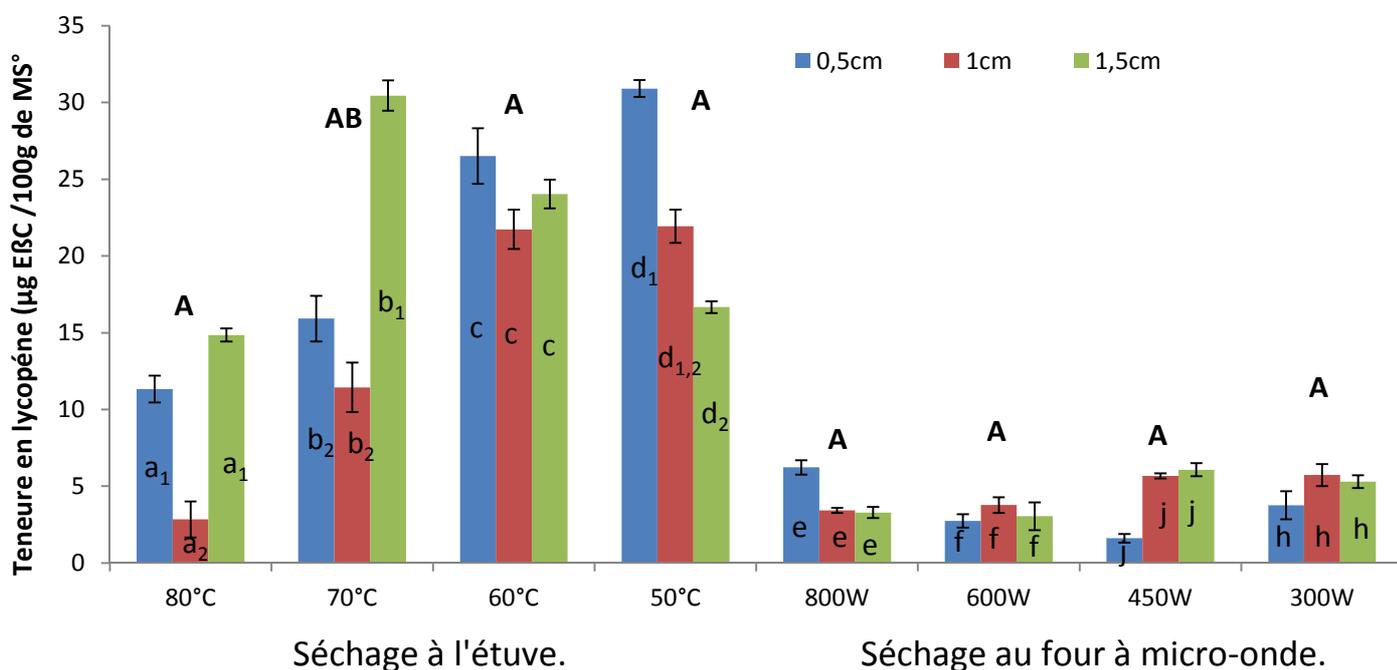
Concernant le micro-onde, le taux de caroténoïde le plus élevé est enregistrée dans le lot des tranches d'épaisseur de 0.5cm ( $13,833 \pm 0,919$  mg E $\beta$ C /100g de MS) séchées à une puissance de 800w, suivie de lot de tranches de 1.5cm ( $13,507 \pm 1,078$  mg E $\beta$ C /100g de MS) séchées à la puissance de 450W.

Les résultats de l'étude statistique ne révèlent aucune différence significative ( $p < 0,05$ ) de la teneur en caroténoïdes des différents lots de tranches (0.5 ; 1 et 1.5cm) pour toutes les puissances étudiées. De même, l'étude statistique ne montre aucune différence significative ( $p < 0,05$ ) de la teneur en caroténoïdes avec l'épaisseur de la tranches pour la même puissance de séchage

#### IV-2.4 Lycopènes

Le lycopène, le colorant principal de caroténoïde a trouvé en fruits mûrs de tomate et responsable de leur couleur rouge caractéristique, Il est important non seulement en raison de la couleur qu'il donne mais également en raison des prestations-maladie identifiées liées à sa présence. (Hasturk sahin et al.,2011)

Les résultats de dosage de lycopène obtenus, exprimés en  $\mu\text{g}$  d'équivalent de la  $\beta$ -Carotène (E.  $\beta$ -C.) par 100 g d'échantillon en se référèrent à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions (Annexe II), pour les différents lots de tranches de tomates étudiées sont représentés dans la figure N°14.



**Figure 14** : teneur en lycopène des extraits de tomate séchés au four à microonde et étuve ventilée de différente épaisseur (0.5 ; 1 et 1.5cm).

Les résultats de la présente étude, montrent que la teneur en lycopéne des tranches de tomates séchées à l'étuve et au micro-onde, pour les différentes épaisseurs étudiés, varie entre  $2.835 \pm 2.182$  à  $30.904 \pm 2.549$   $\mu\text{g E}\beta\text{C} / 100\text{g de MS}$  pour les lots séchés à l'étuve, et de  $1.611 \pm 2.285$  à  $6.225 \pm 2.452$   $\mu\text{g E}\beta\text{C} / 100\text{g de MS}$  pour les lots séchés au microonde.

Les résultats de l'étude statistique montrent l'existence de différence significative ( $p < 0,05$ ), entre les lots séchés à l'étuve et au microonde.

