



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA – BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme d'un
MASTER
En Génie des procédés
Option : Génie Alimentaire

Thème

**Etude comparative du séchage par micro-onde
et à l'étuve de la tomate**

(*Lycopersicon esculentum Mill*)

Présenté par :

ATMANI Karim & BAKHOUCHE Hicham

Soutenu le : 26 juin 2018

Devant le jury composé de :

Dr ACHAT .S	MCA	Présidente
Pr MADANI .K	Professeur	Encadreur
Dr BRAHMI .F	MCB	Examinatrice
M ^{elle} GUEMOUNI. S	Doctorante	Invitée

Année universitaire 2017/ 2018

Remerciements

Tout d'abord, on remercie le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné la volonté et la santé pour terminer ce travail.

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent à notre encadreur **Pr MADANI Khodir** 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^{elle} GUEMOUNI Sara** notre co-promotrice, on vous remercie pour tous vos conseils et directifs et votre disponibilité . Vos compétences et votre efficacité ont fortement contribué à la réalisation de ce travail.*

*Nous remercions **Dr ACHAT.S** d'avoir acceptée de présider le jury d'examen de ce mémoire, et **Dr BRAHMI.F** d'avoir acceptée d'évaluer ce travail. Qu'elles trouvent dans ces phrases l'expression de notre profond respect*

*Nos remerciements les plus distingués à **Dr GUEMGHAR ; M^{elle} RABAH .S et M^{elle} BELHAMEL.C** pour leurs encouragements, leurs conseils ainsi que leurs aides illimités, qu'elles trouvent dans ces phrases l'expression de notre profonde reconnaissance.*

*Nous exprimons notre gratitude aux personnels du laboratoire d'Analyse instrumentale à leurs têtes **Dr GUENDOUZE. N et YALAOUI D***

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à l'ensemble des enseignants de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia (département génies des procédés) qui ont contribué à notre formation et notre promotion Génie alimentaire de 2018.

Enfin, nous remercions toutes personnes qui ont participé de près ou de loin, à la réussite de ce modeste travail pour lequel nous avons tant consacré en y mettant aussi tout notre cœur.

Merci

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A tous ceux qui me sont chers

- *A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont tout donné. Je souhaite qu'ils trouvent dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.*
- *A mes frères et sœurs pour leurs soutiens moraux et leurs sacrifices le long de ma formation.*
 - *A toute ma famille*
 - *A tous mes amis (es)*
 - *A mon binôme Karim et toute sa famille*
- *A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.*

Hicham.

Dédicaces

- ❖ *À mes parents adorable qui m'ont donné la vie, qui
M'ont appris d'être nette et sincère et leurs
Soutenance de puis ma scolarisation à ce jour.
Aucun hommage ni remerciement ne saurait être
Suffisant.*
- ❖ *À mes chers frères et sœurs.*
- ❖ *À toute la famille Atmani.*
- ❖ *A tous mes amis(es).*
- ❖ *A toute la promotion de génie alimentaire.*
- ❖ *A mon binôme Hicham et toutes sa familles.*

KARIM

Table des matières

Liste abréviation	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	1
I.1. Historique.....	3
I.2. Description et classification botanique.....	3
I.2.1. Description botanique	3
I.2.2. Classification.....	4
I.3. Valeurs énergétiques et nutritionnelles de la tomate	4
I.3.1. Vitamines	5
I.3.2. Minéraux	5
I.3.3. Principaux antioxydants.....	6
I.3.4. Caroténoïdes	6
I.3.5. Polyphénols.....	7
I.4. Production de la tomate	7
I.4.1. Production mondiale.....	7
I.4.2. Production nationale de la tomate	8
I.4.3. Dans la wilaya de Bejaia.....	8
I.5. Importance économique de la tomate en Algérie.....	8
I.6. Culture et Condition de la tomate	8
I.7. Saison de plantation de la tomate.....	9
I.7.1. Récolte des cultures de tomate:.....	10
I.7.2. Superficies et le rendement	10
I.8. Variétés les plus cultivées	11

I.8.1. Variétés excitants à Bejaia	12
I.9. Processus de transformation des tomates	12
I.9.1. Concentrés.....	12
I.9.2. Jus de tomate.....	13
I.9.3. Tomate séchée.....	13
II 1. Définition du séchage	14
II 2. Intérêt et principe du séchage	14
II 3. Différents types de séchage	15
II.3.1. Séchage par ébullition.....	15
II.3.2.Séchage par entrainements	15
II.3.3.Séchage solaire	15
II.3.4. Séchage par microondes	15
II.3.4. 1. Avantages de séchage par microonde.....	16
II.3.5.Sechage par étuve	17
II .4. Cinétique du séchage	17
II.4.1. 1.Période I ou phase mis en température (AB).....	18
II.4.1.2. Période II ou phase à vitesse constante (BC)	18
II.4.1.3. Période III ou phase à vitesse ralentie (CD)	18
II .5. Notion d'équilibre et activité de l'eau	18
❖ II.5.1. Eau libre.....	19
❖ II.5.2. Eau liée	19
❖ II.5.3. Eau structurale	19
❖ II.5.4. Eau en mono-couche.....	19
II.6.Mécanisme intervenant au cour du séchage	19
II.6.1. Transfert de chaleur	19
II.6.1.1.Par Conduction	20
II.6.1.2.Par convection	20

II.6.1. 3. Par rayonnement	21
II.6.2. Transfert de matière	21
II.7. Phénomènes produits au cours du séchage	24
II.7.1. Réaction biochimique	24
II.7.2. Phénomènes mécaniques	24
III .1. Présentation du sujet.....	25
III.2. Schéma de travail	26
1 ^{er} partie Analyses physico-chimiques	27
III.3. Taux d'humidité	27
III.4. Ph.....	27
III.5. Cinétique de séchage	27
III.5.1. Séchage par microonde et étuve	27
III.5.2. Séchage par étuve	28
III.5.3. Broyage de matière végétale	28
2 ^{eme} partie : Analyses biochimiques	29
III.6. Extraction et dosage des antioxydants	29
III.6.1. Composés phénoliques	29
III.6.1.1. Extraction	29
III.6.1.2. Dosage des composés phénoliques	31
III.6.2. Caroténoïdes.....	32
III.6.2.1. Extraction des caroténoïdes.....	32
III.6.2.2. Dosage des caroténoïdes totaux.....	33
III.6.2.3. Dosage de lycopène	33
III.7. Détermination du pouvoir antioxydant	33
III.7.1. Pouvoir antiradicalaire	33
III.7.2. Pouvoir réducteur	34
III.8. Test ABTS.....	36

IV 1 ^{ER} partie - Résultats des analyses physico-chimiques.....	37
IV .1. Taux d'humidité.....	37
IV. 2. Potentiel d'hydrogène PH.....	38
IV .2.1. Séchage par étuve.....	38
IV .2.2. Séchage par microonde.....	38
IV .3. Cinétique de séchage.....	38
IV.4. Modalisation des courbes de séchage	41
IV .4.1. Modélisation de la partie étuve	41
VI.4.2. Modélisation de la partie micro-onde.....	45
VI.4.3. Perspectives sur la modélisation.....	47
2 ^{eme} partie - Résultats des analyses biochimiques	48
IV .5. Teneur en polyphénols totaux.....	48
IV.6. Caroténoïdes.....	49
IV .7. Teneur en lycopène	50
IV.7. Pouvoir antioxydant	51
IV.7.1. Pouvoir antiradicalaire DPPH.....	51
IV.7.2. Pouvoir réducteur.....	52
IV.8. Test ABTS.....	54
Conclusion.....	56

Liste des abréviations

Abs: Absorbance.

ABTS: Acide 2, 2,-azinobis-3-ethylbenzothiasoline-6-silfonic7.

Aw ; activité de l'eau.

DPPH: 1, 1-diphenyl-2-picryl-hydrazile.

DSA : direction des services agricoles .

E. β -C : équivalent beta carotène.

E.A.G : d'équivalent d'acide gallique.

FAO: Food and agriculture organization.

IAA : industries agroalimentaires.

MS : matière sèche .

PAI : produits alimentaires intermédiaires.

Ph : potentiel hydrogène.

Q_x: quintaux.

TH : taux d'humidité.

Liste des figures

Figure 1 : photographie d'une plante de « <i>Lycopersicon esculentum</i> Mil ».....	2
Figure 2 : Schéma d'un four à microonde	13
Figure 3 : Photographie étuve memmert.....	14
Figure 4 : évolution de taux de humidité en fonction de temps.....	14
Figure 5 : évolution de vitesse de séchage en fonction de temps.....	14
Figure 6 : Représentation schématique des mécanismes de transferts de matière et de chaleur lors d'une opération de séchage.....	20
Figure 7 : schéma général du plan de travail.....	23
Figure 8 : photos d'échantillon préparé pour séché dans l'étuve.....	25
Figure 9 : photos d'échantillon préparé pour séché dans microondes.....	25
Figure 10 : photographie des échantillons de la tomate après séchage et broyage (étuve).....	26
Figure 11 : photographie des échantillons de la tomate après séchage et broyage (microonde).....	26
Figure 12 : Protocole d'extraction des composés phénoliques.....	27
Figure 13 : Protocole dosage des composés phénoliques.....	28
Figure 14 : Protocole d'extraction des caroténoïdes.....	29
Figure 15 : Protocole de pouvoir antiradicalaire.....	31
Figure 16 : Protocole de Pouvoir réducteur.....	32
Figure 17 : Protocole de détermination de l'activité antioxydant par le cation ABTS ⁺	33
Figure 18 : Teneur en eau de la tomate.....	33
Figure 19 : Le Ph des poudres de la tomate à différentes puissances.....	34
Figure 20 : évolution de la teneur en eau de la tomate séchée à l'étuve ventilée pour les différentes températures (100, 80 et 60 °C).....	35
Figure 21 : évolution de la teneur en eau de la tomate séchée à l'étuve ventilée pour la différente puissance (800 et 500w).....	36

Figure 22 : Modèle exponentiel T=100°C.....	37
Figure 23 : modèle puissance modifiée T=100°C.....	38
Figure 24 : Modèle exponentiel T=80°C.....	38
Figure 25 : modèle puissance modifiée T=80°C.....	39
Figure26 : Modèle exponentiel T=60°C	39
Figure27 : modèle puissance modifiée T=60°C.....	41
Figure 28 : Modèle exponentiel P=800W.....	41
figure 29 : modèle puissance modifiée P=800W.....	42
Figure 30 : Modèle exponentiel P=500W.....	42
figure 31 : modèle puissance modifiée P=500W.....	44
Figure 32 : Teneur en polyphénol totaux des extraits de tomate séchées, au microonde et à l'étuve ventilée.....	46
Figure 33 : Teneur en caroténoïdes totaux des tranches de tomate séchées, au microonde et à l'étuve ventilée.....	47
Figure 34 : Teneur en lycopène des tranches de tomate séchées, au microonde et à l'étuve ventilée.....	48
Figure 35 : Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH+ des différents échantillons de tomates séchés au microonde et a l'étuve.....	49
Figure 36 : pourcentage d'inhibition du radical stable ABTS de la tomate séchée à l'étuve et micro-onde.....	50

Liste des tableaux

Tableau I : Classification botanique de la tomate.....	4
Tableau II : Valeurs nutritionnels et énergétique de 100 g de tomates crue	5
Tableaux III : Composition en vitamine de 100 g de tomates crue	5
Tableaux IV : Composition en minéraux de 100 g de tomates crue.....	6
Tableaux V : Composition en composés phénoliques de 100 g de tomates	7
Tableau VI : Production de la tomate à Bejaia	8
Tableau VII : Saisons de plantation des tomates en Algérie	7
Tableau VIII : Superficies rendement des tomates	9
Tableau IX : Variétés les plus cultivées	10
Tableau X : Variétés les plus cultivées à Bejaia	11
Tableau XI : Modèles semi théoriques de séchage en couche mince.....	41
Tableau XII : Paramètres de la modélisation du séchage cinétique par micro – onde.....	44

Introduction

Introduction

Introduction

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) est l'un des fruits et légumes les plus importants et le plus cultivé dans le monde à cause de son utilisation dans le secteur agroalimentaire et de sa richesse en éléments nutritifs notamment en lycopène et le β -carotènes. Plusieurs études ont montré l'effet médicinal de la tomate sur plusieurs maladies telles que le cancer et les maladies cardiovasculaires. Cependant ce légume est très riche en eau ce qui le rend périssable, D'où des techniques de conservations sont recommandées pour la préservation de ces éléments nutritifs (Naika, Van Lidt de Jeude et al. 2005)

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes de conservation des aliments qui consiste à éliminer l'humidité contenants dans le produit, il existe plusieurs méthodes de séchages, parmi ces méthodes séchage solaire, par ébullition et séchage assisté par microonde on peut ajouter à ces méthodes le séchage conventionnel (assister par étuve) (Taheri-Garavand, Rafiee et al. 2011).

Pendant le séchage par ces deux méthodes deux paramètres interviennent qui sont la puissance et la température, ces deux facteurs influencent significativement les paramètres de séchage tel que le temps et la cinétique de séchage. Pour avoir les meilleurs résultats de séchage par microonde, la puissance appliqué au produit doit être maitrise au cour de processus, cette maitrise passe par la régulation de la puissance spécifique (Mikula 1992).

Et pour avoir la meilleure qualité de produits la température de séchage par étuve doit être maitrise pour préserver la qualité de de produit.

L'objectif de cette étude est de faire une comparaison entre le séchage conventionnel (étuve) à des différentes températures et le séchage innovant (par microonde) à des déférentes puissances, pour déterminer la meilleure méthode qui permet de mieux préserver la qualité de produits.

Introduction

La première partie de ce travail est consacrée pour des généralités sur la tomate, la production nationale et mondiale de ce fruit, sa composition en antioxydants, et ses différentes utilisations, et la deuxième partie est consacrée pour l'étude des cinétiques de séchages, où on a discuté les deux méthodes utilisées et on a cité les avantages et les inconvénients de chaque méthode.

Le reste des parties est dédié aux matériel et méthodes, où on a présenté les différents appareils utilisés et qui nous ont permis d'atteindre l'objectif de cette étude expérimentale, avec la réalisation des différents tests biochimiques et physicochimiques, et les résultats qui sont présentés.

Chapitre I :

Généralités

sur

la tomate

I.1. Historique

La première tomate est apparue dans les régions des Andes de Pérou et du nord de Chili. On a retrouvé ses premières traces de culture par les Aztèques vers 1400. Suite à la conquête de Mexique par l'espagnol Hernán Cortés en 1519 elle a été transportée en Europe. Les espagnols l'avaient distribué à travers leurs empires, Iles Caraïbes et Philippines puis au reste de l'Asie (N'zi, Kouamé et al. 2000).

La tomate a été décrite pour la première fois en 1544 par l'herboriste italien (Bellili, Khenouche et al. 2013). Elle est longtemps considérée comme toxique, et on lui associait tous types de vertus maléfiques à cause de sa ressemblance avec la mandragore. Elle a fait son apparition dans un livre de recette parisien en 1750 (N'zi, Kouamé et al. 2000).

En Algérie, elle a été introduite par les cultivateurs de sud de l'Espagne, et sa culture a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit ensuite vers le centre, notamment au littoral algérois. Les botanistes ont attribué plusieurs nominations à la tomate, à savoir « *Solanum esculentum*, *Solanum lycopersicum* L, ou *Lycopersicon lycopersicum* » et le nom finalement retenu a été *Lycopersicon esculentum* Mill, qui est attribué par Philip Miller en 1754 (Broglie, Guérout et al. 2005).

I.2. Description et classification botanique de la tomate

I.2.1. Description botanique

La tomate « *Lycopersicon esculentum* Mill » joue un rôle important dans l'alimentation. Elle est cultivée pour son fruit qui est riche en vitamines A et C et en sels minéraux (Naika, Van Lidt de Jeude et al. 2005), c'est une plante herbacée de la famille des solanacées, elle est aussi appelée : « *Solanum spurium* J.F.Gmel » ou « *Lycopersicon solanum* Medik » (Broglie, Guérout et al. 2005).

Ces racines pivotantes sont poussées jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. Et sa tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m, elle est pleine, fortement poilue et glandulaire, et son port de croissance varie entre érigé et prostré (van Dam, Goffau et al. 2005).

Les feuilles de la tomate sont disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Et ses fleurs sont bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées aux - ou entre les feuilles (van Dam, Goffau et al. 2005).

Le fruit de la tomate est baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits

mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés (**van Dam, Goffau et al. 2005**). Par contre ces Graines sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large (**van Dam, Goffau et al. 2005**).

I.2.2. Classification

La tomate (*Solanum lycopersicum L.*) appartient à l'ordre des *Solanales* et à la famille des **Solanacées**). C'est une plante herbacée, vivace à l'état naturel, et annuelle en culture. Le tableau I si dessous représente Classification botanique de la tomate :

Tableau I : Classification botanique de la tomate

de

« *Lycopersicon esculentum Mill* » (**Costa and Heuvelink 2005**)

Règne	Plantae
Sous règne	<i>Trachenobionta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe	<i>Asteridae</i>
Ordre	<i>Solanales</i>
Famille	<i>Solanaceae</i>
Genre	<i>Solanum ou Lycopersicon</i>
Espèce	<i>Lycopersicon esculentum Mill</i>



Figure 1 : photographie d'une plante Tomate. (Syngenta 2018).

I.3. Valeurs énergétiques et nutritionnelles de la tomate

Du point de vue botanique, la tomate est un fruit, mais elle est considérée aussi comme un légume. Son principal apport nutritionnel est sa richesse particulière en vitamine C et lycopenne, substances anti oxydantes dont les effets protecteurs sur la santé ont largement été démontrés, la tomate comme la plupart des fruit présente une très bonne densité nutritionnel (**Lecerf 2006**) . Elle est riche en eau (93 à 95%) et elle ne renferme que de faibles quantités d'éléments énergétique (environ 3% de glucides, moins de 1% de protéines, des traces de lipides) (**Lecerf 2006**).

Le tableau II ci-dessous représente les différentes valeurs énergétiques et nutritionnelles de la tomate (ANSES 2017).

Tableau II : valeurs nutritionnelles et énergétiques de 100 g de tomates crues (ANSES 2017)

Composants	Quantités
Eau	94,1 g
Protéines	0,86 g
Lipides	0,26 g
Acides gras saturés	0,056 g
Glucides	2,26 g
Sucres	2,25 g
Acides organiques	0,39 g

I.3.1. Vitamines

Les vitamines sont des substances organiques, essentielles pour la croissance, certains d'entre eux ne sont pas synthétisés par le corps humain ou ne sont pas en quantités suffisantes, alors elles doivent être apportées par certains aliments, en distinguant deux types de vitamines, les hydrosolubles et les liposolubles (Nève 2002). Le tableau III ci-dessous représente les différentes valeurs des vitamines de la tomate (ANSES 2017).

Tableaux III : composition en vitamines de 100 g de tomates crues (ANSES 2017)

Composants	Quantités
Vitamine A	074,83 µg
Vitamine C	15,5 mg
Vitamine E	0,66 mg
Vitamine B1	0,039 mg
Vitamine B2	0,019 mg
Vitamine B3	0,65 mg
Vitamine B5	0,21 mg

I.3.2. Minéraux

La tomate contient de nombreux minéraux et oligoéléments, et comme la plupart des fruits et légumes, elle apporte beaucoup de potassium (256 mg /100g) ce qui fait d'elle une source appréciable de ces importants minéraux (Beecher 1998). Il est assez abondant

également le chlore, le phosphore et le magnésium (environ de 10 mg / 100g). ils combinent avec les acides organiques pour donner des résidus aux propriétés alcalinisantes (basiques).

De ce fait la tomate, malgré sa saveur acide, et participe au maintien d'un bon équilibre acido-basique (**Broglie, Guérault et al. 2005**). Le tableau suivant représente les différentes valeurs des minéraux de la tomate.

Tableaux IV : composition en minéraux de 100 g de tomates crues (Causse, Damidaux et al. 2006)

Minéraux	Quantité
Calcium	8,14 mg
Cuivre	0,029 mg
Fer	0,12 mg
Iode	0,2 µg
Magnésium	10,1 mg
Phosphore	26,6 mg
Potassium	256 mg

I.3.3. Principaux antioxydants

La tomate est principalement consommée pour son apport en provitamine A sous forme de terpènes caroténoïdes. Ces derniers responsables de la couleur rouge de la tomate qui se présentent principalement sous forme de deux molécules : le lycopène et le bêta carotène. Ce sont là deux antioxydants très puissants participant dans les phénomènes de détoxification cellulaire (**Guil-Guerrero and Reboloso-Fuentes 2009**). A ces deux antioxydants, nous pouvons rajouter : le tocophérol, l'acide ascorbique, terpène et les polyphénols qui sont aussi présents en quantités appréciables dans les fruits de tomate (**Nève 2002**).

I.3.4. Caroténoïdes

Sont des pigments lipophiles jaune orange-rouge d'origine végétale. Plus de 600 composés sont identifiés (**Lecerf 2006**). Ce sont des métabolites secondaires, c'est-à-dire des composés synthétisés par les végétaux et pour avoir un rôle essentiel dans leur métabolisme. La tomate fournit 9 des 40 caroténoïdes qui sont présents dans le sang et les tissus. Elle contient majoritairement du lycopène (de 5 à 71 mg/kg), en moyenne 30 mg/kg soit 3 mg/100 g, du β -carotène (de 4 à 17 mg/kg), de la lutéine (de 0,5 à 2 mg/kg). La tomate est la source principale de lycopène (**Lecerf 2006**).