Pour les lots séchés à l'étuve, la valeur en lycopéne la plus élevée est enregistrée dans le lot des tranches d'épaisseur de 0.5cm séchées à  $50^\circ\text{C}$ , suivie de lot dans les tranches d'épaisseur de 1.5cm séchées à  $70^\circ\text{C}$ . Les teneurs en lycopéne, des lots de tranches 0.5cm et 1cm, diminue avec l'augmentation de la température, alors que le lot des tranches de 1.5cm le taux de lycopéne progresse avec la hausse de la température pour atteindre le maximum à  $70^\circ\text{C}$ , et au chute au-delà de cette température.

L'étude statistique a révélé l'existence de différence significative ( $p < 0,05$ ), entre le lot séché à  $80^\circ\text{C}$ , avec les lots séchés respectivement aux températures 60 et  $50^\circ\text{C}$ .

Concernant la micro-onde, le taux de lycopéne le plus élevé est enregistrée dans le lot des tranches d'épaisseur de 0.5cm ( $6.225 \pm 2.472$   $\mu\text{g E}\beta\text{C} / 100\text{g de MS}$ ) séchées à une puissance de 800w, suivie de lot de tranches de 1.5cm ( $6.078 \pm 0.323$   $\mu\text{g E}\beta\text{C} / 100\text{g de MS}$ ) séchées à la puissance de 450W.

Les résultats de l'étude statistique ne révèlent aucune différence significative ( $p < 0,05$ ) de la teneur en lycopéne des différents lots de tranches (0.5 ; 1 et 1.5cm) pour toutes les puissances étudiées. De même, l'étude statistique ne montre aucune différence significative ( $p < 0,05$ ) de la teneur en lycopéne avec l'épaisseur de la tranches pour la même puissance de séchage

### IV-3 Discussion

Les composés bioactifs peuvent être extraits à partir des échantillons de plante frais, congelé ou sec (**Dai and Mumper, 2010**).

Les légumes et les fruits sont les principales denrées alimentaires qui fournissent aux êtres humains lipides, glucides, fibres, voire protéines, ainsi que vitamines, minéraux, antioxydants... Ils sont, généralement issus de zones de production très localisées et profondément spécialisées avec des saisons de production souvent courtes. Pour cette raison les chercheurs se sont concentré sur les différentes méthodes de conservation de ces produits à fin d'étaler la période de consommation durant toute l'année (**Albitar., 2010**).

Le lycopène, l'acide ascorbique, les caroténoïdes et la teneur en polyphénols totaux de la tomate peuvent être considérés en tant qu'indicateurs de bonne qualité. Pendant le traitement thermique de tomate, ces composants sont modifiés, de ce fait affectant la qualité de couleur, sensorielle, alimentaire et fonctionnelle du produit sec. Par conséquent, il est important de choisir une meilleure méthode de séchage pour réduire au maximum les pertes de ces composés pendant la déshydratation de tomate (**Sánchez et al.,2012** ).

Le lycopène constitue approximativement 83% de colorants de tomate ainsi sa dégradation pendant le traitement thermique un effet important sur la couleur des produits finis aussi bien que sur sa valeur alimentaire et fonctionnelle. Ces chercheurs rapporté que le chauffage de la tomate à 50°C pour 12 h n'a pas affecté la concentration en lycopène, tandis que le chauffage à 100°C pour 120 minute a causé une réduction de 78% en lycopène (**Sánchez et al., 2012** ).

Selon (**Urrea et al, 2011**) le séchage conventionnel de la carotte à 50°C et 60°C a montré que les pertes en caroténoïde est moins que le séchage à 80°C. La dégradation de ces composée dépend de la température de séchage, Cette dégradation peut également être exprimée en tant que 15% à 50°C, 17.7% à 60°C et 32% à 80°C.

Ce qui explique que le traitement thermique est en générale réduit la teneur en caroténoïdes des produits, et en particulier celle du lycopène qui peut subir une dégradation par l'intermédiaire de l'oxydation au cours du stockage et une isomérisation au cour du traitement thermique (**Kisselmina ,2011**).

Les facteurs environnementaux tels que l'oxygène, la lumière et la température peuvent être très importante pour l'auto-oxydation de lycopène dans les produits de tomates.

La qualité de la tomate est basé sur des critères organoleptiques, tel que la couleur, la texture et la structure. Au sujet de la couleur de la tomate le séchage par microonde provoque une dégradation des colorants tels que les caroténoïdes (**Kisselmina et al., 2013**).

Nos résultats sont identique avec celle rapporté par ces chercheurs (**Sánchez et al., 2012, Urrea et al, 2011, Kisselmina ,2011et Kisselmina et al., 2013**), contrairement aux d'autre études qui montre que la teneur en lycopène est préserver à une température de 80°C et diminuer à des températures de 70 et 50°C ce qui due à la dure de séchage (**Lahmari et al., 2012**).

Selon (**Onifade et al., 2013**), les produits alimentaires traité à des températures baisse possède des valeurs nutritif très proche de celle des tomates fraiche. Et montre que les valeurs moyennes de différent antioxydant obtenu à 40, à 50, à 60°C sont plus haute qu'aux températures de séchage plus élevée 70 et 80°C.

L'application des traitements de cuisson des légumes, des fruits, et des grains possèdent des effets sur l'activité antioxydants qui dépend également de type de fruit ou de légume. des études montré que la cuisson des framboises à 100°C pendant 28 minutes et des myrtilles à 100°C pendant 22 minutes augmente le contenu phénolique et l'activité antioxydant de 50% et de 53%, respectivement (**Nayak et al, 2015**) Ce résultat en accord avec les résultats de notre étude.

Dans les haricots (*phaseolus vulgaris*), une diminution du contenu en polyphénol après le traitement au four est retrouvée. Les pommes de terre une fois grillés, présente une capacité antioxydante réduite et un contenu phénolique total (**Lima et al., 2014**). Des résultats similaires ont été trouvés pour la tomate par (**Gumusay et al., 2015**) et cela diffère avec les résultats de la présente étude.

Les températures de séchage peut causer de graves dommages à la saveur du produit, la couleur, l'élément nutritifs et de réduire la capacité de réhydratation du produit séché. Par exemple, à des températures élevées des pertes considérables de la teneur en acide ascorbique ont été signalés au cours de la production de tomates séchées et de la pulpe de tomate (**Correia et al., 2015**), ce qui obtenu dans notre étude. Selon (**Gojiya et Vyas, 2015**) la dégradation rapide dans le contenus en acide ascorbique à des températures élevé due à leur sensibilité à cette dernière.

Dans notre étude on a trouvé que la teneur en acide ascorbique est la plus élevée obtenue pour la tranche de 0.5cm par rapport aux d'autres tranches séchées à l'étuve ventilée qui dépendent du temps de séchage ce qui est démontré par **(Igwemmar et al., 2013)** que la teneur en acide ascorbique est affectée par le chauffage de tous les fruits et légumes et l'augmentation du temps de séchage provoque une diminution de la teneur en acide ascorbique ce qui est dû à la propriété de la vitamine C qui est hydrosoluble donc elle est facilement soluble dans l'eau et alors dégradée par la chaleur.

Dans le chauffage par micro-ondes, la chaleur est produite dans tout le matériel, menant à des vitesses de chauffage plus rapides, comparées au chauffage conventionnel où la chaleur est habituellement transférée à partir de la surface à l'intérieur. Le traitement de micro-onde peut considérablement réduire le temps de séchage des produits alimentaires et par conséquent réduire la dégradation des composés bioactifs et nutritionnels car l'énergie de micro-onde est rapidement absorbée par les molécules d'eau **(Mechlouch et al., 2014)**.

### Conclusion

Au terme de ce travail, une cinétique de séchage à été suivi, avec deux méthodes le four à microonde (300, 450, 600 et 800) et l'étuve ventilés (50, 60, 70 et 80°C). Pour l'évaluation de ces méthodes sur la qualité des morceaux de tomate obtenues, les dosages des polyphénols totaux, la vitamine C, les caroténoïdes et lycopènes par l'approche plan d'expérience, en utilisant trois variables (temps, température et l'épaisseur). L'effet de ces trois variables sur la composition en polyphénols totaux, la vitamine C, les caroténoïdes et lycopènes.

Les résultats de la cinétique de séchage avec les deux méthodes montrent que le séchage par four à microonde accélère le séchage et réduit significativement le temps ce dernier, par la comparaison au séchage par l'étuve ventilé. En outre les résultats de dosage des différents paramètres montrant que la teneur la plus élevée en polyphénols totaux est obtenues pour l'échantillon séché à 800W pour la tranche de 1 et 1.5cm ; la vitamine C c'est l'échantillon qui séché à 450W pour la tranche de 1cm ; pour les caroténoïdes et lycopéne les teneurs les plus élevé est varié selon la températures et l'épaisseur (c'est-à-dire à des températures élevées 80 et 70°C c'est la tranche de 1.5cm qui donne le meilleur rendement et pour les températures de 50 et 60°C c'est la tranche de 0.5cm qui donne des teneurs élevées).

En perspective, d'autres analyses sont nécessaires pour l'effet des méthodes utilisées pour le séchage de tomate, telles que l'effet sur la contenance en flavonoïdes et les tanins, et sur le pouvoir réducteur, etc. en vue l'amélioration principalement de séchage par four à microonde, il est nécessaire de le combiner avec un système de ventilation.

### A

Aké C-B, Koné M- W, Kamanzi A, Tindehou K et Aké, M. (2006). Evaluation de quelques propriétés biologiques de produits de cueillette non ligneux vendus sur les marchés d'abidjan et ses environs, pharm. Méd. Trad.17 p.

Albitar N. (2010). Etude comparative des procédés de séchage couplés à la texturation par Détente Instantanée Contrôlée DIC, en termes de cinétique et de qualité nutritionnelle. Applications à la valorisation des déchets agro-industriels.Thèse de doctorat en Génie des Procédés Industriels de l'université de la rochelle France. 191 p.

Amarowicz R. (2012). Osmotic Dehydration Process for Preservation of Fruits and Vegetables. Journal of Food Research. 1(2): 202.

Akbarian1 M, Ghasemkhani2 N, Moayedi3 F. (2014).Osmotic dehydration of fruits in food industrial:Areview.International Journal of Biosciences. (4): 42-57.

Amrani M. (2007). Apport du procede de lyophilisation sur la qualite des fraises marocaines. 69 (2) :10.