I.3.5. Polyphénols

Ils Constituent une famille de molécules organiques largement présente dans le règne végétal. Ils sont capables de piéger les radicaux libres découlant aussi bien des réactions d'oxydations de différents nutriments que de celles de l'organisme. Les polyphénols sont communément subdivisés en phénols simples, acides phénoliques « tels que l'acide férulique, l'acide chlorogénique, l'acide caféique » et flavonoïdes « tels que la quercitine, le kaempférol » (**Lecerf 2006**). Enfin ils jouent un rôle important à la fois dans la protection contre le cancer et les maladies cardio-vasculaires (**Tsao 2010**).

Les différents teneurs en antioxydants sont représentés dans le tableau V :

Tableaux V : Composition phénoliques de 100 g de tomates (**ANSES 2017**)

Polyphénols	
Flavonoïdes	0,29 mg
Acide phénolique	3,87 mg
Polyphénols totaux	4,16 mg

I.4. Production de la tomate

I.4.1. Production mondiale

La tomate en générale, le 2^{ème} légume le plus consommé juste après la pomme de terre, sa production mondiale s'est augmenté de 35% au cours des dix dernières années et elle se répartit comme suit : l'Asie 45%, l'Europe 22%, l'Afrique 12,1%, l'Amérique du nord 11% l'Amérique du sud et centrale 8% (**Soro, Dumbia et al. 2007**).

Dans le première rang se trouve la Chine avec une production de 25% suivit par USA avec 9% puis la Turquie 8%, l'Inde 7%, l'Égypte 6%, l'Italie 6%, l'Iran 4% et l'Algérie se trouve avec un pourcentage de 1% de production mondiale. (**Giove and Abis 2007**).

La production mondiale de tomate progresse régulièrement de 64 million de tonne en 1988 à plus de 100 millions aujourd'hui. Par contre Les échanges de tomates représentent plus de 17% du commerce mondial de fruits et légumes frais, et environ 4 millions de tonnes de tomates sont respectivement importées et exportées dans le monde chaque année (**Anonyme1.2018**).

I.4.2. Production nationale de la tomate

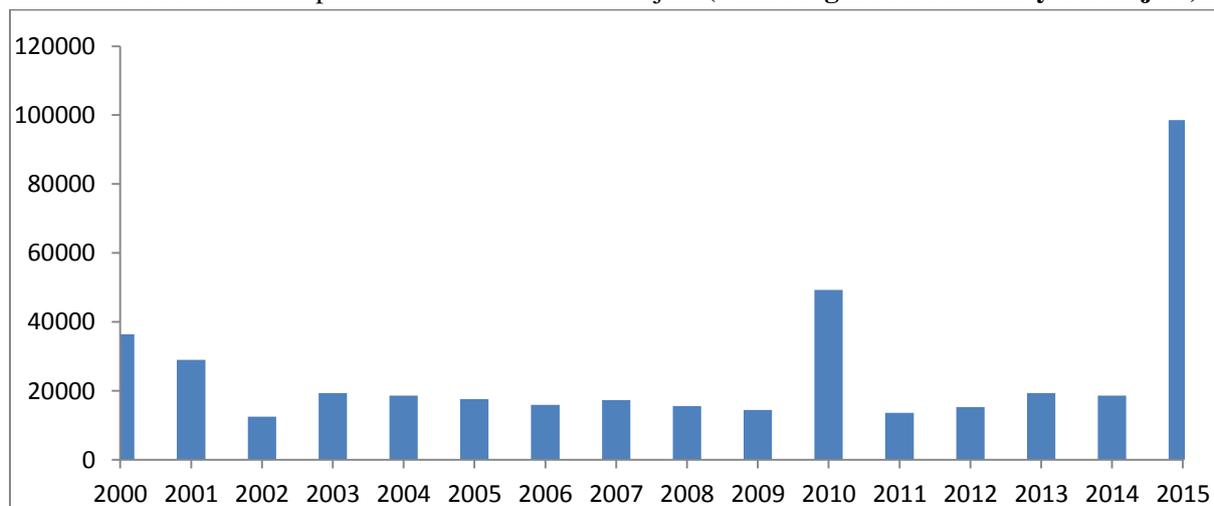
Les pays de la méditerranée couvrent 31% de la production mondiale de la tomate en 2005, avec un volume globale de 39 millions de tonnes environ. L'Algérie est situé au 19ème range mondial et ce fruit représente 7,62% de la production maraichère nationale (**Giove and**

Abis 2007). La culture de la tomate est en plein expansion et occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne, la superficie consacrée à cette culture est d'environ 42 000 ha, avec une production estimée à 372 096 tonnes en 2009 soit un bilan de 2,5 % de rendement.

I.4.3. Production Dans la wilaya de Bejaia

Les superficies utilisées pour la culture de la tomate sont en nette régression de 367 ha en 2003, et elles sont diminuées jusqu'à 200,5 ha en 2011 (**DSA, 2012**). Le tableau 6 représente la production de la tomate à Bejaia depuis l'année 2000.

Tableau VI : La production de la tomate a Bejaia (service agricole de la wilaya de Bejaïa)



I.5. Importance économique de la tomate en Algérie

La culture de la tomate occupe une place importante dans l'économie agricole algérienne, où près de 33 000 ha sont consacrés annuellement pour ça (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 quintaux (**Bouid and Bedrani 2013**).

I.6. Culture et condition de la tomate

La tomate est une plante annuelle, qui peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres, cependant, en Amérique du Sud, il est possible de récolter d'une même plante pendant plusieurs années d'affilée (**van Dam, Goffau et al. 2005**).

Les Conditions qui permettent de garantir une bonne culture sont : Le climat, le sol, la température et la lumière. Elle demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide. La

température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C, ce fruit réagit aux variations de température qui ont lieu pendant le cycle de croissance.

L'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits. Elle pousse bien sur la plupart des sols minéraux qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau, une bonne aération et qui sont libres de sels. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées. La couche superficielle du terrain doit être perméable (**Naika, Van Lidt de Jeude et al. 2005**).

Il est conseillé de prévoir le repiquage en fin de journée, au coucher du soleil, après une bonne irrigation (20 à 30 mm). Une profondeur de sol de 15 à 20 cm est favorable à la bonne croissance d'une culture saine (**N'zi, Kouamé et al. 2000**).

I.7. Saison de plantation de la tomate

Elle est plantée dans tous les pays, sous toutes les latitudes, Elle est également très cultivée dans les jardins potagers des particuliers, donnant lieu à une autoconsommation importante. En culture au plein champ la multiplication se fait par semis de février à mars, sous abri en climat tempéré sous serre ou sous châssis vitré. Les jeunes plantes obtenues sont à repiquer entre le 15 avril et le 15 mai (**Mazoyer 2002**). Les saisons de plantation des tomates sont présentées dans le tableau 6

Tableau VII : Saisons de plantation des tomates en Algérie (**Alaoui**).

	Plantation
Saison Semis en février -mars avril.	à partir du 15 mars (selon les régions).
Arrière –saison Semis en juillet –août	du 15 juillet au 15 août.
Primeur Semis en octobre -novembre -décembre - janvier.	sous serre novembre- décembre -janvier – février.

I.7.1. Récolte des cultures de tomate

Pour la maturité de la tomate il lui faut environ entre 55 à 105 jours selon la variété de tomate. Et la récolte de ce fruit se fait quand la tomate est entièrement mure, la plupart des variétés sont rouge foncé, et la lumière n'est pas nécessaire pour mûrir les tomates non mures (**Naika, Van Lidt de Jeude et al. 2005**).

Puisque la couleur rouge ne se développe pas à moins de 10°C, il est préférable de ne pas stocker les tomates vertes au réfrigérateur, si nécessaire, murissez les fruits à 21° C.

Les tomates vertes peuvent être stockées à 10-21°C pendant une à trois semaines, et les tomates mûres devraient être stockées à 7 - 10 °C pendant quatre à sept jours (**Alaoui**).

La tomate est aujourd'hui mécanisée sur 100% des surfaces. Les récolteuses coupent les plantes qui montent dans le corps de la machine. Un système de secouage permet de décrocher les fruits des tiges. Les fanes sont éliminées par l'arrière de la machine, et les fruits sont collectés et dirigés vers un tapis où ils subissent un tri colorimétrique, au moyen de détecteurs optiques, puis un tri manuel par du personnel embarqué (**Bellili, Khenouce et al. 2013**) Les fruits conformes aux exigences de la filière sont enfin chargés par un système de bras mobiles dans des containers appropriés à leur transport vers les usines (**Alaoui**).

I.7.2. Superficies et le rendement

Les superficies accordées par l'Algérie pour la production de la tomate ont connu une augmentation très importante à partir des années 1971 jusqu'à les années 1980 pour atteindre une superficie maximale de (35 960 ha) en 1999 avec un rendement de 16 tonnes ; mais depuis elles ne cessent de régresser pour se situer aux environs de 12 000 ha en 2009 (**Bouزيد and Bedrani 2013**). La superficie et le rendement de la tomate en Algérie est présenté dans le tableau ci-dessous

Tableau VIII : Superficies rendement des tomates(Alaoui).

Période	Rendement moyen annuel (Tonnes/ha) durant la période	Superficie annuelle moyenne (ha) par période
1971-1980	8	8 110
1981-1990	9	14 498
1991-2000	16	28 024
2001/2009	22	19 471
2005-2009	26	14 618

I.8. Variétés les plus cultivées

Il existe plusieurs variétés de tomates mais en générale il existe quatre grandes familles classées suivant leurs tailles: les tomates à grand fruit (100 g et plus), les tomates cocktail à fruit moyenne (entre 30 et 50 g), les tomates cerises à petit fruit (15 à 20 g) et les tomates groseilles à très petit fruit (moins de 15 g).

On dénombre huit formes principaux de tomates : rond, rond aplatie, ronde allongée, cordiforme, piriforme, allongée étroite, cylindrique et en poire (**Anonyme 2**). Le tableau suivant représente les différentes variétés de la tomate excitantes selon leur taille et leur forme.

Tableau IX : Variétés les plus cultivées (anonyme 2 ;2018).

Variétés	Caractéristiques
Cornue des Andes	variétés de tomates produisant des fruits allongés et pointus en forme de cornes. Fruit a la chair dense et ferme, contenant très peu des pépins, croissance indéterminé
Prune noir	Variétés de type cocktail a fruit moyennes a petits de forme ovale a production en grappe. Sa peau et sa chair sont bronzées presque noir a plein maturités .croissance indéterminé.
Premio	Tomates en grappe de 5 à fruits bien ronde et régulière de couleur rouge et uniforme goûts très aromatique. Variétés à forts productivités croissance indéterminés.
Cœur de bœuf	Variétés fixe a très gros fruits en forme de cœur .tomates bien charnue appréciées pour sa teneur très faibles en pépins, reconnaissables à ces feuilles très fines découpés retombants le long de la tige Croissance indéterminé.
Corazone	Variétés très récents produisant de gros fruits côtelés et piriforme (forme de poire).fruit a la chair et très dense et très charnue, végétation vigoureuse et tolérantes aux maladies croissance indéterminés.

I.8.1. Variétés excitants à Bejaia

Les variétés les plus cultivées à Bejaia sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau X : Les variétés les plus cultivées à Bejaia (**anonyme 2**)

Agora	Forme ronde, taille moyenne et ferme
Zahra	Légèrement aplatie, d'une taille moyenne et bien ferme.
Nattih	Ronde, de petite taille (3-5 cm de diamètre) avec une bonne fermeté
Joker	Légèrement aplatie, ferme et de taille moyenne.

I.9. Processus de transformation des tomates

Un quart environ de la production mondiale de tomate est consommée sous forme de produits transformés industriellement. Les conserves de tomates regroupent les tomates pelées entières ou non, le jus de tomate, la pulpe de tomate et le concentré de tomate. Dans un tel contexte cette transformation est devenue l'une des plus grandes industries de transformation sur le marché. La tomate peut être transformée en différents produit, en sauce, en jus, en concentré....(**Cotte 2000**).

De nos jours, les transformations des tomates grandissent dans le but d'automatiser et d'industrialiser leur ligne grâce à des systèmes mécaniques et des structures de contrôle, parmi les lignes de transformation de la tomate on trouve les produites suivants : Les jus de tomate, Les concentrés, la tomate desséchée et les conserves.

I.9.1. Concentrés

Après le lavage des tomates, ces dernières seront suivi d'un procédés d'épépinage ce qui va éviter de donner un gout amer au produit final. Ensuite, elles vont subir un broyage à froid avant d'être chauffées à (65-90°C) selon leurs degrés de coloration, ce traitement à pour but de détruire les enzymes pectolytiques ce qui permet de conserver au produit final une certaine consistance (**Cotte 2000**).

Ces étapes sont suivies par les opérations de tamisage (tamis de 2 mm) et de raffinage (tamis de 0.8 mm) qui vont séparer la pulpe des peaux, fragments grossier et graines non éliminés lors de l'épépinage, et la pulpe est ensuite concentrée par évaporation de l'eau contenue dans la pulpe. Une adjonction de sel est possible avant la mise en boîte (**Cotte 2000**).

I.9.2. Jus de tomate

Après le nettoyage, le lavage et le triage des tomates, le jus est obtenu par broyage à chaud suivi de tamisage et de raffinage, dans des appareillages différents de ceux utilisés pour les concentrés afin de ne pas incorporer de l'air (**Cotte 2000**).

Le jus est ensuite soumis à plusieurs opérations telles que la filtration, l'homogénéisation, la stérilisation, etc.

I.9.3. Tomate séchée

La perte d'eau est importante puisque cinq kilogrammes de tomates à maturité fournissent environ une livre (environ 500 g) de tomates séchées, pourtant utilisables dans des recettes très diverses en remplacement des tomates fraîches. Ce procédé préserve la qualité nutritionnelle, en particulier la teneur en lycopène, antioxydants, vitamine C et faible en sodium, lipides et calories. La première partie de l'opération consiste à préparer le produit (lavage découpage et trempage dans un bain de conservation). Viennent ensuite les étapes de triage et de broyage. Enfin la poudre de tomate est prête (**Cotte 2000**).

La poudre de la tomate est utilisée dans de nombreux plats, elle nous permet de les assaisonner et de contribuer aux décorations d'assiettes, de salades ou de verrines. Elle peut se saupoudrer sur des grillades ou des rôtis. Elle peut accommoder des soupes et agrémenter des desserts de type mousse au chocolat ou crème brûlée. (**Cotte 2000**).

Chapitre II :
Généralités sur
le séchage

II .1. Définition du séchage

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes de conservation des aliments. Pendant cette méthode l'eau est retirée d'un aliment, ce qui réduit le potentiel de croissance microbienne et les réactions chimiques indésirables (par ex. brunissement enzymatique), ce qui augmente la durée de conservation (**Gowen, Abu-Ghannam et al. 2008**).

Le séchage est une opération importante dans le domaine agricole et industriel. Il consiste à éliminer totalement ou partiellement l'eau d'un produit humide autre que son eau d'hydratation. En terme de physique, le séchage résulte le plus souvent d'un transfert simultané de chaleur et de masse au sein du produit à sécher et à l'interface entre ce matériau et l'environnement asséchant (**Bimbenet 1978**).

II. 2. Intérêt et principe du séchage

Le séchage est un procédé très ancien de conservation des produits agricoles et alimentaires. Son objectif est de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau (a_w) jusqu'à une valeur inférieure à 0,5. L'opération de séchage peut être considérée comme une opération de formulation ou de texturation, qui est lorsqu'elle est convenablement conduite, est capable de fournir des produits nouveaux, faciles d'emploi. (**Bonazzi and Dumoulin 2011**)

Parmi les intérêts de l'utilisation du séchage dans les industries agroalimentaires IAA :

- ❖ Augmenter la durée de conservation des produits.
- ❖ Stabiliser les produits agricoles (maïs, riz, lait, ...), et les coproduits industriels (farines de viande et de poisson, ...).
- ❖ Produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation, également appelés produits alimentaires intermédiaires (PAI).
- ❖ réduire considérablement la masse et le volume des produits, ce qui facilite leur transport, stockage et manutention (**Bonazzi et Dumoulin 2011**).

II. 3. Différents types de séchage

II.3.1. Séchage par ébullition

Un séchage par ébullition consiste sans doute à porter le produit à température d'ébullition de l'eau et à lieu lorsque la température du produit est élevée à une valeur telle que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale à la pression totale ambiante : $P_v = P$. la température d'ébullition dépend de la pression totale (elle est plus basse sous vide qu'à pression atmosphérique) et de l'activité de l'eau du produit (**Djerroud 2010**).

II.3.2. Séchage par entraînement

Ce type de séchage est effectué par un courant d'air sec et chaud, ce qui provoque un écart de température et de pression partielle de vapeur d'eau, suivi par un transfert de chaleur de l'air vers les produits et un transfert d'eau en sens inverse de fait de l'écart de pression (**Djerroud 2010**).

II.3.3. Séchage solaire

Le séchage solaire se fait traditionnellement sur le toit des maisons à l'air libre pendant 3 semaines, il permet de déshydrater les fruits. Les produits durs et poussiéreux sont d'une qualité très médiocre et sans de forte valeur ajoutée. Dans la situation actuelle, les fruits sont séchés au bord de la route ou dans les champs et même le sol. Ces conditions de séchage ne permettent pas la commercialisation de ce produit et limitent sa qualité. La période de séchage se déroule durant les mois de juin, juillet et août. Durant cette période, les données climatiques sont favorables au séchage.

En effet, l'ensoleillement est d'environ 350 heures par mois (pour les mois de juin, juillet, août). C'est un système de séchage solaire peu coûteux et permettant une optimisation de la qualité des fruits secs (**Bonazzi, Dumoulin et al. 2008**).

II.3.4. Séchage par microonde

Le chauffage par microondes est basé sur les propriétés de l'interaction du champ électrique avec les constituants d'un produit. Sous l'action d'un champ électrique alternatif variant 2450 millions de fois par seconde, les molécules polaires ont tendance à suivre la variation du champ électrique. Ce phénomène engendre une agitation moléculaire qui est à l'origine de l'échauffement dans la matière. À noter que du fait de la configuration

asymétrique de la molécule d'eau, définissant une polarité exceptionnelle, l'eau est le matériau idéal pour le chauffage par microondes (**Mikula 1992**).

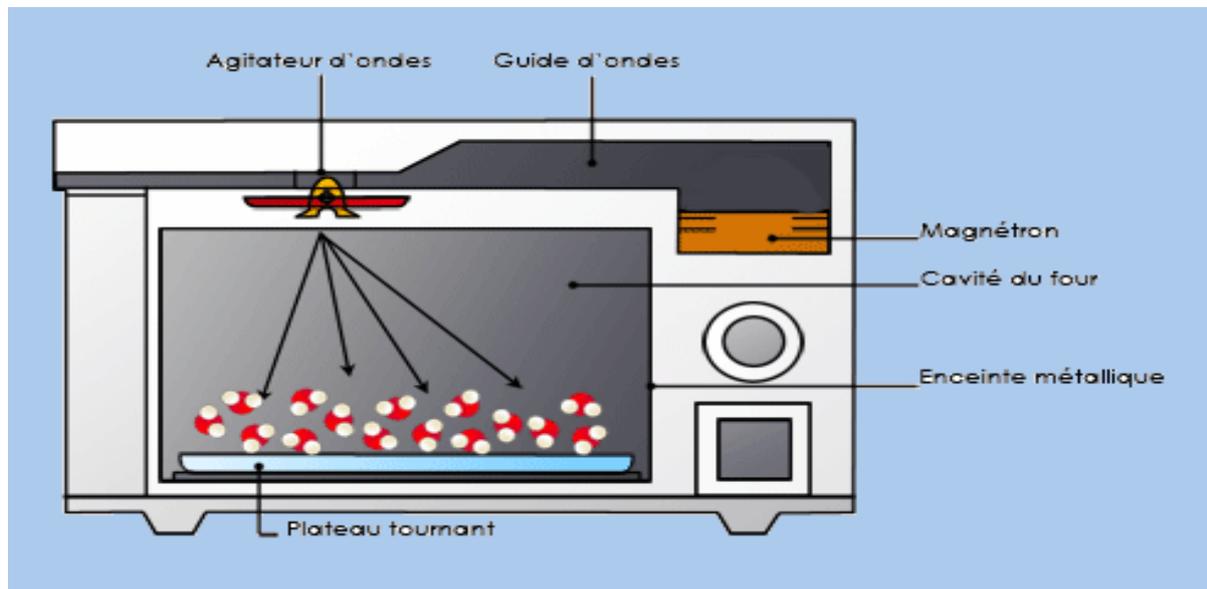


Figure 2 : Schéma d'un four à microonde « anonyme 2 ».

II.3.4. 1. Avantages de séchage par microonde

Selon (**Mikula 1992**) il existe plusieurs avantages de microonde ; parmi eux :

- La chaleur s'effectuant dans le produit. On obtient un chauffage dans la masse.
- Le séchage est direct et rapide en raison de fortes densités de puissance qui peuvent être appliquées.
- L'absence d'inertie permet une régulation et un asservissement aisé.
- La production de la chaleur étant liée à la nature de la matière elle-même.
- Le chauffage est sélectif qui veut dire que seul le produit est chauffé, et non l'environnement, d'où les suppressions des déperditions dans l'enceinte.

Néanmoins, selon (**Mikula 1992**) ce type de séchage présente certains inconvénients, mais l'inconvénient principal est :

- Son coût élevé.

II.3.5. Séchage par étuve

Dans une étuve de séchage, tous les processus thermiques sont effectués de manière très efficace causée par l'échange d'air important. Grâce à la répartition thermique homogène et la réponse dynamique rapide il ya une élimination des quantités importantes d'eau de produit, cette étuve de chauffage économise un temps de travail précieux. Elle doit en outre être équipée d'un ventilateur puissant (Chekroune 2009).



Figure 3 : photographie d'une étuve memmert

II.4. Cinétique du séchage

Les caractéristiques du séchage d'un produit alimentaire ont une meilleure description lorsqu'elles sont représentées par des courbes (c'est-à-dire consiste à mesurer expérimentalement sa cinétique de séchage). L'une des plus intéressantes et indispensable représentation de ces cinétiques est le taux d'humidité du produit n_s en fonction du temps t donnée sur la figure 4 et 5, ou encore la vitesse du séchage dn_s/dt en fonction du temps t .