### B

Benkhelfellah R, Sofiane El M, Miri R et Belhamel M. (2005). Sechoirs solaires. etude comparative de la cinetique de sechage des produits agroalimentaires dans des modeles de type direct et indirect, Tanger, Maroc. 262 p.

Ben Smida.M.A, Bolje A, Ouerhani A, Barhoumi A, Mejri H, El Cafsi M et Fehri-Bedoui R. (2014). Effects of Drying on the Biochemical Composition of *Atherina boyeri* from the Tunisian Coast. Food and Nutrition Sciences, (5): 1399-1407.

Bonazzi.C et Dumoulin E. (2011). Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. 35 p.

## *Références bibliographiques*

---

### C

Chanforan C. (2010). Stabilité de micro constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse de doctorat en Sciences, spécialité : chimie. Université d'Avignon. Pays de Vaucluse. 395 p.

Correia A-F- K, Loro A-C, Zanatta S, Spoto M-H-F et Vieira T-M-F-S. (2015). Effect of temperature, time, and material thickness on the dehydration process of tomato. international journal of food science. 15 p.

### D

Djerroud D. (2010). Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation ; l'université de toulouse. thèse de doctorat en génie des procédés et de l'environnement de l'université de toulouse. 166 p.

Duchadeau C. ( 2001). Vitaminothérapie chez les volailles. Toulouse. 165 p.

Debjit B, Sampath K-K-P, Paswan S et Srivastava S.(2012). Tomato-A Natural Medicine and Its Health Benefits. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 43 p.

Dai J et Russell J. M. (2010). Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. (15): 7313-7352.

### F

Fito P, Chiralt A et Martin E-M. (2005). Current State of Microwave Applications to Food Processing. Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, Spain. 535 p.

## Références bibliographiques

---

Fernanda C. Bressy A, Geysa B, Brito A, Barbosa A, Leonardo S-G, Teixeira A-B, Graças A-M et Korn A-B. (2013). Determination of trace element concentrations in tomato samples at different stages of maturation by ICP OES and ICP-MS following microwave-assisted digestion, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/microc](http://www.elsevier.com/locate/microc), *Microchemical Journal* (109): 145–149.

Ferrero M. (2009). Etude de la variabilité des comportements alimentaires du prédateur et conséquences pour la lutte biologique. Thèse de doctorat en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences, Environnement. 2 Place Pierre Viala, France. 226 p.



Giuseppina P-P-L, Fabio Vianello<sup>2</sup> F, Renata C-C, Campos<sup>1</sup> R-A-S et Milena Galhardo Borguini<sup>1</sup> M-G. (2014). Polyphenols in Fruits and Vegetables and Its Effect on Human Health. *Food and Nutrition Sciences* (5):1065-1082.

Gowen A-A. (2012). Water and food quality. *Contemporary Materials*. 37 p.

Gumusay O-A, Borazan A-A, Ercal N et Demirkol O. (2015). Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. *Food Chemistry* (173):156–162.

Gerszberg A, Katarzyna H-K, Kowalczyk T et Andrzej K. K. (2014). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* (120):881–902.

Gojiya D-K et Vyas D-M. (2015). Studies on Effect of Slice Thickness and Temperature on Drying Kinetics of Kothimbda (*Cucumis Callosus*) and its Storage. *Food Processing & Technology*. 6(1) : 8 p.

Gonzalez J-A-R. (2007). Impact de l'opération de friture du plantain (*Musa AAB* « barraganete ») sur différents marqueurs nutritionnels : caractérisation et modélisation. Thèse de doctorat en Génie des procédés Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement. Agriculture Alimentation Biologie Environnement Santé. Paris. 167 p.



Henauer J- J- F. (2008). Alimentation riche en fibres. L'importance des fibres pour les personnes souffrantes de paralysie page 3 Troisième édition Française. 9 p.

Haems P-M. (2013). Vitamines. Copyright Medical Web Services. 8 p.

Hao F, Yun Y et Tang J. (2012). Microwave Drying of Food and Agricultural Materials: Basics and Heat and Mass Transfer Modeling. Review article. Food Engineer Review. 10(2):884-904.

Harrar A El N. (2012). Activités anti oxydante et antimicrobienne d'extraits de *Rhamnus alaternus L.* Magister en Biochimie et physiologie expérimental, Université Ferhat Abbas Sétif. 67 p.

Hasturk sahin F, Aktas T, Orak H et Ulger P. (2011). Influence of Pretreatments and Different Drying Methods on Color Parameters and Lycopene Content of Dried Tomato. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 17 (6): 867-881.

Huang J, Zhang M, Adhikari B et Yang Z. (2016). Effect of microwave air spouted drying arranged in two and three stages on the drying uniformity and quality of dehydrated carrot cubes. Journal of Food Engineering. 10 p.



Ibourahema C, Dauphin R-D, Danthine S, Majad L, Mejoub T, Destain J, Wathélet F-J-P et Thonart P. (2011). Techniques de séchage des starters lactiques et mécanismes affectant la viabilité cellulaire suite à la lyophilisation. Biotechnol. Agron. Soc. Environ 15(2): 287-299.

Igwemmar N-C, Kolawole S-A et Imran I-A. (2013). Effect Of Heating On Vitamin C Content Of Some Selected Vegetables. International journal of scientific & technology research. 11(2) :2277-8616.

## Références bibliographiques

---

### J

Jean L-C (2002). Printemps des sciences, L'Energie Sous Toutes Ses Formes. Les Microondes. 48 p.

### K

Kisselmina Y-K. (2011). Amélioration de la qualité de la tomate séchée par microondes assistées par air chaud avec pilotage de la puissance spécifique. Thèse de doctorat en Sciences et procédés des aliments dans L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement Paris. 16 p.

Kisselmina Y-K, Druon C, Etienne Z- G, Delmotte M , Duquenoy A et Laguerre J-J-C. (2013). Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food. *Journal of Food Engineering* (119) :750–757.

Kerdudo A. (2014). Optimisation de la conservation des cosmétiques-impact de la formulation, recherche de nouveaux conservateurs naturels, encapsulation. Thèse de doctorat en sciences de l'université de nice – sophia antipolis. discipline : chimie. 232 p.

### L

Lahmari N, Fahloul D et Azani I. (2012). Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété *Zahra*), *Revue des Energies Renouvelables*. 15(2) :285 – 295.

### M

Miller E-C, Craig W- H, Steven J. Schwartz. John W et Erdman, Jr. Thomas W.-M. Boileau, and Steven K. Clinton. (2002). Lycopene, tomato products, and prostate cancer prevention. Have we established causality? *74*(8): 1435–1441.

## Références bibliographiques

---

Mikula S. (1992). Mise au point d'un pilote micro-ondes multifonction en vue d'un séchage d'algues alimentaires. Valorisation des produits de la pêche. 45 p.

Mathavi V, Sujatha G, S-B Ramya et Karthika B -M. Food Technology and Assistant Professor, College of Food and Dairy Technology. (2013). New trends in food processing, International Journal of Advances in Engineering and Technology. India 5(2):176-187.

Mechlouch R-F, Mahdhaoui B, Elfalleh W, Mahjoubi A et Ben Brahim A. (2014). Mathematical Modeling of Microwave Drying of Beans (*Vicia faba L.*), Peas (*Pisum sativum*) and Tomatoes (*Rio grande*) in Thin Layer. International Journal of Energy Engineering, 4(2): 25-32.

Maskan M. (2001). Drying, Shrinkage and rehydration characteristics of Kiwifruits during hot air and microwave drying. Journal of Food Engineering. (48): 177-182.



Naika S, Joep-V-L de Jeude, Marja-G, Hilmi M, van Dam B. (2005). La culture de la tomate production, transformation et commercialisation. Fondation Agromisa et CTA, Wageningen. 104 p.

Nayaka B, Liub R-H et Tangc J. (2015). Effect of Processing on Phenolic Antioxidants of Fruits, Vegetables, and Grains—A Review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 55(7): 887-918.



Onifade T-B, Aregbesola O-A, Ige M-T et Ajayi A-O. (2013). Some physical properties and thin layer drying characteristics of local varieties of tomatoes (*Lycopersicon lycopersicum*) Agriculture and biology journal of north America. 5 p.

Oteng G. K. (1984). Introduction à la microbiologie alimentaire dans les pays chauds. Edition: Technique et Documentation, Lavoisier. Paris. Page 79.

### P

Palmero P, Panozzo A, Colle I, Chigwedere C, Hendrickx C et Loey V-A. (2016). Role of structural barriers for carotenoid bioaccessibility upon high pressure homogenization. *Journal Food Chemistry* (199) :423–432.

Peregrina-camero C-A. (2005). Traitement des boues par friture : Des mécanismes physiques à l'éco-conception d'un procédé. Thèse de doctorat Sciences de l'environnement Industriel et Urbain Fry-drying of sewage sludge: From the physical mechanisms to the process eco-design L'institut national des sciences appliquées de Lyon. France. 169 p.

Penchev P-I. (2010). Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, France. 218 p

### Q

Quoc T. L et Jittanit W. (2015). Optimization of operating process parameters for instant brown rice production with microwave-followed by convective hot air drying. *Journal of Stored Products Research*. (61) :1-8.

### R

Rivier M, Méot J-M, Ferré T et Briard M. (2009). Guide pratique, Le séchage des mangues. 73 p.

Rivier M-C, Kebef U-Q, Goli t C et Qualisud U. (2009). Fumage de poissons en Afrique de l'Ouest pour les marchés locaux et d'exportation. Réseau de recherche <<Génie des procédés appliqué à l'agro-alimentaire>> Environnement et développement durable solidaire. Agence universitaire de la francophone. 19 p.

Ricardo L- M, Bruno A-M, Carciofi et Laurindo B-J-A. (2016). A microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas. *Journal of Food Engineering*. 11 p.

## Références bibliographiques

---

Ranc N. (2010).Analyse de polymorphisme moléculaire de gène de composantes de la qualité des fruits dans les ressource génétique sauvage et cultivées de tomate ; recherche d'association gènes/QTL. Thèse de doctorat en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement. De l'école supérieure Agronomique de Montpellier-Supagro. Montpellier, France .218 p.



Samoticha S , Wojdyło A et Lech K. (2016). The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries LWT - Food Science and Technology. (66):484-489.

Samydurai P et Thangapandian V. (2012).Nutritional assessment, polyphenols evaluation and antioxidant activity of food resource plant (*Decalepis hamiltonii*) Wight & Arn.Journal of Applied Pharmaceutical Science. 02 (05): 106-110.