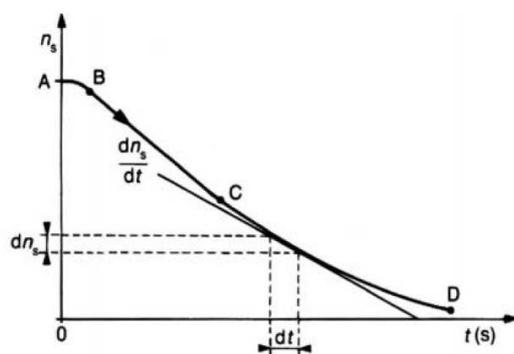


Figure 4 : évolution de taux de Humidité en fonction de temps.

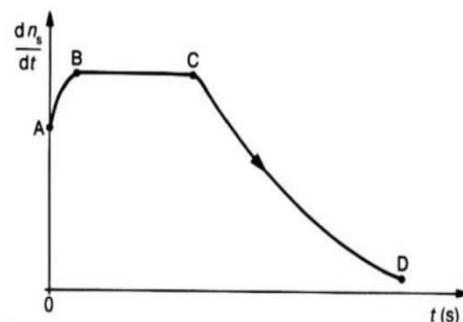


figure 5 : évolution de vitesse de séchage en fonction de temps.

II.4.1. Période du séchage

II.4.1.1. Période I ou phase mis en température (AB)

C'est une phase transitoire de mise en température du produit à sécher. Elle correspond à une période initiale de fonctionnement de toute l'installation donc elle n'est pas particulière au phénomène de séchage.

II.4.1.2. Période II ou phase à vitesse constante (BC)

C'est une phase à vitesse de séchage constante. Cette période à un flux de vaporisation constante et qui correspond à l'évaporation superficielle de l'eau libre, son activité d'eau en surface reste proche de 1 (**bimbenet, j et al**).

II.4.1.3. Période III ou phase à vitesse ralentie (CD)

C'est une phase à vitesse de séchage décroissante, on parle aussi de période ralentie. La surface du produit passe sous la limite supérieure du domaine hygroscopique, l'activité de l'eau (a_w) en surface devient inférieure à 1, et les transferts internes de matière deviennent limitantes. La teneur en eau du produit diminue jusqu'à qu'elle atteindre une teneur en eau limite (**bimbenet. J et al**).

II .5. Notion d'équilibre et activité de l'eau

L'eau contenue dans les produits n'est pas pure (elle contient des solutés), ni libre des liaisons avec des molécules insolubles, et le corps solide n'est pas plan (ménisques dans les pores), ni complètement compact. Il s'en suit divers phénomènes d'interactions résumés, en état d'équilibre thermodynamique, sous la notion d'activité de l'eau (A_w). Elle dépend de la composition du produit, de la teneur en eau et de la température (**Kinsella, Fox et al. 1986**).

$$A_w = P/P_0$$

P : la pression de vapeur d'eau.

P_0 : la pression de vapeur d'eau pure.

L'eau peut donc être considérée comme étant formée de :

❖ II.5.1. Eau libre

Il s'agit de la principale forme sous laquelle se présente l'eau dans les fruits et légumes frais ; il s'agit alors d'une forme solvant quelques composés et sels. Notons que dans le cas de corps "solides", l'eau retenue dans les espaces interstitiels et les pores par des forces de capillarité liées à la tension superficielle de la phase liquide, présente des propriétés semblables à celles de l'eau libre ($A_w = 1$) (Kinsella, Fox et al. 1986).

❖ II.5.2. Eau liée

Une partie de l'eau est retenue par les substances. Elle ne fait pas partie de la phase hydrique réelle et ne contribue pas à la dissolution des éléments solubles tels que le sel... l'eau liée peut, par contre, être adsorbée par des forces de cohésion plus importantes avec la matrice solide et/ou avec les autres molécules d'eau (forces physicochimiques de type Van der Waals, liaison hydrogène ou autres) (Kinsella, Fox et al. 1986). Généralement, l'eau autour des solides inclut.

❖ II.5.3. Eau structurale

Qui donnerait aux molécules solides leur conformation spatiale grâce à des liaisons hydrogènes, répulsions hydrophobes...

❖ II.5.4. Eau en mono-couche

fixée sur la surface d'échange du solide grâce à des sites spécifiques d'interactions électrostatiques et liaisons hydrogènes (Kinsella, Fox et al. 1986).

II.6. Mécanisme intervenant au cour du séchage

Le séchage est une opération complexe qui met en jeu des transferts couplés de matière (diffusion) et de chaleur (fait appel aux trois modes de transfert : convection - conduction - rayonnement) (Bonazzi and Dumoulin 2011).

II.6.1. Transfert de chaleur

Le transfert d'énergies à lieu chaque fois qu'un gradient de température existe à l'intérieur d'un système Il existe 3 mécanismes de transfert de chaleur :

II.6.1.1.Par Conduction

La conduction est le mode de transfert de chaleur sans déplacement apparent de la matière sous l'effet d'un gradient de température. C'est le seul mode de transfert intervenant au sein des milieux solides (**Bonazzi and Dumoulin 2011**).

Ce mécanisme se base sur un contact direct du produit avec une surface chauffante sur laquelle il est posé. La théorie de la conduction repose sur la loi de Fourier.

$$\Phi = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} A$$

Φ (W) : Quantité de chaleur échangée par unité de temps.

λ (W · m⁻¹ · K⁻¹) : Conductivité thermique de produit ou s'effectue le transfert.

A (m²) : Surface de transfert.

$\frac{\partial T}{\partial x}$: Gradient de température entre la paroi chaude et le produit.

II.6.1.2.Par convection

C'est un phénomène d'échange de chaleur entre une surface et l'aliment en mouvement ayant des températures différentes. Dans ce cas le produit à sécher reçoit un courant gazeux chaud qui fournit la chaleur nécessaire à l'évaporation du liquide et entraîne la vapeur formée. En séchage industriel, il s'agit probablement du mode de transfert d'énergie le plus courant. Il consiste à mettre en contact un gaz (air) s'écoulant en régime généralement turbulent autour du corps à sécher qui peut se présenter sous forme de particules, de gouttelettes, de films ou de plaques (**bimbeenet j,j**). Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$\Phi = hA(T_p - T_\infty)$$

Φ (W) : Quantité de chaleur échangée par unité de temps

h (W.M⁻²K⁻¹) : Coefficient local de transfert de chaleur par convection

T_p (°K) : Température de la paroi considérée constante sur toute la surface A

T_∞ (°K) : Température du fluide.

A (m²) : Surface de transfert.

II.6.1. 3. Par rayonnement

Ce mode de séchage est destiné aux produits en plaque (viande) et aussi aux produits granulaires de faible épaisseur (1 à 2 cm). L'énergie est apportée au produit à sécher par des ondes électromagnétiques exemple de microonde générées soit par des dispositifs électroniques, soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge. Suivant la longueur d'onde. La puissance émise est chiffrée par loi de S. Boltzmann.

$$\Phi = \sigma \epsilon_p (T_p^4 - T_\infty^4) S$$

T_∞^4 (°K) : Température absolue du fluide.

T_p^4 (°K) : Température absolue de la surface émettrice.

σ ($\text{w.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$): Constante de Stefan-Boltzmann / $\sigma = 5.67.10^{-8} \text{w.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$.

ϵ_p : Facteur d'émission (émissivité) de la paroi ($0 < \epsilon_p < 1$).

A (m^2) : Surface de transfert.

II.6.2. Transfert de matière

Le transfert de masse joue un rôle très important dans les opérations unitaires de base réalisées au cours de la transformation des aliments, comme lors de procédé de séchage, au cours des procédés de transferts de masse, il y a migration de divers composés à l'intérieur d'une phase ou entre des phases par diffusion moléculaire et /ou par convection naturelle ou forcée, cette migration survient lors d'un changement dans l'équilibre d'un système causé par des différences de potentiels. On entend par différence, toutes différences de concentration d'une espèce à une autre (**Sharedeh 2015**).

L'eau migre de l'intérieur vers la surface du produit sous l'action de divers mécanismes qui peuvent se combiner. Il est généralement admis que le transport capillaire est l'un des mécanismes fondamentaux dans les produits poreux riches en eau.

Pendant un séchage convectif l'eau migre sous forme liquide pour s'évaporer à la surface au contact de l'air de séchage (**Zogzas, Maroulis et al. 1994**). La première loi de Fick exprime, dans un milieu isotrope, immobile et à volume constant, que la quantité de matière diffusante par unité de temps est liée au gradient de concentration par un coefficient de proportionnalité

appelé coefficient de diffusion ou diffusivité. Lors d'un mouvement monodirectionnel cette

loi s'écrit : $N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz}$

Le principe de conservation de la matière conduit à la seconde loi de Fick qui exprime la variation de la concentration en un point dans un système en régime transitoire ; toujours dans le cas d'un mouvement monodirectionnel (**Sharedeh 2015**). Elle s'écrit :

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{AB} \frac{dC_A}{dz} \right)$$

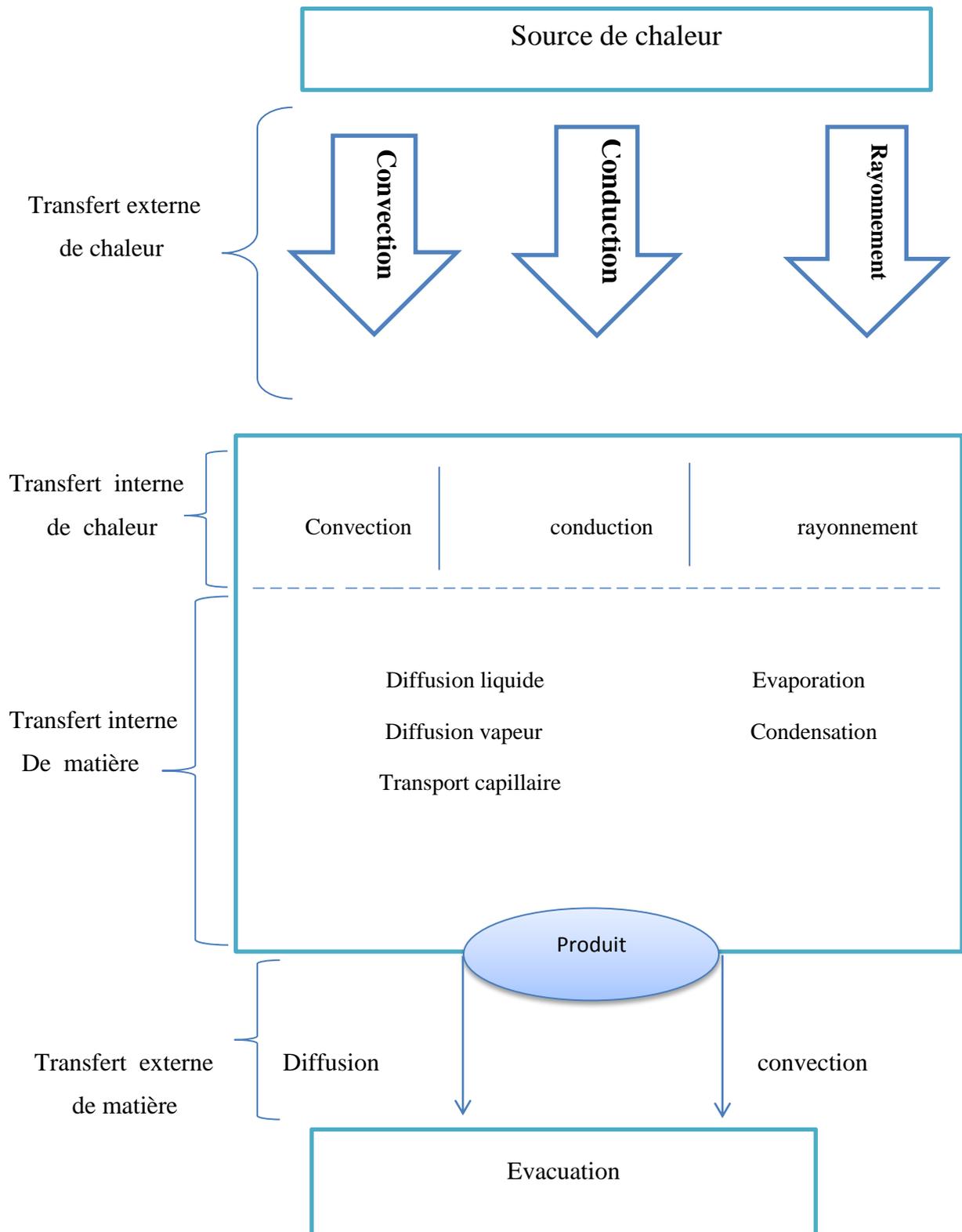


Figure 6 : Représentation schématique des mécanismes de transferts de matière et de chaleur lors d'une opération de séchage (Bimbenet j.j).

II.7. Phénomènes produits au cours du séchage

II.7.1. Réaction biochimique

La dégradation des aliments vient d'un grand nombre de réactions chimiques dues à la méthode de conservation utilisée comme le séchage. La structure des cellules alimentaires favorise certaines de ces réactions, leur point commun est qu'elles aboutissent toutes à l'altération de l'aliment concerné, ce qui est, bien sûr, indésirable. On distingue différents types de réactions :

- ✓ Le brunissement enzymatique,
- ✓ Le brunissement non enzymatique,
- ✓ réaction de Maillard,
- ✓ Modification des arômes et le goût et de la saveur causés par l'oxydation des vitamines et des matières grasses.

II.7.2. Phénomènes mécaniques

L'opération de séchage doit être menée de telle façon que la qualité du produit soit préservée à la fin de l'opération. La majorité des produits agroalimentaires sont modifiés par le séchage causé des phénomènes mécaniques qui se produisent au cours de cette opération et parmi ces phénomènes en trouve (Bonazzi, Dumoulin et al. 2008).

- ✓ Les phénomènes de migration des solutés vers la surface.
- ✓ migration de matière grasse.
- ✓ le craquelage, les fissures
- ✓ les déformations.

Chapitre III :

MATERIEL ET

METHODES

MATERIELS ET METHODES

III .1 . Présentation du sujet

La tomate « *Lycopersicon esculentum Mill* » joue un rôle important dans notre alimentation et elle est d'une qualité nutritionnelle très riche, surtout en antioxydants.

Elle est cultivée soit dans des serres ou dans les champs, elle est connue pour la première fois dans les régions des Indes et le Nord de Chili. La consommation de la tomate est devenue très importante depuis les années 90, elle est commercialisée à l'état frais ou sous forme de jus et des sauces et de conserve ou bien en poudre, cette dernière est obtenue par déshydratation de la tomate par les différentes méthodes de séchage, mais vu que les composés de la matrice choisie se dégradent facilement à la température, le choix de la méthode de séchage est la clé pour une opération réussie (**Naika, Van Lidt de Jeude et al. 2005**).

La tomate a été achetée fraîche au marché local et choisie d'une façon homogène, pièce par pièce en utilisant trois critères qui sont : la dimension, le degré de maturation (ni crue ni trop mure), et la morphologie externe (surface saine sans fissure).

Comment peut-on obtenir une poudre de tomate à partir de la tomate fraîche ?

Quelle est la méthode la plus adéquate pour le séchage de la tomate ?

III.2. Schéma de travail

Le schéma suivant résume le plan général du travail

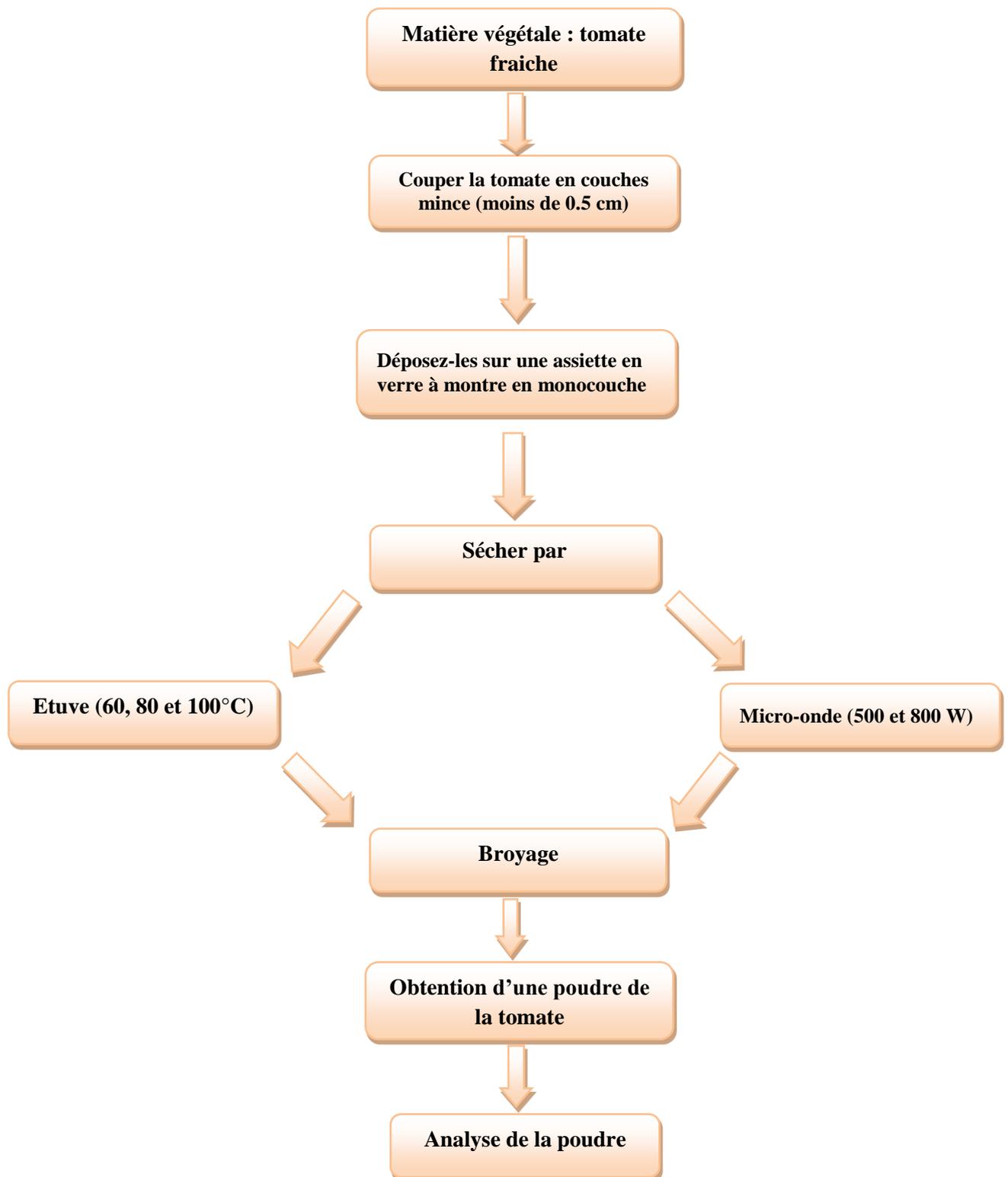


Figure 7 : schéma général du plan de travail.

1^{er} partie - Analyses physico-chimiques -**III.3. Taux d'humidité**

La teneur en eau est déterminée sur trois échantillons de la tomate frais dont chacun d'eux contient 5 g de matière végétale, coupée en tranche fine et déposée sur une assiette en verre à montre, puis séchée sur une étuve, à une température de 103 ± 2 °C pendant 3 heures après en Peser chaque 1 heure jusqu'à la stabilisation de poids (**Boivin et al., 2015**).

Le taux d'humidité est calculé selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{(M_i - M_f)}{M_f} * 100$$

H (%) : Taux d'humidité

M_i (g) : la masse de l'échantillon avant mis à l'étuve en gramme.

M_f (g) : la masse de l'échantillon après mis à l'étuve en gramme.

III.4. Ph

Le calcul du pH par définition, est une mesure de l'activité des ions H⁺ contenus dans une solution. 1g de broyat de tomate sont additionnés avec 25 ml d'eau distillée, le mélange est agité pendant 15 min suivi d'une filtration. Le filtrat récupéré a servi à la détermination des valeurs du pH à l'aide d'un pH-mètre (PH 211 HANNA INSTRUMENTS).

III.5. Cinétique de séchage

Des échantillons de 200 g ont été lavé avec l'eau de robinet suivi de l'eau distillée, puis découpé en tranches d'épaisseur inférieure de 0,5 cm puis elles ont été séchés par deux méthodes, par microonde deux puissances (500 et 800 W) et par l'étuve à différentes températures (100,80 et 60 °C).

III.5.1. Séchage micro-onde

Pour le séchage au micro-onde, les tranches fines de la tomate ont été étalées sur une assiette en verre à montre en monocouche, ensuite séchées au micro-onde de marque maxi power pour 2 puissances différentes (500 et 800 Watt) (Figure 9).

III.5.2. Séchage par étuve

La même méthode que la précédente a été réalisée pour le séchage à l'étuve, où les tranches fines ont été étalées sur une assiette en aluminium, puis ont subi un séchage à trois températures différentes (50, 70 et 90°C) (Figure 8).

Pour les deux types du séchage la perte de masse a été suivi périodiquement, jusqu'à avoir une valeur constante, et les essais par les deux méthodes ont été réalisées en triple pour chaque température et chaque puissance. Donc nous avons 6 échantillons séchés par micro-onde et neuf échantillons séchés par étuve.



Figure 8 : photos d'échantillon préparé pour séché dans l'étuve.



Figure 9: photos d'échantillon préparé pour séché dans microondes.