Sánchez S-N-F, Blanco V-R, Gómez G-M-S, Herrera P-A et Coronado S-R. (2012). Effect of rotating tray drying on antioxidant components, color and rehydration ratio of tomato saladette slices. LWT - Food Science and Technology (46):298-304.



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. 102 p.



Urrea D, Eim V-S, González C-M-R, R. Fuentes R-M, Palou C-A, Juárez M-D et Rosselló C. (2011). Effects of air drying temperature on antioxidant activity and carotenoids content of carrots (*Daucus carota*). European Drying Conference – EuroDryingn Palma. Balearic Island, Spain. 3 p.

### V

Vasseur J. (2011). Séchage industriel : principes et calcul d'appareils - Séchage convectif par air chaud (partie 1). Techniques de l'Ingénieur. Opérations unitaires : évaporation et séchage. 2451 p.

Verdier N-A, Sadat A-W, Clément D-A, Emmanuel N-A et Georges N-A. (2016). Impact of Solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value Quality of Fermented Forastero (*Theobroma Cacao L.*). Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 12(4): 402-406.

### Z

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

Zuorro A, Roberto L, Medici F et Piga L. (2014). Use of Cell Wall Degrading Enzymes for the Production of High-Quality Functional Products from Tomato Processing Waste. Chemical engineering transactions. 38 : 978-984.

## Parties ANONYME:

Anonyme1 : Tomate, Composition Fruits et légumes d'été. (2014), <http://sante.lefigaro.fr/programme/fruits-legumes-det>.consulté le 09 mars 2016.

Anonyme 2 : les-bienfaits-de-la-tomate-sur-la-sante <http://www.ra-sante.com/les-bienfaits-de-la-tomate-sur-la-sante.html>.(2012), Consulté le 24-03-2016.

ANONYME 3: Techniques de séchage solaire Biomasse et alimentation agricole Agroalimentaire Bois et dérivés, Techniques de séchage solaire. (2014) ,consulté le 14-03-2016.

## **Annexe I : Matériels utilisés**

### **1 Appareillages**

- ❖ Balance de précision (Adventurer DHAUS),
- ❖ Mortier en verre,
- ❖ Etuve Ventilée,
- ❖ Micro-onde (SAMSUNG modèle MW73B),
- ❖ Spectrophotomètre UV-Vis SPECTROSCAN50,
- ❖ Vortex,
- ❖ Ph mètre.

### **2 Produits chimiques**

- ❖ Acétone 80,
- ❖ Carbonate de sodium( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ),
- ❖ Folin- ciocalteu,
- ❖ Méthanol,
- ❖ Ethanol,
- ❖ Hexane,
- ❖ KOH (1M),
- ❖ Acide ascorbique,
- ❖ DCPIP,
- ❖ Sulfate de sodium (1%).

### **3 Les solutions utilisées**

#### **1) Acide oxalique**

1g d'acide oxalique + 100 ml de l'eau distillé.

#### **2) Folin cieucalteu**

1ml de folin cieucalteu + 9ml de l'eau distillé.

**3) Acétone 80**

80ml d'acétone + 20ml de l'eau distillé.

**4) les mélanges de solvants**

6ml d'hexane + 5ml d'acétone + 4ml de méthanol.

**5) DCPIP**

50mg de DCPIP dans 100 ml de l'eau distillé.

**6) Sulfate de sodium (1%)**

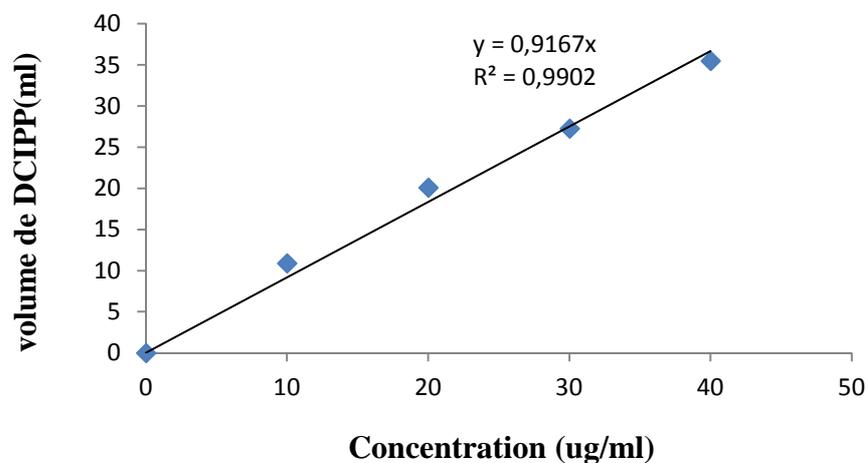
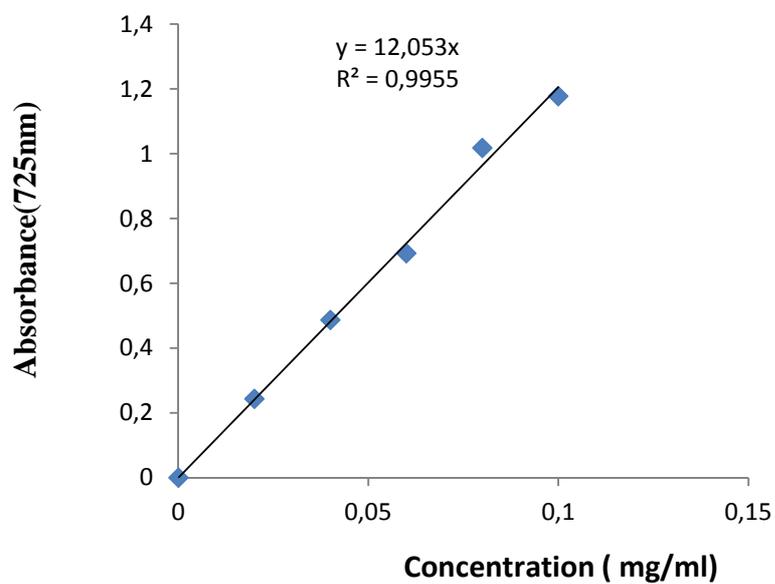
1g de sulfate de sodium dans 100ml de l'eau distillé.