III.5.3. Broyage de matière végétale

Après chaque opération de séchage les échantillons séchés sont broyés à l'aide d'un broyeur type (IKA model A11 basic), et la poudre obtenue est conservée dans des flacons opaques.

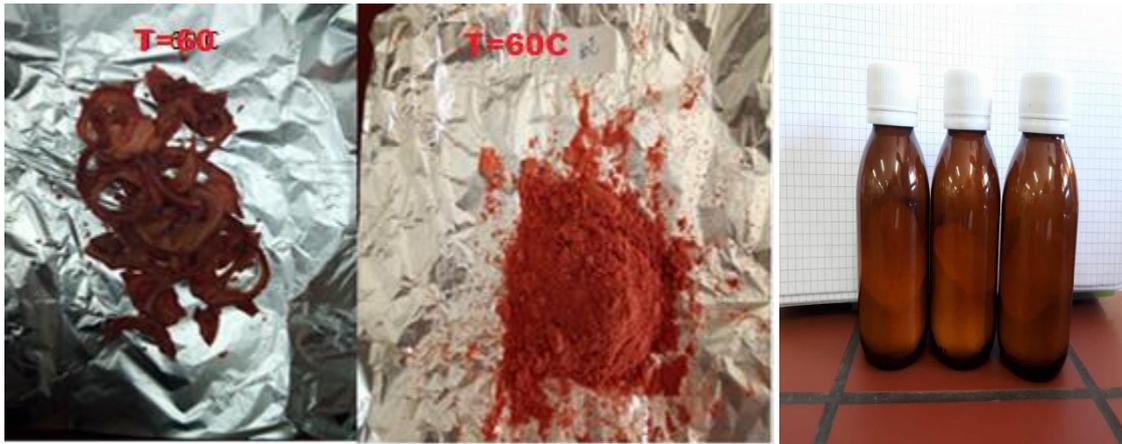


Figure 10 : photographies des échantillons de la tomate après séchage et broyage (étuve).



Figure 11 : photographies des échantillons de la tomate après séchage et broyage (microonde).

2^{ème} partie : - Analyses biochimiques -

III.6. Extraction et dosage des antioxydants

III.6.1. Composés phénoliques

III.6.1.1. Extraction

composés phénoliques de la tomate sont extraits à l'aide de quatre solvants de polarités différentes : le méthanol, le méthanol 50% (1v/1v), l'éthanol et l'éthanol 50% (1v/1v). La méthode d'extraction adaptée est celle de (Mau, Tsai et al. 2005).

5g de poudre sont ajoutées à 25 ml de solvant (éthanol 50 %). Le mélange est laissé pour une extraction de 24 heures à l'abri de la lumière. L'extrait est récupéré par filtration à l'aide d'un papier filtre, donc on a eu le premier extrait. Le retentat resté sur le papier filtre est ajouté à 25 ml de solvant (éthanol 50%) et laissé pour une 2^{ème} extraction de 24 heures. Le filtrat de cette deuxième extraction est additionné à la première extraction.

Le mélange des deux extractions est utilisé pour le dosage des polyphénols (**Figure 12**).

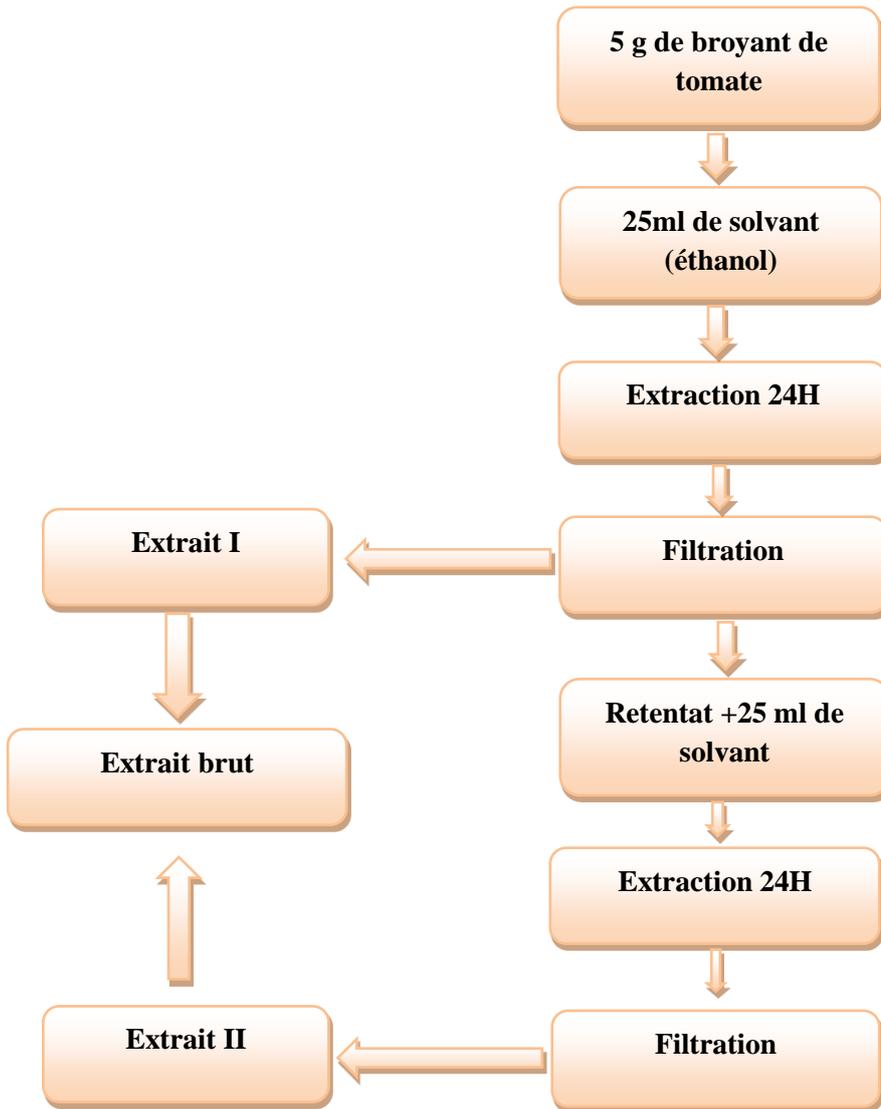


Figure 12 : Protocole d'extraction des composés phénoliques.

III.6.1.2. Dosage des composés phénoliques

Le dosage des composés phénoliques est effectué par le réactif de folin – ciocalteu, mélange de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$), est réduit en présence de polyphénol en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}). La coloration bleue produite est proportionnelle au taux des composés phénoliques dans le milieu réactionnel.

200 μ l de l'extrait (mélange) sont déposés dans un tube et mélangés avec 1500 μ l de Folin-Ciocalteu (dilué à 1/10) et 1500 μ l de Na_2CO_3 (60g/l), les tubes sont incubés à l'abri de la lumière pendant 1h30. Une mesure de l'absorbance est réalisée à une longueur d'onde de 760nm (Mau, Tsai et al. 2005).

Expression des résultats : Le taux de polyphénols totaux dans nos extraits a été calculé à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = ax + b$) établie avec des concentrations précises d'acides gallique comme standard de référence (Annexe II), dans les mêmes conditions que l'échantillon.

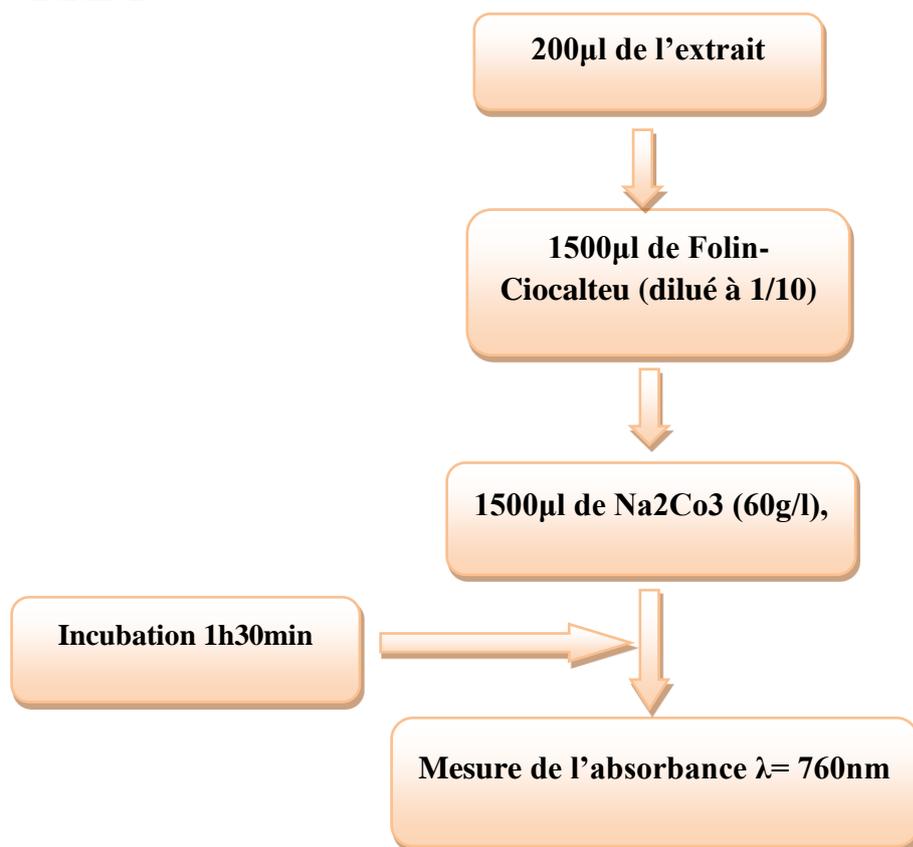


Figure 13 : Protocole Dosage des composés phénoliques.

III.6.2. Caroténoïdes

III.6.2.1. Extraction des caroténoïdes

les caroténoïdes sont extraits par la méthode (Sass-Kiss, Kiss et al. 2005). 20ml d'un mélange d'hexane : acétone : éthanol (2 :1 :1) sont ajoutés à deux grammes de broyat de tomate. Après agitation pendant 30 min, la phase supérieure est récupérée, ensuite 10 ml d'hexane sont ajoutés et une deuxième extraction est réalisée. Le mélange des deux extractions est utilisé pour le dosage des caroténoïdes totaux et du lycopène.

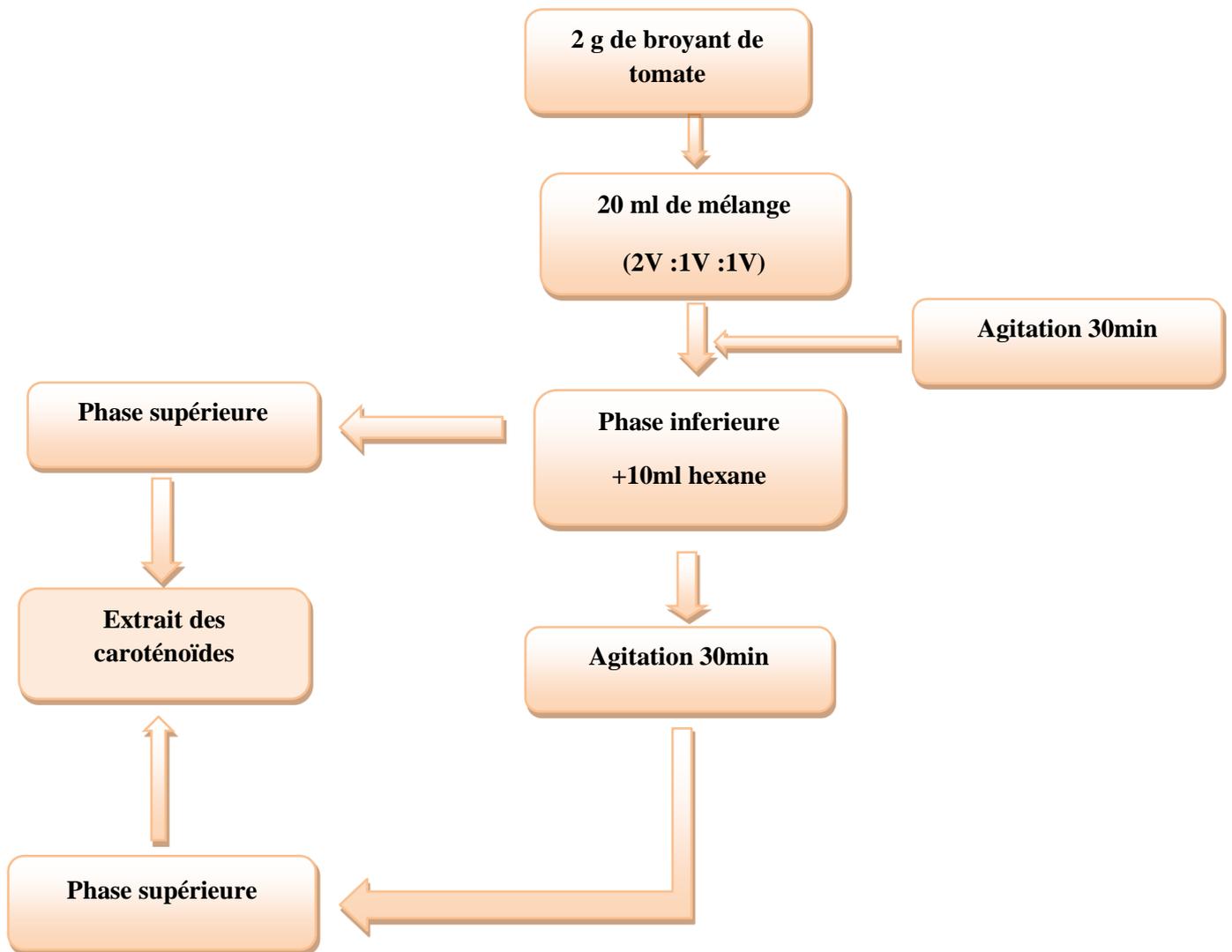


Figure 14 : Protocole d'extraction des caroténoïdes.

III.6.2.2. Dosage des caroténoïdes totaux

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles qui contiennent une structure de base formée d'une longue chaîne hydrocarbonée en C18 où alternent simples et doubles liaisons conjuguées qui sont responsables de l'absorption de la lumière par excitation des électrons des liaisons π (Rodriguez-Amaya 2001).

La mesure de la teneur en caroténoïde est réalisée par spectrophométrie (UV 1800) à une longueur d'onde de 420nm. Les concentrations des caroténoïdes sont estimées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant le β -carotène (Annexe II) ; les résultats sont exprimés en mg (E β C /g de MS).

II.6.2.3. Dosage de lycopène

Le lycopène est un pigment liposoluble, du fait de sa grande disponibilité, il est beaucoup utilisé comme colorant (E160d), c'est un tétra terpène de la famille des carotènes. Il est mesuré par spectrophotométrie UV 1800 à 472 nm. Les concentrations en lycopène sont calculées en utilisant le coefficient d'extinction (E%) 3450 (Rodriguez-Amaya 2001). La teneur en lycopène est exprimée selon la formule suivante :

$$C \text{ (Eq/g)} = (\text{Abs}_{472} * F_d * 10^6 * V) / (3450 * 100 * P)$$

Où:

F_d : Facteur de dilution

P : Poids de la prise d'essai

V : Volume du solvant d'extraction

3450 : Coefficient d'extinction de l'hexane

III.7. Détermination du pouvoir antioxydant

III.7.1. Pouvoir antiradicalaire

Le radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH⁺) est stable ; il ne peut pas se dimériser, Dans ce test les antioxydants réduisent le diphényl picrylhydrazyle (DPPH⁺) ayant une couleur violette en un composé jaune, le diphényl picryl-hydrazine, dont l'intensité de la coloration est inversement proportionnelle à la concentration des antioxydants présents dans le milieu.

En présence des piègeurs de radicaux libres, le DPPH. (2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl) de couleur violette se réduit en 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazine de couleur jaune. La détermination de l'activité antioxydante par le radical DPPH⁺ a été effectuée selon la méthode de (Sharif and Bennet 2016) où 100 µL de l'extrait sont ajoutés à 3 ml de DPPH⁺, la décoloration est comparée par rapport au témoin contenant le DPPH⁺ et le solvant, et la lecture a été réalisée après 20 minutes d'incubation à une longueur d'onde de 517 nm.

Le pourcentage de l'activité antioxydante par le radical DPPH est exprimé par la formule

$$\text{DPPH}^+ (\% \text{ inhibition}) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} * 100$$

A_0 : absorbance du contrôle à 517 nm

A_1 : absorbance de l'échantillon à 517 nm

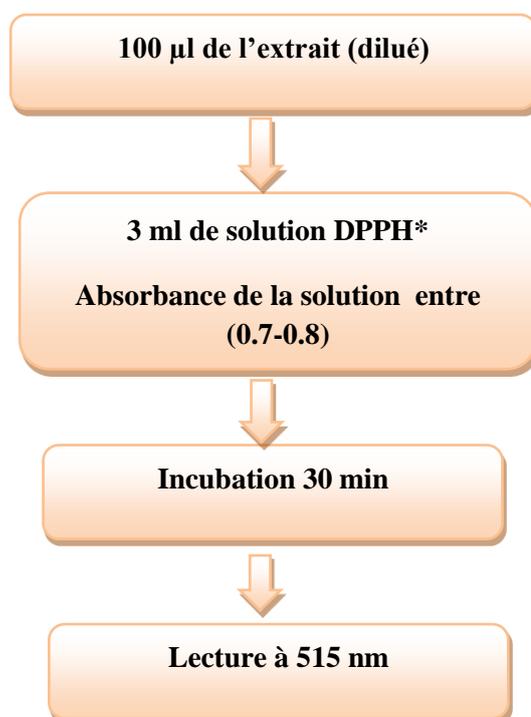


Figure 15 : Protocole de Pouvoir antiradicalaire.

III.7.2. Pouvoir réducteur (FRAP)

La détermination de pouvoir réducteur est basée sur la méthode de réduction de ferricyanure de potassium, la présence des agents réducteurs dans l'extrait induit la réduction de l'ion ferrique (Fe⁺³) à l'ion ferreux (Fe⁺²), la réaction est révélée par le virage de couleur jaune du fer ferrique (Fe⁺³) en couleur bleu vert du fer ferreux (Fe⁺²), l'intensité de cette coloration est mesurée par spectrophotomètre à 700 nm (Ozsoy, Can et al. 2008).

Expression des résultats : Le taux de pouvoir réducteur dans nos extraits a été calculé à partir d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = ax + b$) établie avec des concentrations précises de trolox comme standard de référence, dans les mêmes conditions que l'échantillon.

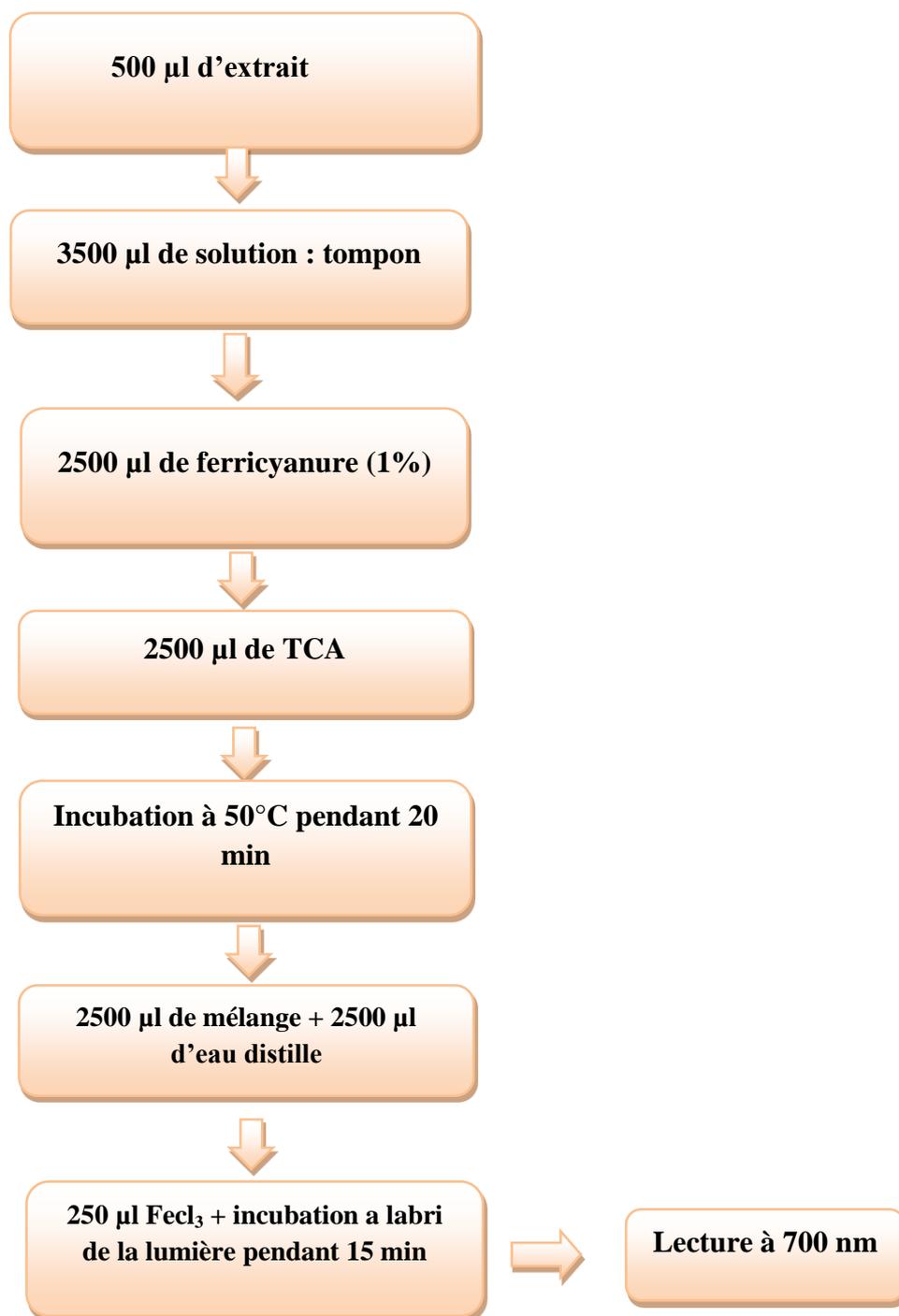


Figure 16 : Protocole de Pouvoir réducteur FRAP.

III.8. Test ABTS Acide 2, 2-azobis –ethyl benzo thiazoline-6-sulphonide.

La détermination de l'activité antioxydant des extraits a été réalisée par le radical stable ABTS⁺. Lors de la mise en œuvre de ce test, l'ABTS⁺ incolore est préalablement oxydé avec du persulfate de potassium (K₂S₂O₈) pour former le radical cationique ABTS⁺ de coloration bleu-vert. L'addition d'un composé antioxydant engendre la réduction du radical ABTS⁺ en ABTS. L'activité antioxydante est déterminée par la décoloration de la solution et elle s'exprime par le pourcentage d'inhibition (PI) de l'absorbance à 734 nm (**Spigno, Tramelli et al. 2007**).

Le pourcentage de l'activité antioxydant par le radical ABTS⁺ est exprimé par la formule

$$PI_{(ABTS \% inhibition)} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} * 100$$

*A*₀ : absorbance du control à 734 nm.

*A*₁ : absorbance de l'échantillon à 734 nm.

Le protocole de la détermination de l'activité antioxydant en utilisant le radical ABTS. + est illustré dans la Figure 17.

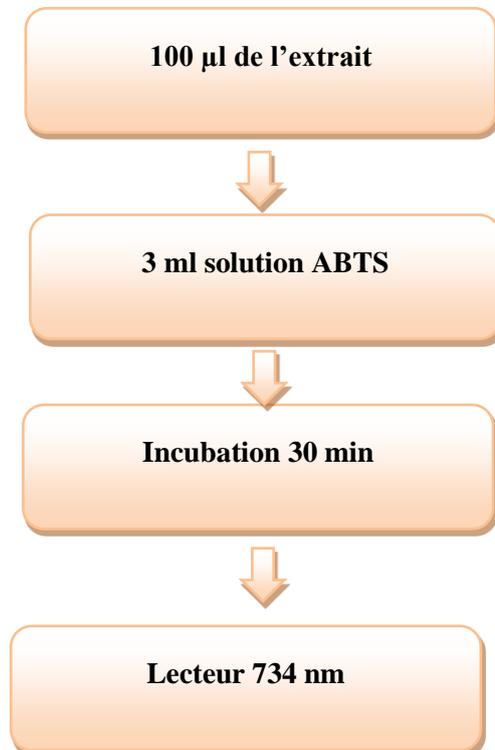


Figure 17 : Protocole de détermination de l'activité antioxydant par le cation ABTS⁺.

CHAPITRE IV:

Résultats

Et

Discussion

1^{ER} PARTIE - Résultats des analyses physico-chimiques -

La connaissance du pH et du taux d'humidité, nous a permis d'apprécier la qualité de la matière première mise en œuvre.

IV .1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité de la tomate nous a permis de rapporter les résultats des constituants biochimiques de la matière sèche, où on a conclu une teneur en eau assez forte qui est de (94%) ce qui explique une teneur faible en matière sèche (environ 6%). Ce taux dépend de l'efficacité de séchage,

Ces résultats sont confirmés par le chercheur (**Davies, 2011**) qui a trouvé une valeur entre 93,05% et 95%.

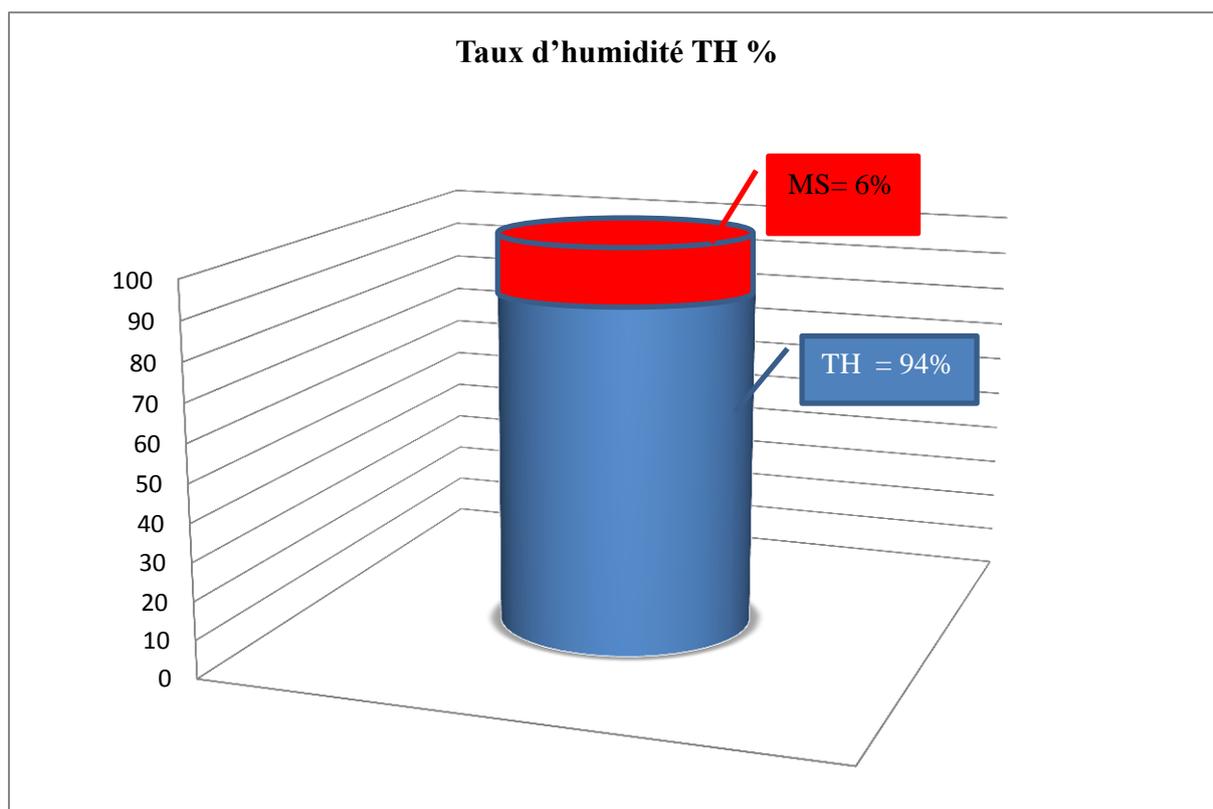


Figure 18 : Teneur en eau de la tomate.

IV. 2. Potentiel d'hydrogène PH

IV .2.1. Séchage par étuve

Les résultats obtenus (figure19) ont montré que la valeur du pH de la tomate séchée pour la température 100°C est de 3,71, alors qu'à température 80°C elle est de 3,86. Tandis que la température 60°C présente une valeur de 3,90 de pH, ses valeurs sont en concordance avec les résultats trouvés par le chercheur (**Daniel 2005**) qui sont moins de 4,5.

IV .2.2. Séchage par micro-onde

Les résultats du pH sont présentés dans la figure19. Le pH le plus bas a été enregistré par la puissance 800W, par contre La tomate séchée par la puissance 500 W a présenté un pH de 4,32.

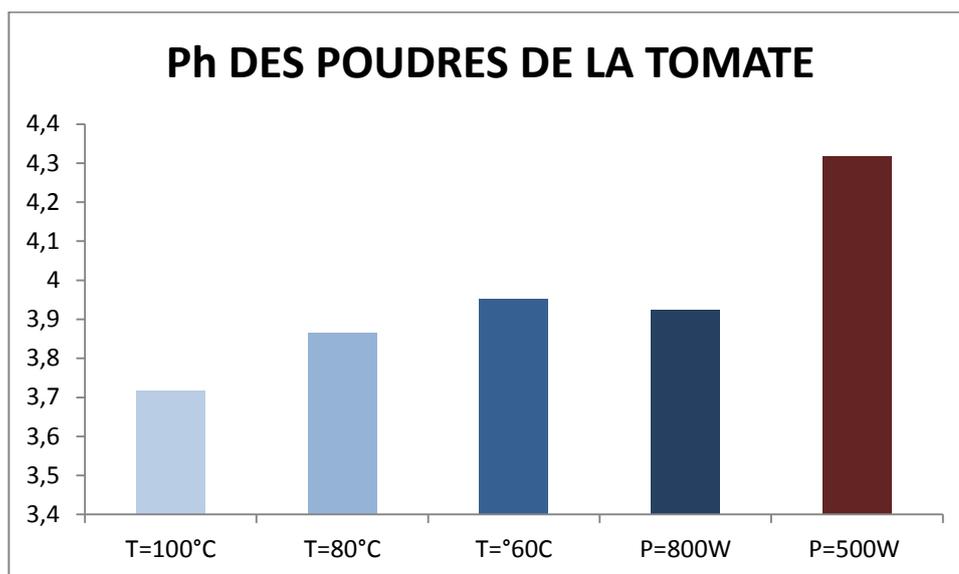


Figure 19: Le Ph des poudres de la tomate à différentes puissances

IV .3. Cinétique de séchage

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes et les plus utilisées généralement pour la conservation des produits alimentaires ayant pour but d'éliminer par évaporation un liquide contenants dans un produits en diminuant son activité de l'eau ,ce qui ralentissent la croissance microbienne et les réactions chimiques (**CHARREAU & CAVAILLÉ, 1995**).

Les résultats de l'évolution de la teneur en eau de la tomate séchée à l'étuve ventilée à différentes températures (100, 80 et 60°C) sont représentés dans la figure n° 20

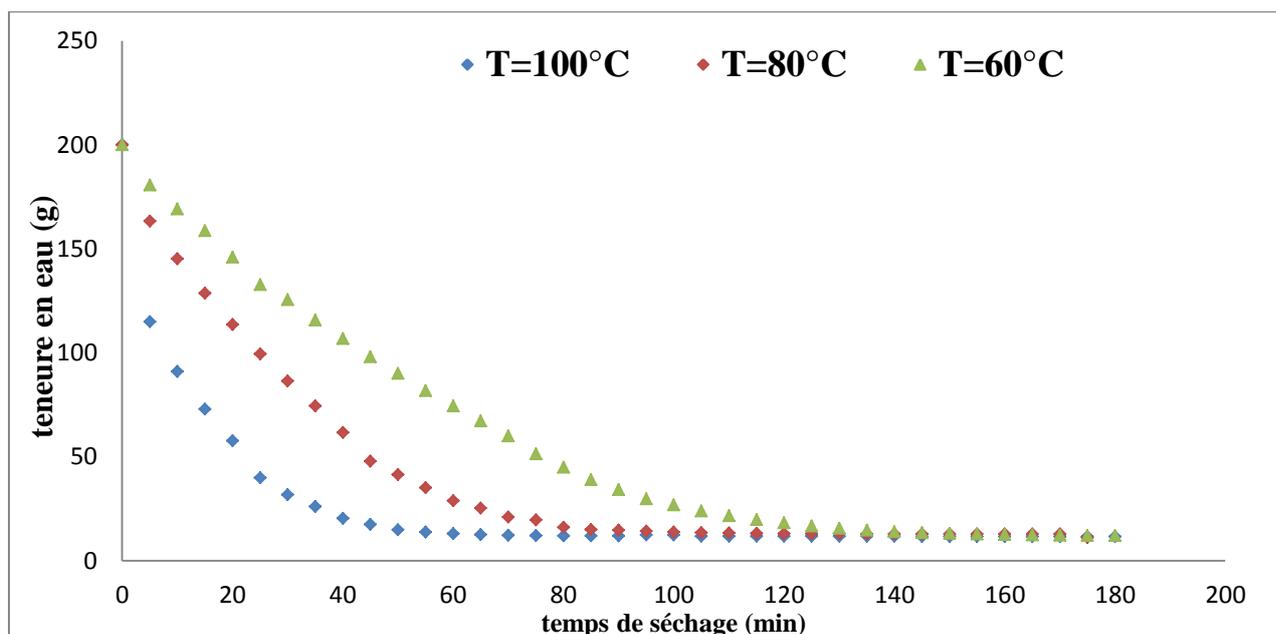


Figure 20 : évolution de la teneur en eau de la tomate séchée à l'étuve ventilée pour les différentes températures (100, 80 et 60 °C).

Les résultats obtenus montrent que la teneur en eau résiduelle évolue avec l'évolution du temps de séchage et elle n'est pas la même pour les trois températures.

Les pertes de poids sont plus rapides à la température 100 °C suivie par 80 °C et 60 °C. Les résultats de cette étude ont montré que le temps de séchage est plus court avec l'augmentation de température.

Selon (Correia, Loro, Zanatta, Spoto, & Vieira, 2015) l'augmentation de la température a une influence sur le processus de séchage, cette augmentation réduit le temps de séchage et favorise l'élimination partielle de l'eau.

Les résultats obtenus montrent aussi que la perte en eau augmente avec l'augmentation de la température et que la température 60 °C ne favorise pas un déplacement suffisant de la vapeur d'eau contrairement à 80 °C et 100 °C où il y a un déplacement suffisant de la vapeur d'eau.

Les résultats de l'évolution de la teneur en eau de la tomate séchée à la micro-onde à différentes puissances (800W et 500W) sont représentés dans la figure n°21.

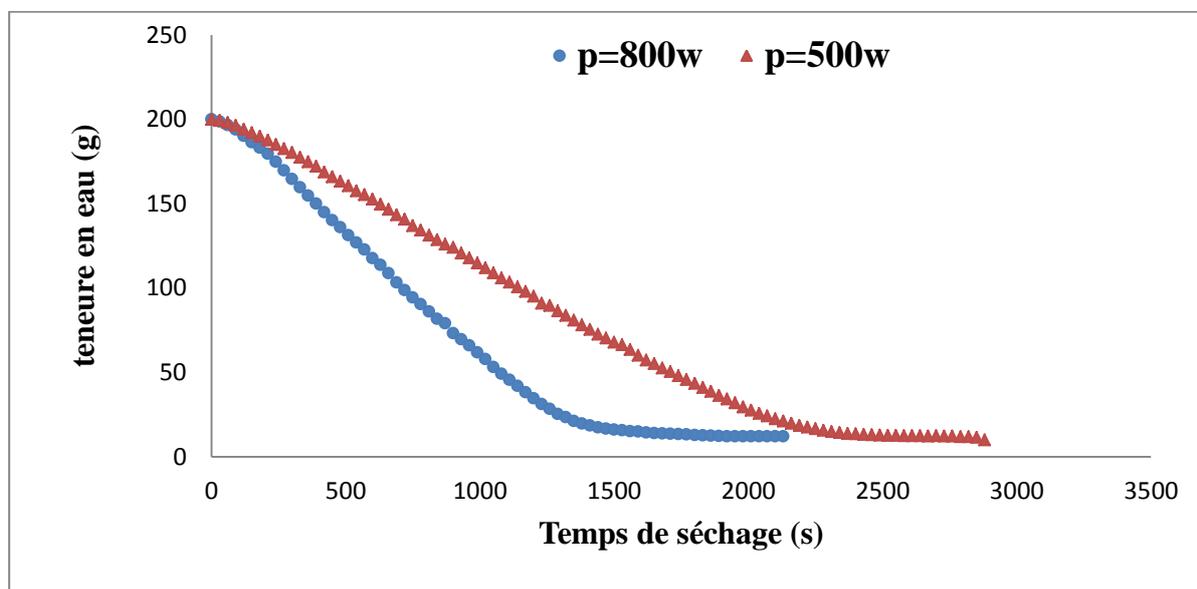


Figure 21 : évolution de la teneur en eau de la tomate séchée à l'étuve ventilée pour la déférente puissance (800 et 500W).

Les résultats enregistrés montrent que la teneur en eau évolue avec l'évolution de temps et selon la puissance utilisée. En effet les pertes d'eaux sont plus rapides à la puissance 800W, suivi de 500W. Plus la puissance est forte, plus la perte en eau est accélérée avec le temps donc on remarque qu'une augmentation de la puissance résulte un temps de séchage plus court.

Selon (Mikula, 1992), l'efficacité de séchage par micro-onde peut être expliquée sous l'effet que la puissance microonde chauffe l'eau dans la masse de produit ce qui provoque des ilots de surpression, ces derniers vont migrer du cœur vers l'extérieur de produit en emmenant une stabilité du poids. Les temps de séchage des tranches de tomate pour atteindre une teneur en eau stable a été 28 min à la puissance 800W et 38 min à la puissance 500W.

IV.4. Modalisation des courbes de séchage

Les données expérimentales de la teneur en eau réduite obtenues à des températures et puissances de séchage différentes ont été simulées à deux modèles de séchage empiriques indiqués dans le tableau. Ces modèles consistent à représenter les courbes de séchage par une équation, cette dernière décrit soit l'évolution de la teneur en eau du produit au cours du séchage, soit la cinétique de séchage en fonction du temps ou de la teneur en eau.

Ces formules contiennent toujours des constantes qui sont ajustées pour faire concorder les résultats des calculs avec les courbes expérimentales.

Tableau XI : Modèles semi théoriques de séchage en couche mince.

Nom du modèle	Equation du modèle
puissance modifiée	$y = AB^X$
Modèle exponentielle	$y = Ae^{(BX)}$

IV .4.1. Modélisation de la partie étuve

Les résultats de la modélisation sont présents dans la courbe suivante.