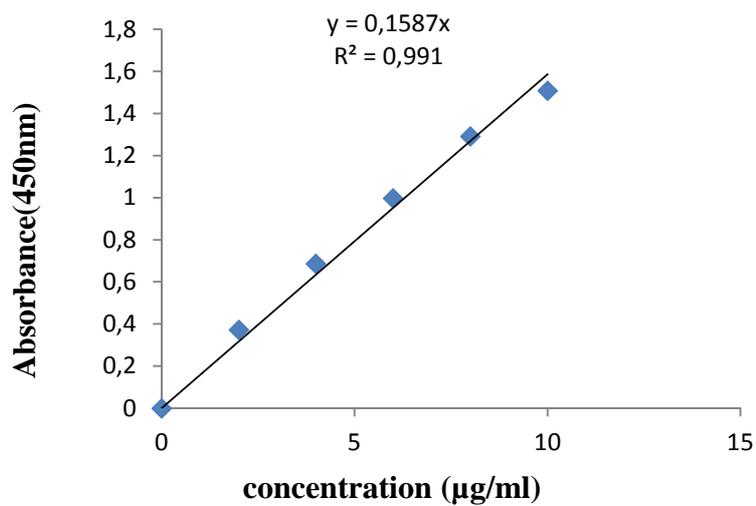
**7) KOH**

0.1g de KOH dans 10ml de l'eau distillé.

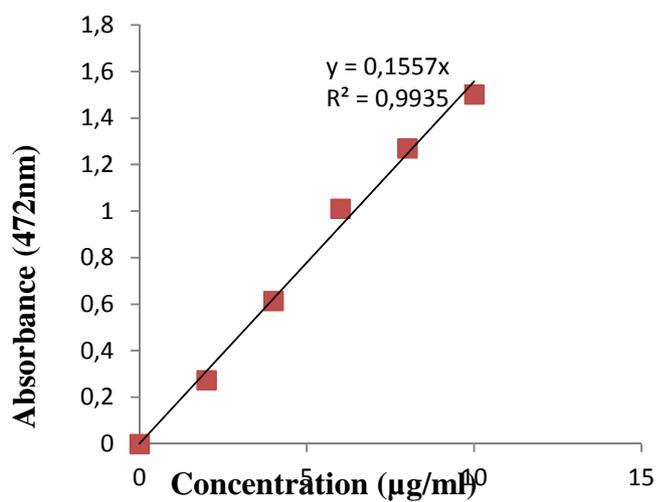
**8) Carbonate de sodium**

6g de carbonate de sodium +100ml de l'eau distillé.

**Annexe II : Courbes d'étalonnage utilisées****Figure 15:** Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.**Figure 16 :** Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.



**Figure 17:** Courbe d'étalonnage de  $\beta$ -carotène (caroténoïdes).



**Figure 18:** Courbe d'étalonnage de  $\beta$ -carotène (lycopéne).

### Annexe III : La production de la tomate :

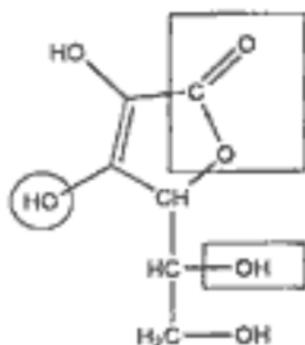
**Tableau 2:** la production de la tomate à Bejaia (service agricole de la wilaya de Bejaia).

Année	Production (qx)	Année	Production (qx)
2000	36380	2008	15570
2001	28980	2009	14484
2002	12510	2010	49276
2003	19375	2011	13647
2004	18650	2012	15290
2005	17635	2013	19375
2006	15955	2014	18650
2007	17372	2015	98602

**Tableau 3 :** Production mondiale de la tomate.

Année	Production (tonne)
<b>1999-2003</b>	<b>108 millions</b>
<b>2004</b>	<b>108.365.46</b>
<b>2005</b>	<b>39 millions</b>
<b>2006</b>	<b>123 millions</b>
<b>2007</b>	<b>126,2 millions</b>
<b>2008</b>	<b>1 312 305</b>
<b>2009</b>	<b>580 millions</b>

### Annexe IV : Formules chimiques des antioxydants étudiées



**Figure 19:** La formule semi-développée de l'acide ascorbique (Kesel et al.,2006).

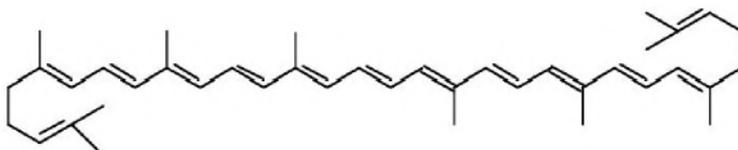


Figure 20: Structure moléculaire de lycopène (Zuorro et al.,2014).