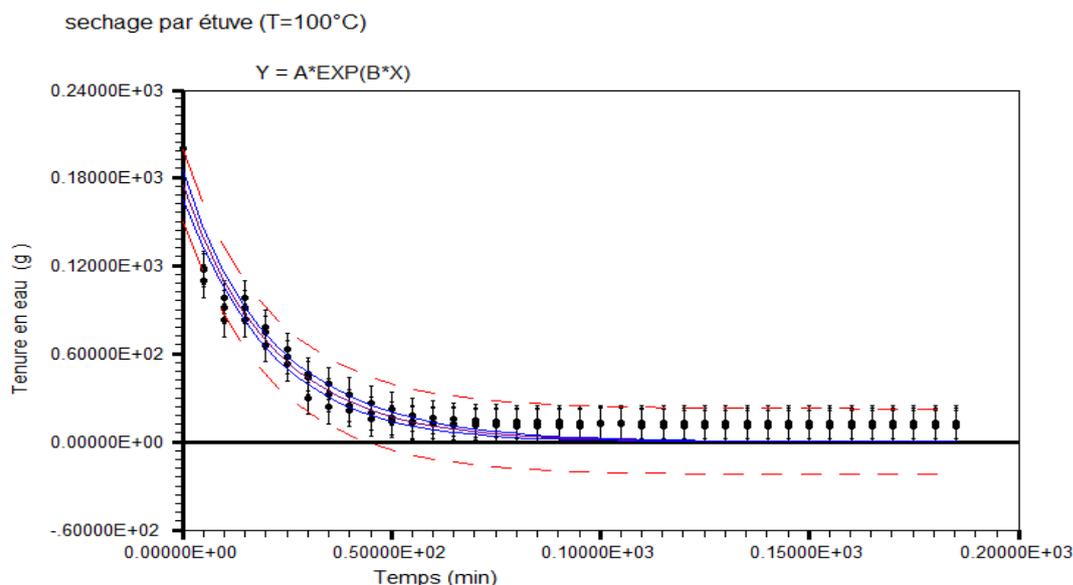


Figure 22 : Modèle exponentielle T=100°C

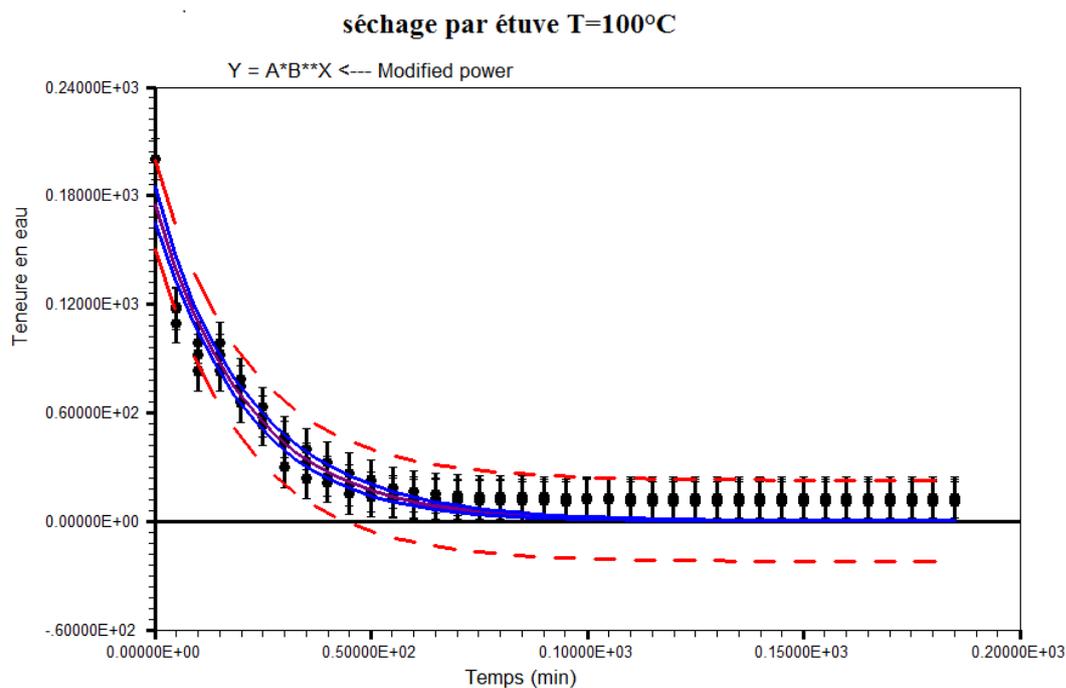


Figure 23 : modèle puissance modifiée T=100°C

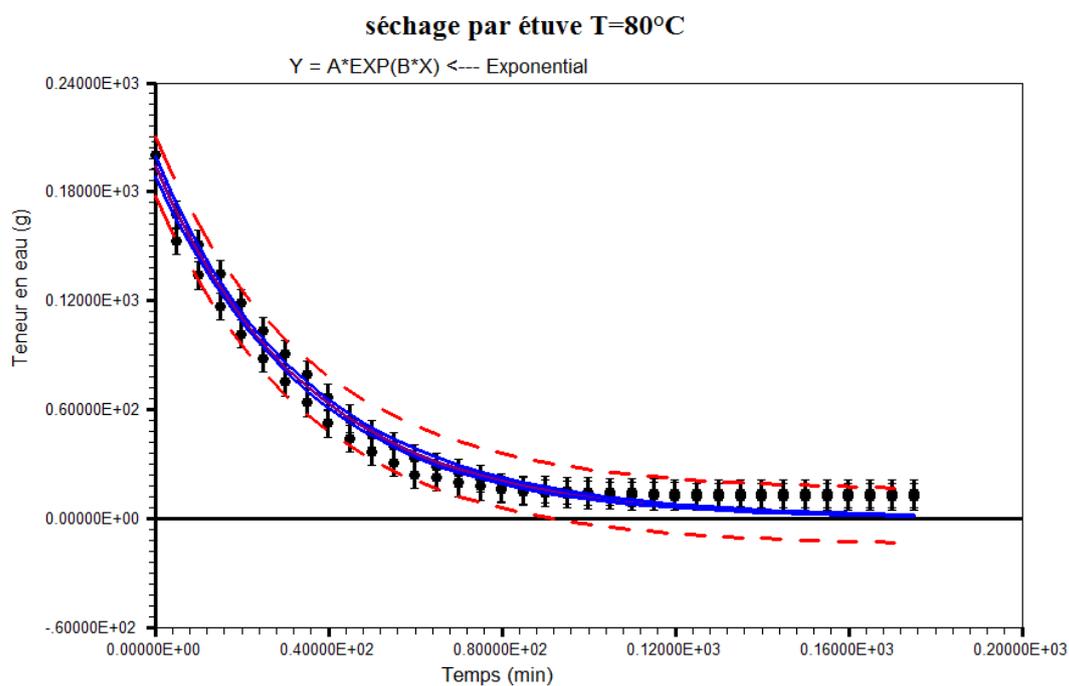


Figure 24 : Modèle exponentielle T=80°C

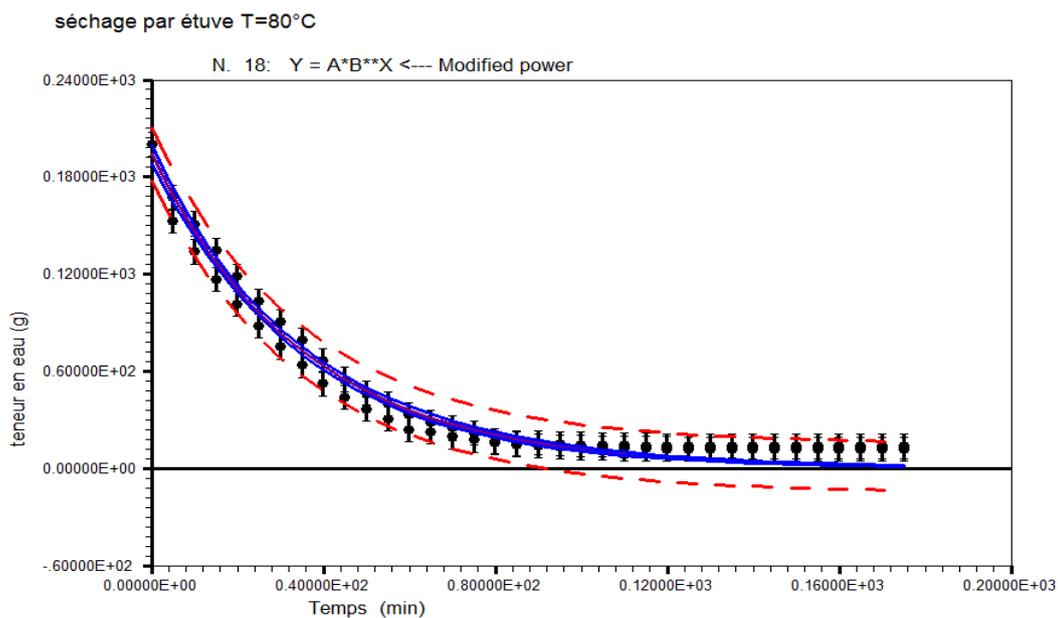


Figure 25 : modèle puissance modifiée T=80°C

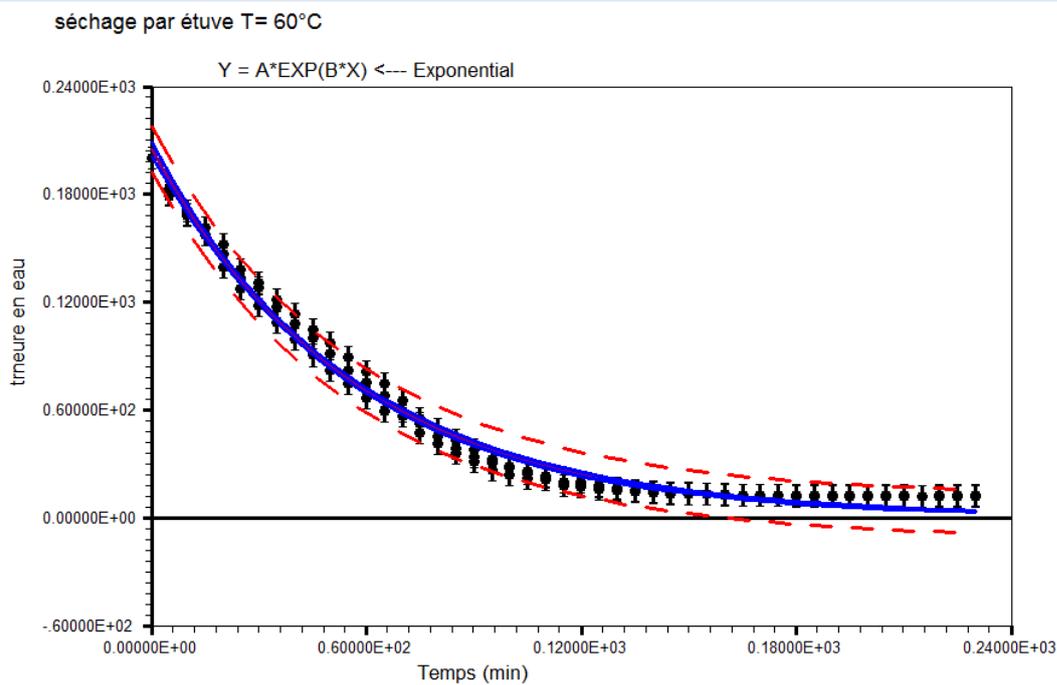


Figure 26 : Modèle exponentielle T=60°C

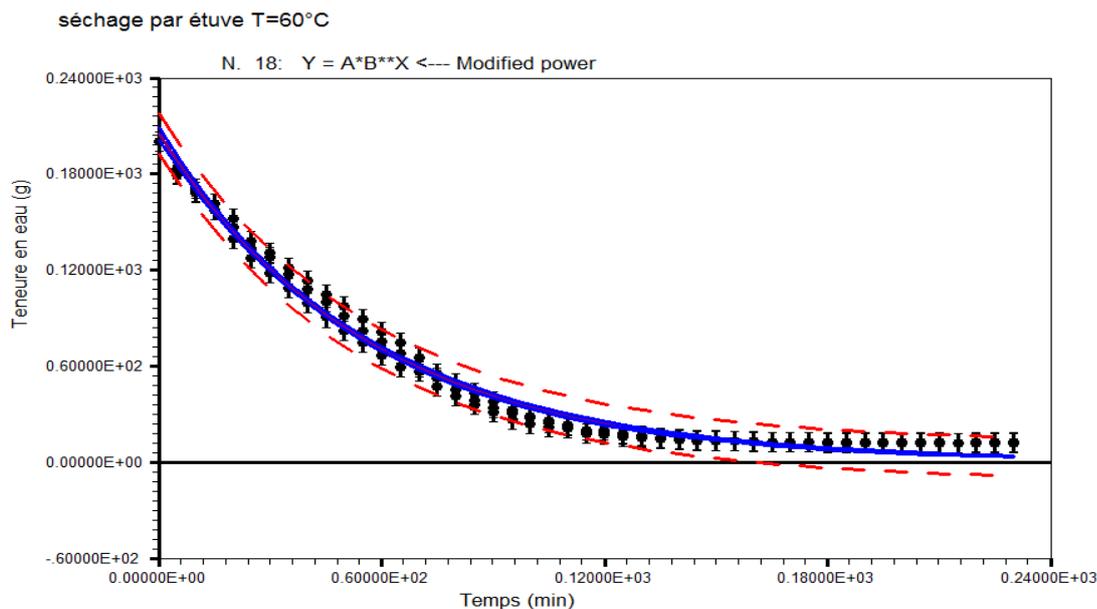


Figure 26 : modèle puissance modifiée T=60°C

La régression non linéaire est utilisée pour déterminer les constantes du modèle utilisé. L'efficacité d'un modèle est déterminée à partir de paramètre statistique tel que le coefficient de corrélation (R^2) élevé (tendant vers 1). L'analyse de régression a été effectuée en utilisant le programme informatique « Curve Fitting, lissage des courbes » et les coefficients de chaque modèle de séchage ont été déterminés (tableau XII).

Tableau XII : Paramètres de la modélisation du cinétique de séchage par micro – onde.

	Nom du modèle	A	B	R^2
T =100°c	Puissance modifiée	$0,174 \cdot 10^3$	$0,465 \cdot 10^{-1}$	0,95
	Modèle exponentielle	$0,174 \cdot 10^3$	$-0,465 \cdot 10^{-1}$	0,95
T=80°c	puissance modifiée	$0,193 \cdot 10^3$	$-0,280 \cdot 10^{-1}$	0,98
	Modèle exponentielle	$0,193 \cdot 10^{-1}$	$-0,280 \cdot 10^{-1}$	0,98
T=60°C	puissance modifiée	$0,240 \cdot 10^3$	0,9823	0,98
	Modèle exponentielle	$0,204 \cdot 10^3$	$-1,780 \cdot 10^{-1}$	0,98

VI.4.2. Modélisation de la partie micro-onde

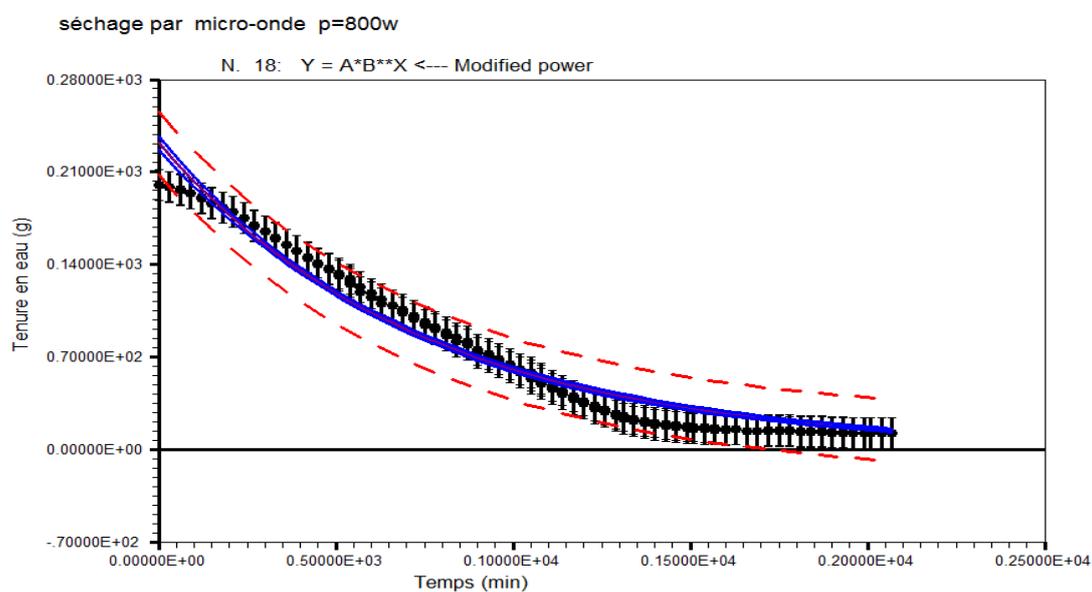
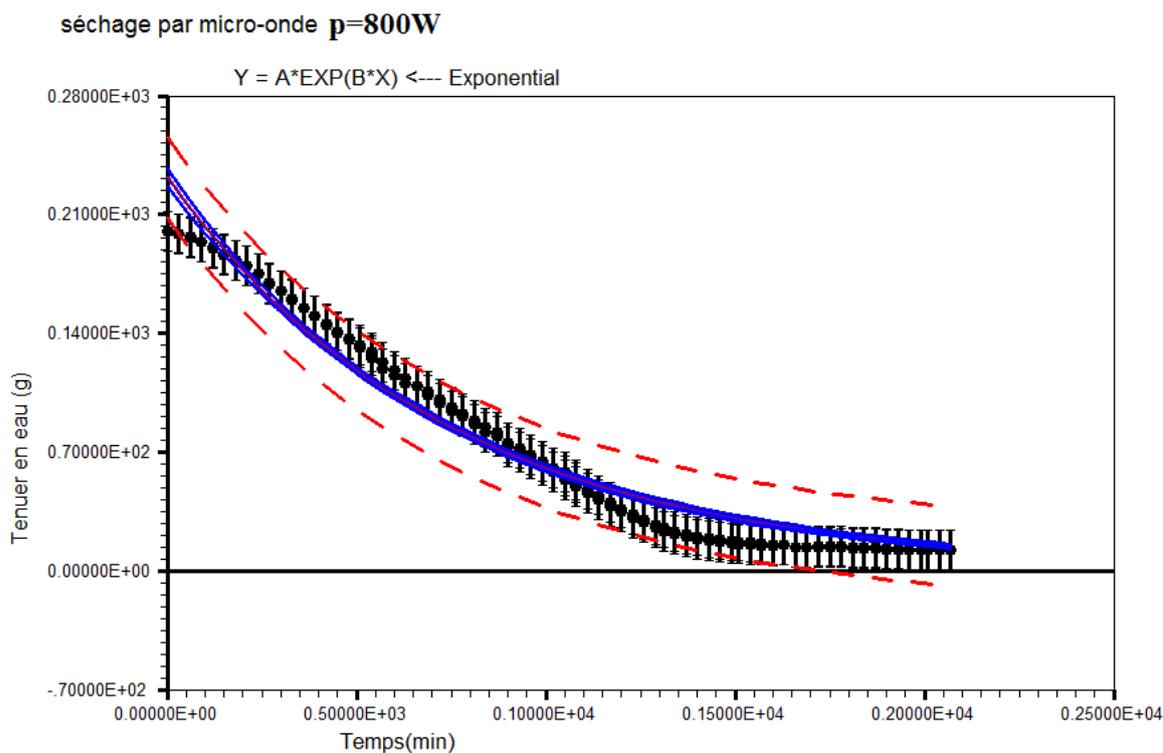


Figure 27 : Modèle exponentielle P=800W

Figure28 : modèle puissance modifiée P=800W

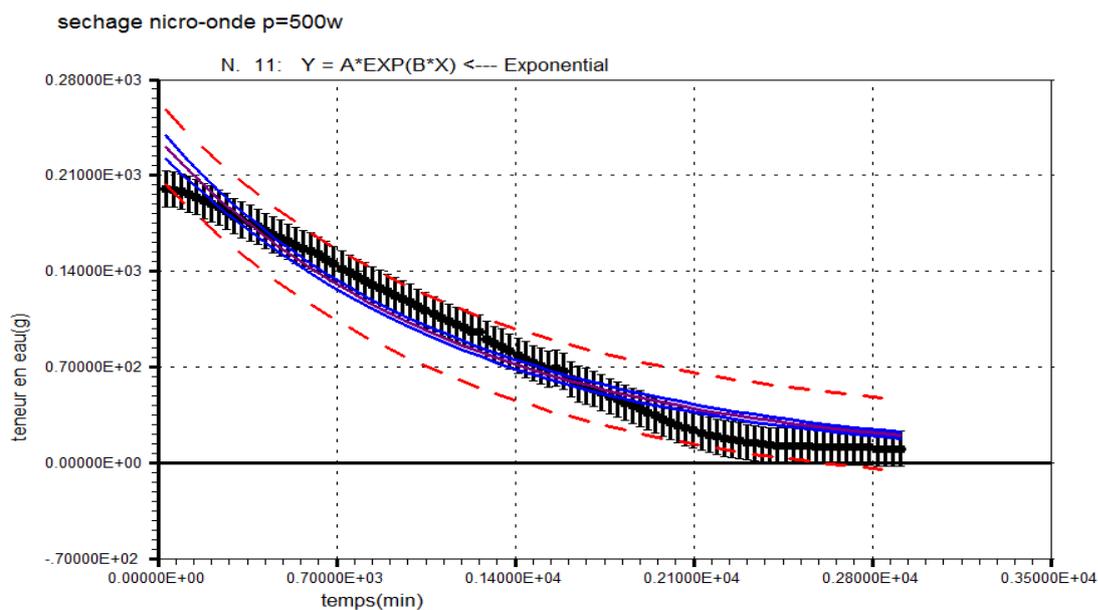


Figure 29 : Modèle exponentielle P=500W

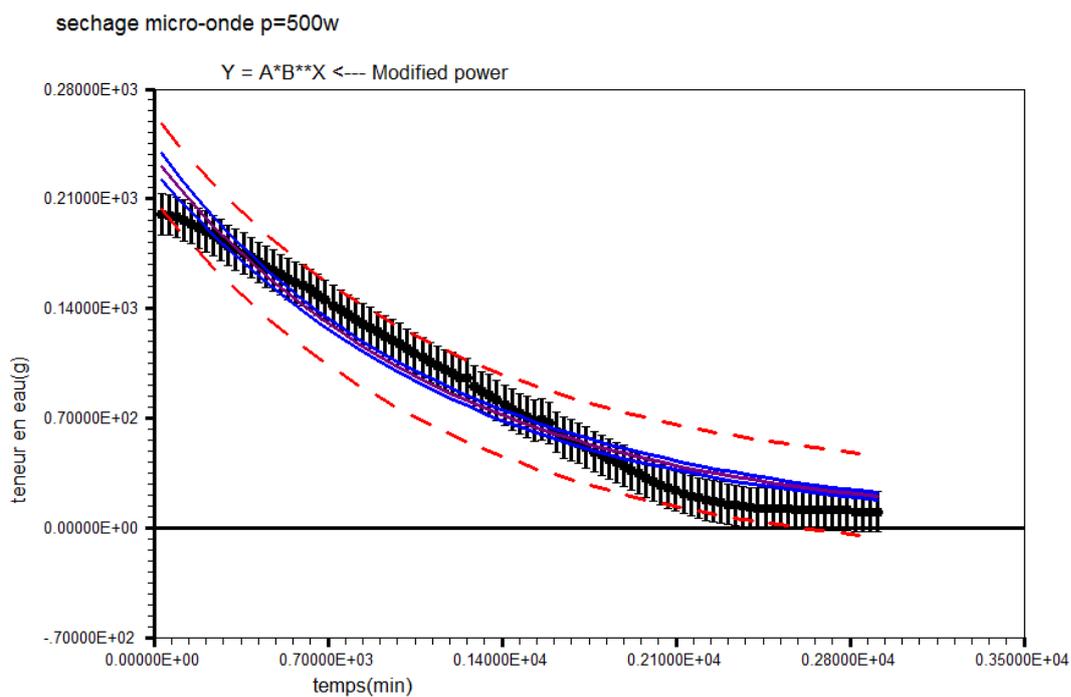


Figure 30 : modèle puissance modifiée P=500W

Tableau XII : Paramètres de la modélisation du séchage cinétique par micro –onde

	Nom du modèle	A	B	R ²
p=800w	puissance modifiée	0,231 10 ⁻³	-0,134 10 ⁻²	0,97
	Modèle exponentielle	0,231 10 ⁻³	- 0,134 10 ⁻²	0,97
p=500w	puissance modifiée	0,234 10 ⁻³	0,999	0,96
	Modèle exponentielle	0,236 10 ⁻³	- 0,851 10 ⁻³	0,96

Les deux modèles utilisées décrivent l'évolution de la teneur en eau de la tomate au cours de séchage avec un R² variant entre (0,95 et 0,98). Les résultats ont montré aussi que la différence entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites sont proche de zéro ce qui signifie les erreurs des écarts type sont stable pendant l'expérience.

VI.4.3. Perspectives sur la modélisation

Les coefficients des modèles obtenues peuvent être projetés sur plusieurs modèles physiques pour déterminer la diffusivité massique. Le transfert de matière pendant le séchage est contrôlé par la diffusion interne, la deuxième loi de Fick a été largement utilisée pour décrire le processus de séchage pour la plupart des produits biologiques et les coefficients sont utilisés pour déterminer l'énergie nécessaire d'activation du séchage de la matrice.

2^{ème} partie - résultats des analyses biochimiques -

IV .5. Teneur en polyphénols totaux

Après l'ajoute du réactif du Folin-Ciocalteu et de Carbonate de Sodium, une couleur bleue est obtenue dont l'intensité varie en fonction de la concentration phénolique des extraits. Les résultats du dosage des polyphénols totaux obtenus sont exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique (E.A.G) par gramme de matière sèche d'échantillon en se référèrent à une courbe d'étalonnage standard réalisée dans les mêmes conditions (**Annexe I**). Les teneurs en polyphénols de la tomate étudiée sont représentés dans la figure n°31.

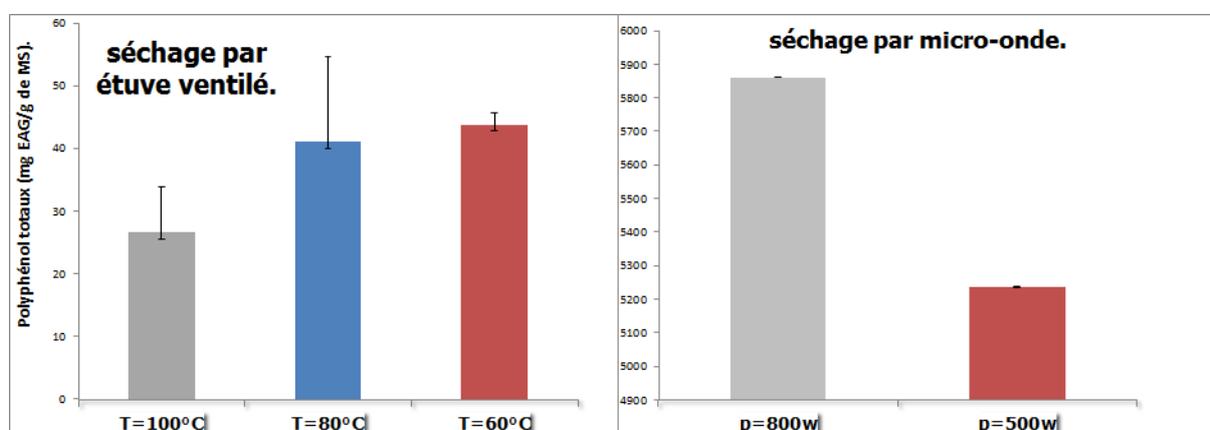


Figure 31 : Teneur en polyphénol totaux des extraits de tomate séchées, au microonde et à l'étuve ventilée.

La teneur en composés phénoliques de tomates séchées à l'étuve et au micro-onde varie entre 26,60 à 43,79 mg EAG/g de MS pour les lots séchés à l'étuve, et de 5861,50 à 5235,10 mg EAG/g de MS pour les lots séchés au microonde, l'étude menée par (**Cieslik et al, 2006**) sur la teneur en polyphénols de ce fruit montre des valeurs similaires. Les activités antioxydants efficaces de la tomate peuvent être attribuées à leurs polyphénols.

Les quantités élevées en composés phénoliques totaux, enregistrées dans les échantillons séchés par micro-onde, peuvent être expliquées par la grande facilité avec laquelle les échantillons ont été extraits. L'éclatement cellulaire facilite la libération des composés phénoliques, par contre le séchage avec l'étuve a libéré une petite quantité de ces composés en comparant à l'étuve, la chaleur appliquée par l'étuve, n'arrive pas à détruire facilement le tissu végétal de la matrice étudiée ce qui permet de préserver des quantités de ces polyphénols dans le tissu végétal.

L'étude statistique a révélée l'existence d'une différence significative ($p < 0,05$) entre l'échantillon séchée à 100°C , avec les échantillons séchés respectivement aux températures 80 et 60°C .

Concernant le séchage assisté par micro-onde, les résultats obtenus ont montré l'existence d'une différence significative ($p < 0,05$) entre les échantillons de tomates séchées aux puissances étudiés (800 et 500W).

La teneur en polyphénol augmente proportionnellement avec l'augmentation de la puissance et la température utilisée.

IV.6. Caroténoïdes

Les résultats de dosage des caroténoïdes, exprimés en μg d'équivalent de la β -Carotène (E. β -C.) par gramme de matière sèche en se référant à une courbe d'étalonnage standard réalisée dans les mêmes conditions (**Annexe II**), pour les différentes poudres de tomates étudiées sont représentées dans la figure n°32.

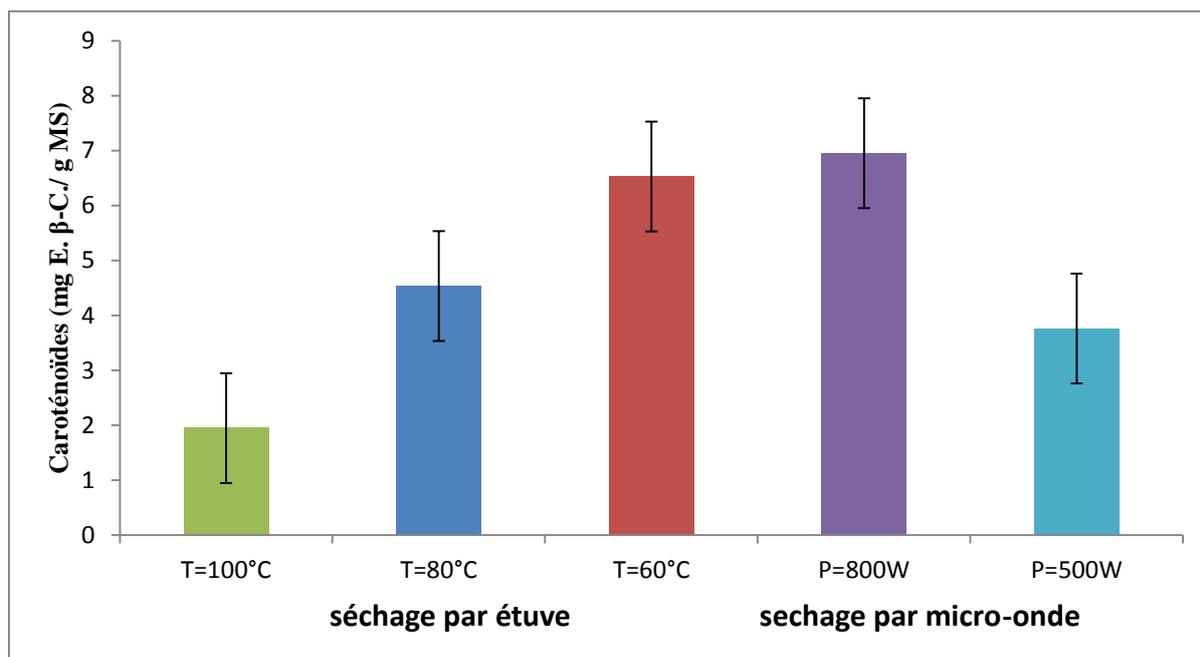


Figure 32 : Teneur en caroténoïdes totaux des tranches de tomate séchées, aux microondes et à l'étuve ventilée.

Les résultats ont montré que la teneur en caroténoïdes de la tomate séchée à l'étuve et au microonde, pour les différentes température et puissance, varie entre 1,94 à 6,52 mg EBC /g de MS pour les lots séchés à l'étuve, et de 6,94 à 3,75 mg EBC /g de MS pour les lots séchés au microonde.

Pour le séchage assisté à étuve la valeur en caroténoïde la plus élevée a été enregistrée par la température 60°C avec 8,24 mg E β C /g de MS, suivie par la température 80°C avec une valeur de 5,67 E β C /100g de MS et la teneur la plus faible a été enregistrée par la température 100°C avec 2,56 E β C /100g de MS. Par ses résultats, on conclut qu'une augmentation de la température résulte une diminution de la quantité des caroténoïdes.

Concernant séchage assisté au micro-onde, le taux de caroténoïde le plus élevé a été enregistré par la puissance 800W avec une valeur de 8,87 mg E β C /g de MS, suivie par la puissance 500 W avec une valeur de 4,80 mg E β C /g de MS.

IV .7. Teneur en lycopène

Les résultats de dosage de lycopène sont exprimés en μ g d'équivalent de la β -Carotène (E. β .C) par 100 gramme d'échantillon en utilisant la formule suivante

$C \text{ (Eq/g)} = (\text{Abs}_{472} * F_d * 10^6 * V) / (3450 * 100 * P)$ pour les différents lots de tranches de tomates étudiées sont représentées dans la figure n°33.

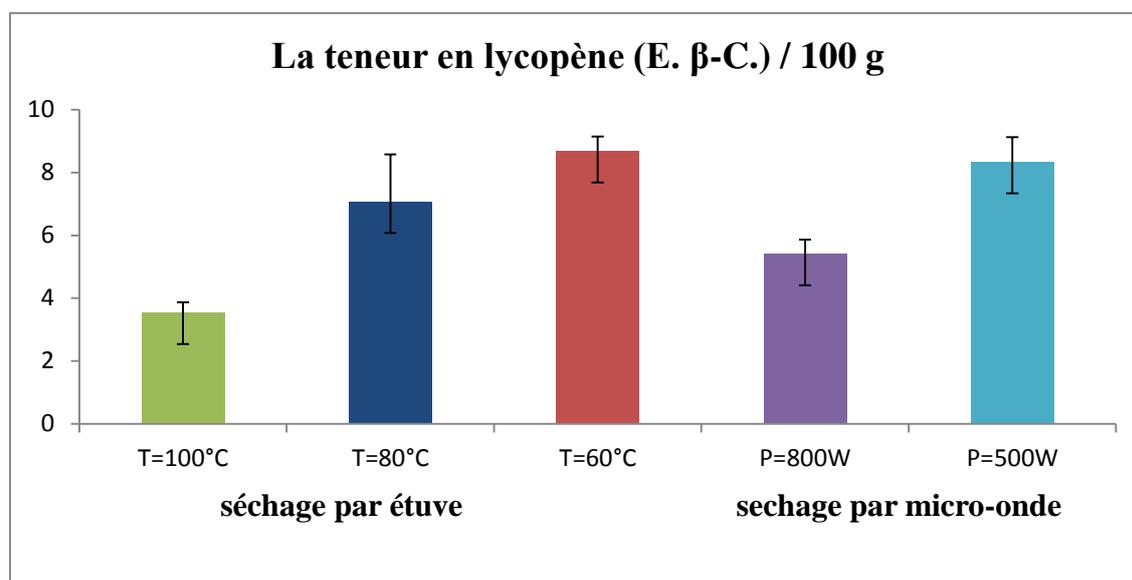


Figure 33 : Teneur en lycopène des tranches de tomate séchées au microonde et à l'étuve ventilée.

La teneur en lycopène de la tomate séchée varie entre 4,60 et 11,42 mg/100 g MS. Pour le séchage assisté à l'étuve, la teneur la plus élevée a été enregistrée à la température 60°C avec une valeur de 11,42 mg E β C/100 g MS, suivie de la température 80°C, et 100°C avec des valeurs de 8.34 et 4,60 mg E β C/100 g MS respectivement.

Lorsqu'on passe de 60° à 100°C la teneur en lycopène diminue, cela peut être dû à la réduction du temps de séchage qui a permis de préserver la teneur en lycopène. Ces résultats sont identiques à ceux rapporté par (N. Lahmari,) qui à trouvé des concentrations en comprises entre 5 et 14,5 mg EBC /100g MS.

L'étude statistique a révélé l'existence d'une différence significative ($p < 0,05$), entre échantillon séché à 80°C et l'échantillon séché respectivement aux températures 100 et 60°C.

Concernant les échantillons résultants d'un séchage assisté par micro-onde, le taux de lycopène le plus élevé a été enregistré à 800W avec une valeur de 10,85mg EBC /100g de MS, suivie de l'échantillon séché par la puissance 500W avec une valeur de 7,07 mg EBC /100g de MS.

Les résultats de l'étude statistique ne révèlent aucune différence significative ($p < 0,05$) de la teneur en lycopène des différents échantillons pour toutes les puissances étudiées.

IV.7. pouvoir antioxydant

IV.7.1. Pouvoir anti radicalaire DPPH

Les résultats obtenus pour le pourcentage d'inhibition du radical stable DPPH des échantillons de tomate séchée à l'étuve sont représenté dans la figure n°34.

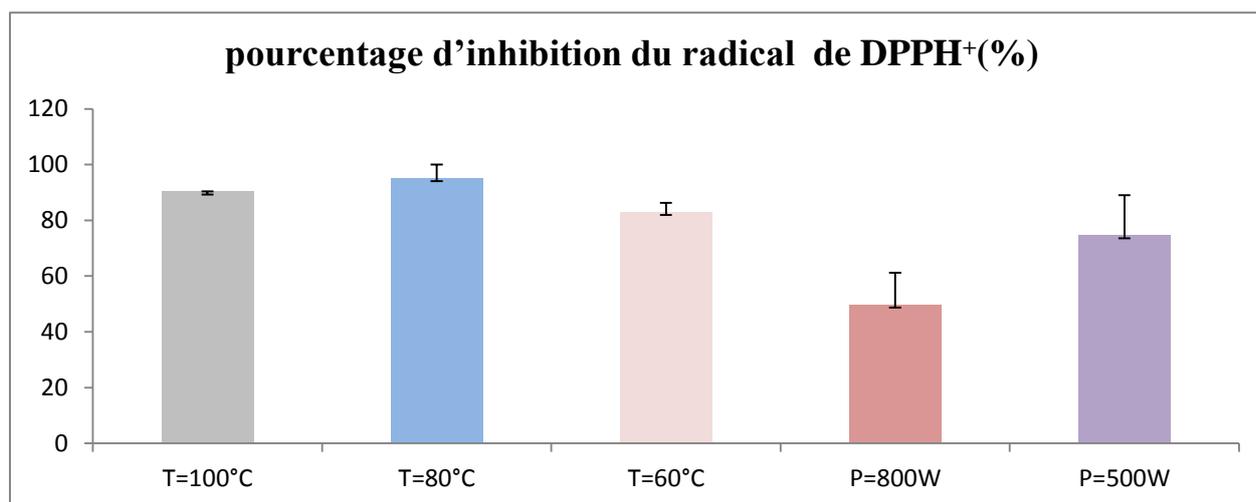


Figure 34. Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH+ des différents échantillons de tomates séchés au microonde et a l'étuve.

Les résultats montrent que les différents extraits de la tomate possèdent la capacité de réduire le radical DPPH. Les pourcentage d'inhibitions varient entre 82,89 à 95,10 % pour les échantillons séchés à l'étuve (100, 80 et 60 °C) et varient entre 49,73 à 74,55% pour les deux puissances (800 et 500 W) séchées au microonde.

Pour les échantillons du séchage assisté à l'étuve, le pourcentage d'inhibition du radical DPPH le plus grand a été obtenu à la température 80°C avec un taux de 95,15 % suivi par 100 °C avec 90,24% et le plus faible pourcentage d'inhibition a été obtenu par 60 °C avec 82,89 %.

Pour la partie microonde le pourcentage d'inhibition le plus fort a été obtenu par 500 W avec 49,73% suivi par 800 W avec 74,55%.

La différence des pourcentages d'inhibitions est due à la neutralisation du radical DPPH* par les extraits de la tomate en présence de composés phénoliques qui donne facilement des électrons pour le réduire. Ces résultats obtenu sont similaire à ceux rapportés dans la littérature par (Jayaprakasha & Patil, 2007).

IV.7.2.Pouvoir réducteur(FRAP)

Le pouvoir réducteur est la capacité d'un extrait à donner un électron et à réduire le Fer. De nombreux auteurs tel que (Amarowicz et al., 2010) considèrent la capacité réductrice d'un composé comme indicateur significatif de son pouvoir antioxydant. Les résultats du pouvoir réducteur de la tomate séchée exprimés en mg équivalents de trolox/g MS sont représentés par la figure 35.

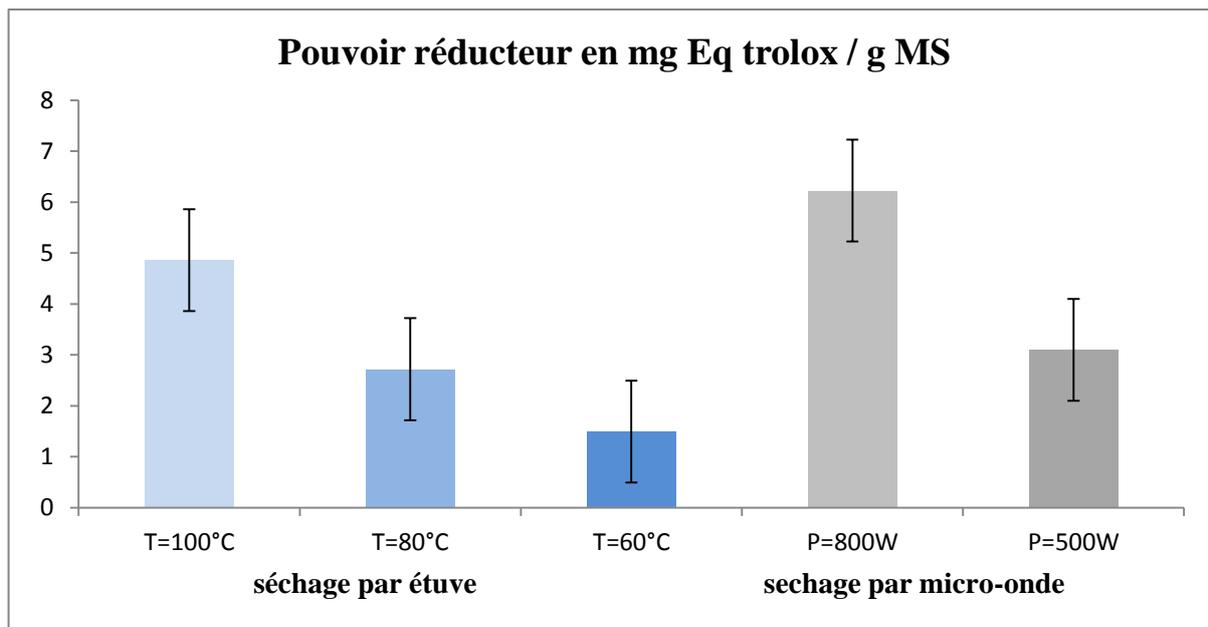


Figure 35 : pouvoir réducteur pour le séchage assiste par étuve et micro-onde

La capacité de donation d'électron dans une réaction d'oxydo-réduction peut être aussi utilisée dans la mesure de l'activité antioxydante d'un composé. Cette capacité de donation d'électron est appelée pouvoir réducteur.

Les résultats ont montré que la meilleure activité réductrice a été enregistrée par la température 100 °C avec une valeur de 4,85 mg Eq trolox /Ms, suivie par 80°C avec une valeur de 2,72 mg Eq trolox /Ms, et la faible activité revient à la température 60°C avec 1,49 mg Eq trolox /g MS.

On conclut que la température a une influence sur le pouvoir réducteur, ce dernier augmente avec l'augmentation de la température.

Cependant, dans la station de séchage par micro-onde la valeur du pouvoir réducteur la plus élevée a été enregistrée par la puissance 800W 6,22 mg Eq trolox /g MS suivie par 500W avec une valeur de 3,09 mg eq trolox /g MS.

IV.8. Teste ABTS

Les résultats du pourcentage d'inhibition du radical stable **ABTS** de la tomate séchée à l'étuve et par micro-onde sont illustrée dans la figure n°36.

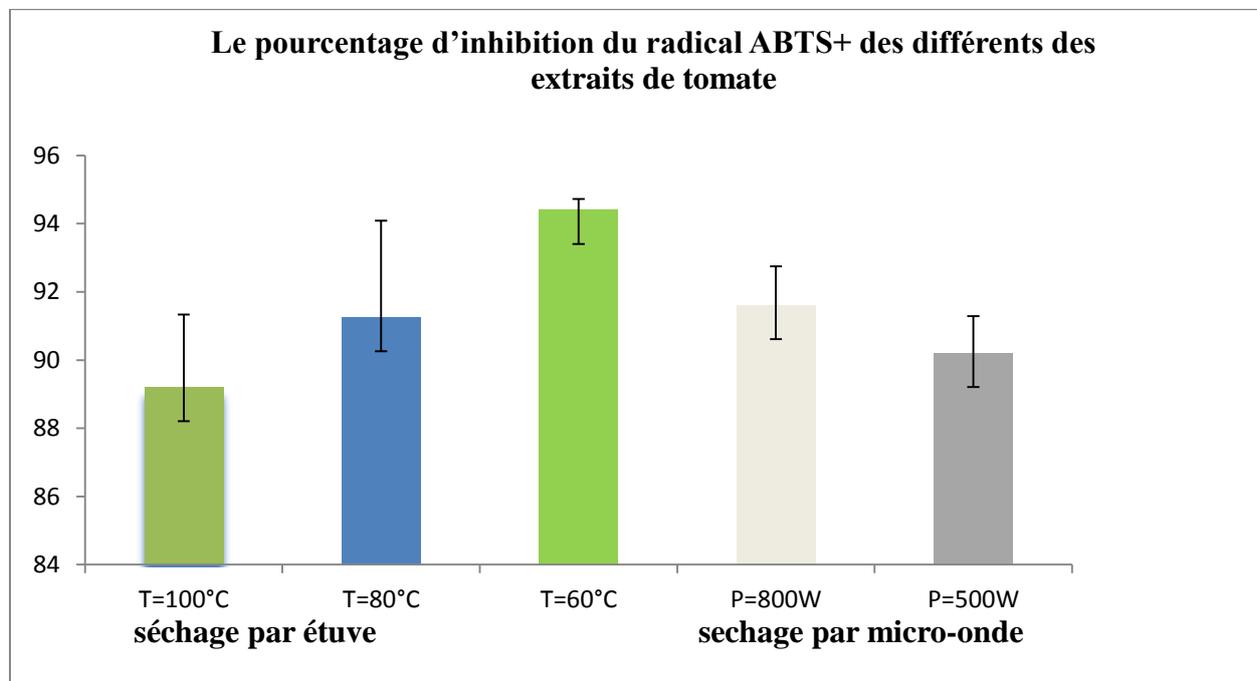


Figure 36 : pourcentage d'inhibition du radical stable **ABTS** de la tomate séchée à l'étuve et micro-onde.