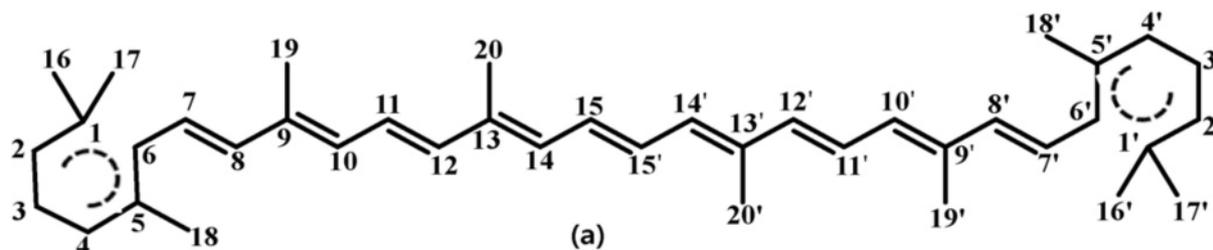


Figure 21: Structure moléculaire des caroténoïdes [ $\beta$ -carotène] ( Ramesh et al.,2015).

Principales classes des polyphénols : (HARRAR., 2012).

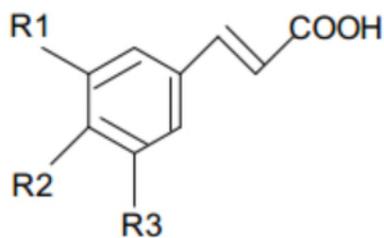


Figure : acides hydroxycinnamiques.

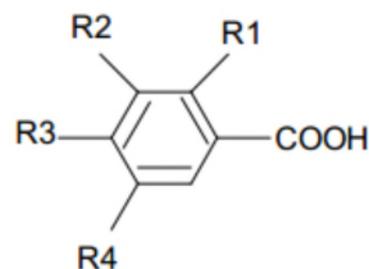


Figure : acides hydroxybenzoïques.

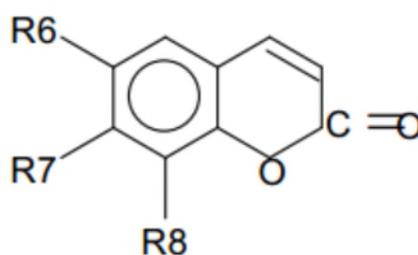


Figure : types de coumarines.

Figure 22 : les principaux polyphénols (acide hydroxycinnamiques, acide hydroxybenzoïque, et types de coumarines).

## Résumé

Dans la présente étude, une cinétique de séchage de tomate *Solanum lycopersicum L.* a été suivie avec deux méthodes, le four à microondes à différentes puissances (300, 450, 600 et 800W) et l'étuve ventilée à différentes températures (50, 60, 70 et 80°C).

L'évaluation de l'effet de ces méthodes sur l'activité anti oxydante du morceau obtenu a été réalisée, par l'approche plan d'expérience, en utilisant trois variables (temps, température et l'épaisseur).

Le résultat obtenu montre que la cinétique de séchage par four à microonde réduit le temps de séchage (800W/1000s pour la tranche la plus épaisse 1.5cm) par comparaison à l'étuve ventilée (80°C/210min pour la même tranche). En outre les résultats de dosage des différents paramètres montrant que la teneur la plus élevée en polyphénol totaux est obtenue pour l'échantillon séché à 800W pour les tranches de 1 et 1.5cm ; la vitamine C c'est l'échantillon qui séché à 450W pour la tranche de 1cm ; pour les caroténoïdes et lycopes les teneurs les plus élevées est variées selon les températures et l'épaisseur (c'est-à-dire à des températures élevées 80 et 70°C c'est la tranche de 1.5cm qui donne le meilleur rendement et pour les températures de 50 et 60°C c'est la tranche de 0.5cm qui donne des teneurs élevées).

**Mots clés :** tomate *Solanum lycopersicum L.*, cinétique de séchage, four à microonde, étuve ventilée.

## Abstract

In the present study, kinetics of tomato drying *Solanum lycopersicum L.* at summer followed with two methods, the microwave oven with different powers (300, 450, 600 and 800W) and the ventilated drying oven at different temperatures (50, 60, 70 and 80°C).

The evaluation of the effect of these methods on the antioxidant activity of the piece obtained at summer realized, by the approach experimental design, by using three variables (time, temperature and the thickness).

The result obtained shows that the kinetics of drying per microwave oven reduces the time of drying (800W/1000s for the thickest section 1.5cm) per comparison to the drying oven ventilated (80°C/210min for the same section). Moreover results of proportioning of different parameters showing that the highest polyphenol total teneur is obtained for the dried sample with 800W for the sections of 1 and 1.5cm; the vitamin C it is the sample which dried with 450W for the section of 1cm; for carotenoids and lycopene the teneurs highest is varied according to the temperatures and the thickness (with high temperatures 80 and 70°C it is the section of 1.5cm which gives the best output and for the temperatures of 50 and 60°C it is the section of 0.5cm which gives high teneurs).

**Key words:** tomato *Solanum lycopersicum L.*, kinetics of drying, microwave oven, ventilated oven.