D'après ces résultats, on constate que les différents extraits de tomate séchée par étuve possèdent la capacité de réduire le radical **ABTS+**, les pourcentages d'inhibition varient de 89,20 à 94,405%. L'échantillon obtenu à 60 °C a présenté le meilleur pouvoir antioxydant avec un taux de 94,40% suivit de 80 °C avec un taux de 91,26%. Par contre l'échantillon séché à 100 °C, a présenté le pourcentage le plus faible du pouvoir anti-radicalaire avec un taux de 89,20%.

Pour la partie au micro onde, on constate que les différents extraits de la tomate, possèdent la capacité de réduire le radical **ABTS+**. Les pourcentages d'inhibitions varient de 90,21 à 91,61 %.

En effet, l'échantillon séché à 800 W a présenté le meilleur pouvoir antioxydant avec un pourcentage de 91,61 % suivit de l'échantillon séché à 500 W avec un pourcentage 90,21 %. Cette différence observée peut être lié aux différentes teneurs enregistrées en composé phénolique.

Les résultats de comparaison entre le séchage assisté par étuve et celui au microonde ont montré que le pourcentage d'inhibition du radical ABTS obtenue au microonde est plus forte par rapport à celui obtenu dans l'étuve, et que le séchage par microonde donne une meilleure activité (**reberta et al .,1998**).

Conclusion

Conclusion

Cette étude a permis de suivre la cinétique de séchage par deux méthodes différentes, la première est par microonde a des différentes puissances appliquées (500 et 800 w), et la deuxième par étuve ventilée avec des différents températures (60,80 et 100 °C).

L'évaluation de ces deux méthodes ont été fait en suivant l'évolution de taux d'humidité en fonction de temps, et l'effet de la cinétique de séchage sur la qualité de la tomate séché a été fait par les dosages de polyphénols totaux, les caroténoïdes et lycopènes, et le test évaluation se activité de ABTS et DPPH.

La cinétique de séchage montre que le séchage par microonde donne un temps plus court par apport à l'étuve ventilée, En outre les résultats de dosage des différents paramètres biochimique montrant que le séchage par microonde donne les teneurs les plus élevés en composition biochimique.

Les résultats obtenus ont montré qu'avec la plus petite puissance utilisée de microonde (500 W), il a fallu seulement 52 min pour stabiliser le poids de 200 g d'échantillon frais à 11 g, par contre, pour l'échantillon séché à 60°C à l'étuve, il a fallu 12 heures pour stabiliser le même poids d'échantillon à 11 g. Pour les fortes puissances de microonde (800W) 36 min ont été suffisantes pour déshydrater 200 g de la tomate, par contre à l'étuve pour 100 °C il a fallu 6h.

Les résultats obtenus ont montré que nos échantillons analysés sont riche en composés phénoliques. La tomate séché présente un taux en polyphénols totaux légèrement élevée (43,79) mg EAG/MS) pour une température de séchage de 60°C par rapport à celle séchées par microonde (5235,10 m EAG/MS), le lycopène varie entre (4,60 et 11,42 mg/100 g MS) pour le séchage a l'étuve et pour le séchage par microonde, le lycopène varie 10,85mg EBC /100g de MS, Ces résultats confirment les données de déférentes recherches, qui ont classé la tomate dans la catégorie des antioxydants naturels.

Pour l'activité anti-radicalaire à l'ABTS, l'activité la plus élevée est 94,405% obtenue avec le séchage à l'étuve, suivi de 91,61 %pour le séchage par microonde.

Concernant l'activité anti-radicalaire au DPPH⁺, l'activité la plus élevée est obtenue avec le séchage par microonde à 500W (74,55%), suivi du séchage à l'étuve (80°C) avec un pourcentage d'activité 95,15%.

Cette étude nous a permis de mieux comprendre l'influence du séchage de la tomate (microonde, étuve) sur la composition phyto-chimiques et biochimique des poudres obtenues.

A la lumière de cette investigation, il en ressort que le séchage par microonde est plus avantageux, d'une part le temps de séchage est plus court par rapport au séchage à l'étuve. Et d'autre part en termes de rendement sur la composition biochimique, le séchage par microonde donne les meilleurs rendements que celui de l'étuve.

Perspectives

- ✓ Augmente la gamme des températures de séchage.
- ✓ Injecte les coefficients obtenus dans la modalisation primaire sur des modèles physiques.
- ✓ Applique le modèle de **fick** pour déterminé la diffusivité massique.
- ✓ Injecte les coefficients obtenus sur la **Loi d'Arrhénius** pour déterminer l'énergie d'activation nécessaire pour chauffe le produit.
- ✓ faire des analyses phytochimique sur les poudres obtenues.
- ✓ Enrichir le huile d'olive et les mayonnaise par les poudres de la tomate obtenue.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

A

- Alaoui, S. B.** Référentiel pour la Conduite Technique de la Culture de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.).
- Amarowicz, R., Estrella, I., Hernández, T., Robredo, S., Troszyńska, A., Kosińska, A., & Pegg, R. B. (2010).** Free radical-scavenging capacity, antioxidant activity, and phenolic composition of green lentil (*Lens culinaris*). *Food chemistry*, 121(3), 705-711.

B

- Beecher, G. R. (1998).** Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 218(2), 98-100.
- Bellili, S., Khenouche, L., & Boulekbache, L. E. (2013).** Effet de la cuisson sur la physico-chimie et l'activité antioxydante de la tomate.
- Bimbenet, J.-J. (1978).** Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires: SEPAIC.
- Bonazzi, C., & Dumoulin, E. (2011).** Quality changes in food materials as influenced by drying processes. *Modern drying technology, volume 3: Product quality and formulation*, 1-20.
- Bonazzi, C., Dumoulin, E., & Bimbenet, J. (2008).** Le séchage des produits alimentaires. *Industrie Alimentaire Agricole*, 125(03-04), 12-22.
- Bouزيد, A., & Bedrani, S. (2013).** La performance économique de la filière tomate industrielle en Algérie. *les cahiers du cread*, 103, 85-105.
- Brogie, L. A. d., Guérout, D., & Buchard, S. (2005).** Tomates d'hier et d'aujourd'hui: Hoëbeke.
- bimbenet , j-j** Génie des procédés alimentaire des bases aux application 2 edution .

C

- Causse, M., Damidaux, R., & Rousselle, P. (2006).** Traditional and enhanced breeding for quality traits in tomato. *Genetic improvement of Solanaceous crops*, 2, 153-192.

Références bibliographiques

CHARREAU, A., & CAVAILLÉ, R. (1995). Théorie et calculs. *Techniques de l'Ingénieur J*, 2480, 25.

Chekroune, M. (2009). *Étude comparative de deux techniques de séchage (convection et micro-onde) par application des plans d'expérience cas de fruit de datte.*

Correia, A., Loro, A., Zanatta, S., Spoto, M., & Vieira, T. (2015). Effect of temperature, time, and material thickness on the dehydration process of tomato. *International journal of food science*, 2015.

Costa, J., & Heuvelink, E. (2005). Introduction: The tomato crop and industry Tomatoes (pp. 1-20): CAB International.

Cotte, F. (2000). Etude de la valeur alimentaire des pulpes de tomates chez les ruminants.

D

Djerroud, D. (2010). Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation. Institut National Polytechnique de Toulouse.

G

Giove, R. M., & Abis, S. (2007). Place de la Méditerranée dans la production mondiale de fruits et légumes. Institut Agronomique Méditerranéen de Bari: 22p.

Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., & Oliveira, J. (2008). Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(1), 129-137.

Guil-Guerrero, J., & Reboloso-Fuentes, M. (2009). Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(2), 123-129.

j

Jayaprakasha, G., & Patil, B. S. (2007). In vitro evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. *Food Chemistry*, 101(1), 410-418.

Références bibliographiques

K

Kinsella, J. E., Fox, P. F., & Rockland, L. B. (1986). Water sorption by proteins: milk and whey proteins. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 24(2), 91-139.

L

Lecerf, J.-M. (2006). Tomate, lycophène et prévention cardiovasculaire. *Phytothérapie*, 4(1), hs34-hs39.

M

Mau, J.-L., Tsai, S.-Y., Tseng, Y.-H., & Huang, S.-J. (2005). Antioxidant properties of methanolic extracts from *Ganoderma tsugae*. *Food chemistry*, 93(4), 641-649.

Mazoyer, M. (2002). Larousse agricole, le monde agricole au XXIème siècle. Mathilde.

Mikula, S. (1992). Mise au point d'un pilote micro-ondes multifonction en vue d'un séchage d'algues alimentaires.

Mikula, S. (1992). Mise au point d'un pilote micro-ondes multifonction en vue d'un séchage d'algues alimentaires.

N

Naika, S., Van Lidt de Jeude, J., Goffau, M. d., Hilmi, M., & van Dam, B. (2005). La culture de la tomate: production, transformation et commercialisation.

Naika, S., Van Lidt de Jeude, J., Goffau, M. d., Hilmi, M., & van Dam, B. (2005). La culture de la tomate: production, transformation et commercialisation.

Nève, J. (2002). Modulation de l'apport alimentaire en anti-oxydants. *Nutrition clinique et métabolisme*, 16(4), 292-300.

N'zi, J., Kouamé, C., FONDO, L., & Djidji, H. (2000). Interaction genotype-environnement sur les performances de la tomate (*Lycopersicon esculentum*): Genotype-environment interaction effects on tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) yield. *Agronomie Africaine*, 12(2), 51-60.

Références bibliographiques

O

Ozsoy, N., Can, A., Yanardag, R., & Akev, N. (2008). Antioxidant activity of Smilax excelsa L. leaf extracts. *Food Chemistry*, 110(3), 571-583.

R

Rodriguez-Amaya, D. B. (2001). A guide to carotenoid analysis in foods: ILSI press Washington, DC.

S

Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M., & Toth-Markus, M. (2005). Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38(8-9), 1023-1029.

Sharedeh, D. (2015). Analyse du transfert de matière et des modifications biochimiques et structurales du tissu musculaire lors du marinage, saumurage et malaxage des viandes. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.

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

Soro, S., Doumbia, M., Dao, D., Andres, T., & Girardin, O. (2007). Performance de six cultivars de tomates *Lycopersicon esculentum* Mills. contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Sciences & Nature*, 4(2), 123-130.

Spigno, G., Tramelli, L., & De Faveri, D. M. (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of food engineering*, 81(1), 200-208.

Références bibliographiques

T

Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231-1246.

V

van Dam, B., Goffau, M. d., van Lidt de Jeude, J., & Naika, S. (2005). Cultivation of tomato: Production, processing and marketing.

Z

Zogzas, N., Maroulis, Z., & Marinos-Kouris, D. (1994). Moisture deffusivity methods of experimental determination areview. *Drying technology*, 12(3), 483-515.

Parties ANONYME

Anonyme1 :(ANSES2017) :<http://sante.lefigaro.fr/mieuxetre/nutritionaliments/tomate/composition> consulter le 20/03/20180.

Anonyme2 2018 :<http://www.gammvert.fr/conseils/conseils-de-jardinage/choisir-ses-tomat> consulter le 20/03/2018.

ANNEXE

Annexe I. Matériels utilisés

1. Appareillage

- ❖ Balance de précision PS1200R2.
- ❖ Broyeur électrique (IKA model A11 basic) .
- ❖ Dessiccateur RADWAG MAC 50/NP.
- ❖ Etuve ventilée (**memmert**).
- ❖ Micro-onde maxi power .
- ❖ Spectrophotomètre UV-Vis (1800).
- ❖ pH mètre (PH 211 HANNA INSTRUMENTS).

2. Produits chimiques

- ❖ Acétone (BIOCHEM Chemopharma)
- ❖ Carbonate de sodium (Na_2CO_3) (SIGMA-ALDRICH)
- ❖ Folin-ciocalteu (PROLABO)
- ❖ Chlorure d'aluminium (AlCl_3) (SIGMA-ALDRICH)
- ❖ Méthanol (SCHARLAU)
- ❖ Tampon phosphate (GPR RECTAPUR)
- ❖ Fericyanide de potassium (K^+) (SIGMA-ALDRICH)
- ❖ ABTS (SIGMA-ALDRICH)
- ❖ DPPH (SIGMA-ALDRICH)
- ❖ TCA (SIGMA-ALDRICH)
- ❖ Ethanol (99.8 %)

3. solutions utilisées

1- Folin cieucalteu

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

2- les mélanges de solvants

10ml d'hexane + 5ml d'acétone + 5ml de méthanol.

3- Sulfate de sodium (1%)

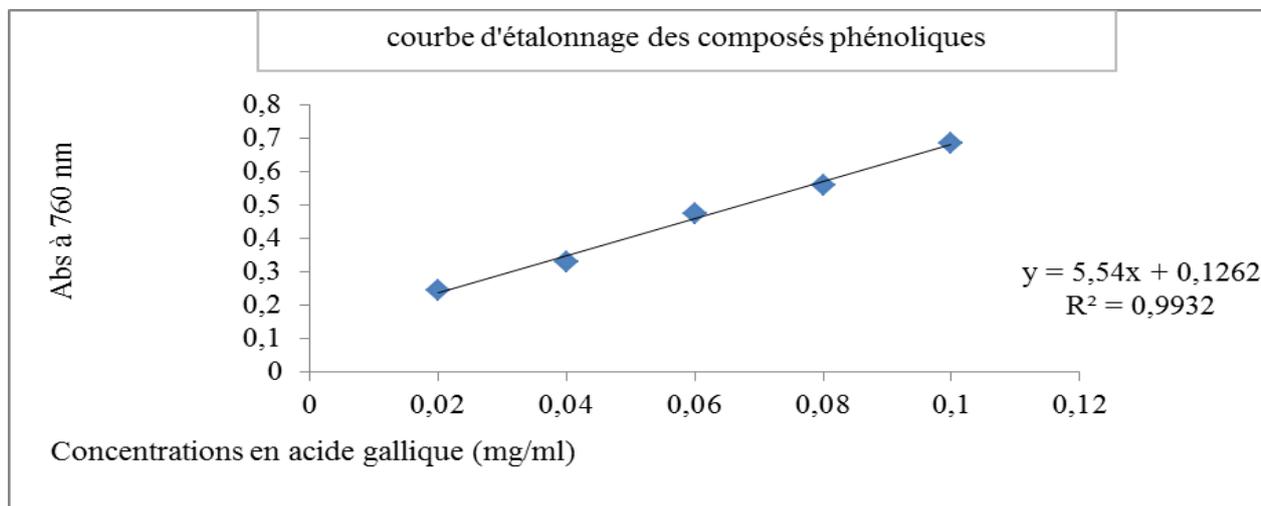
1g de sulfate de sodium dans 100ml de l'eau distillé.

4- Carbonate de sodium

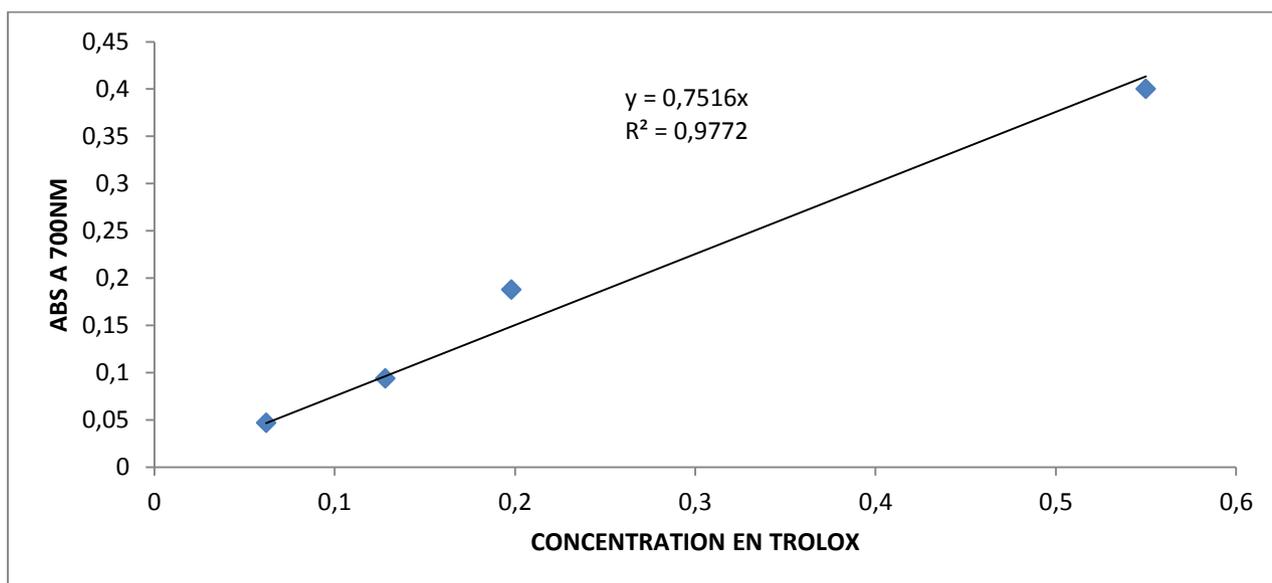
6g de carbonate de sodium +100ml de l'eau distillé.

Annexe II : Courbes d'étalonnage utilisées

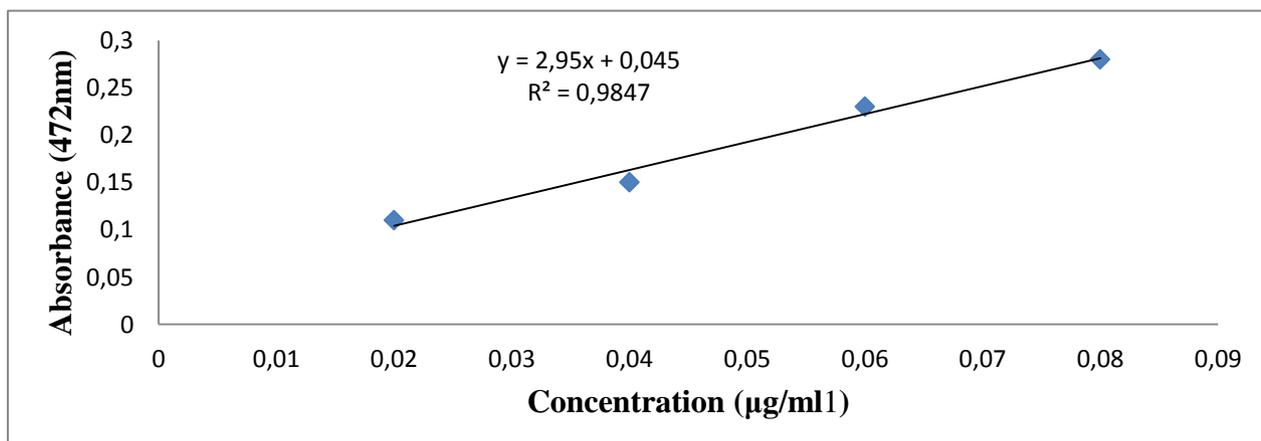
II.1. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.



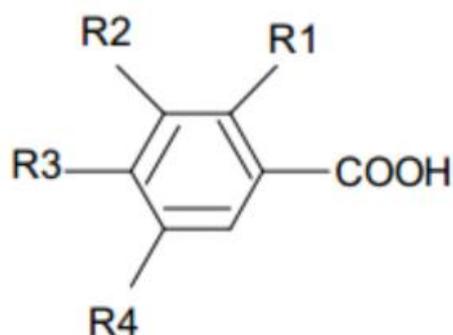
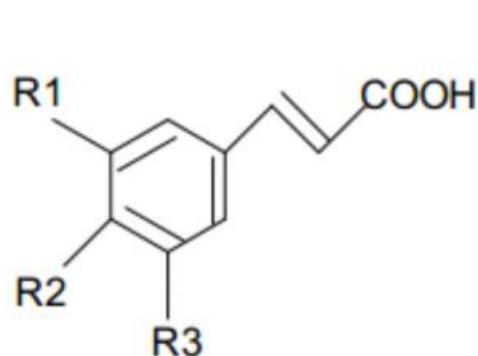
II.2. Courbe d'étalonnage de TROLOX .



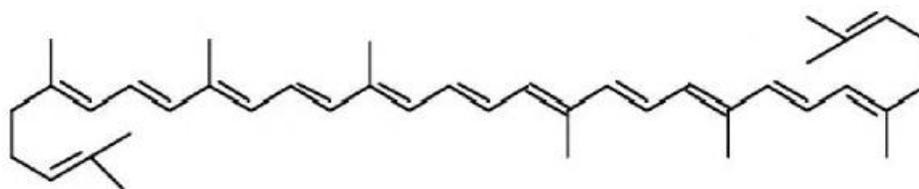
II.2. Courbe d'étalonnage de β -carotène (caroténoïdes).



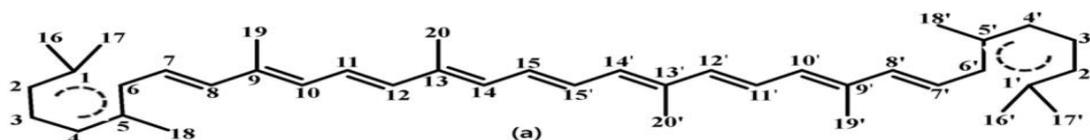
ANNEXE III : Formules chimiques des antioxydants étudiées.



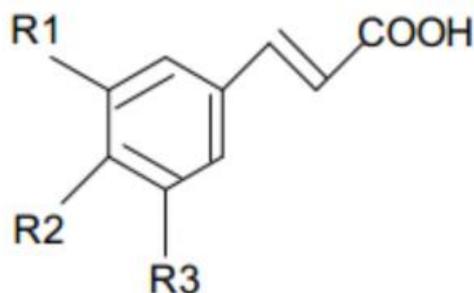
III. Formules : chimiques des antioxydants étudiées.



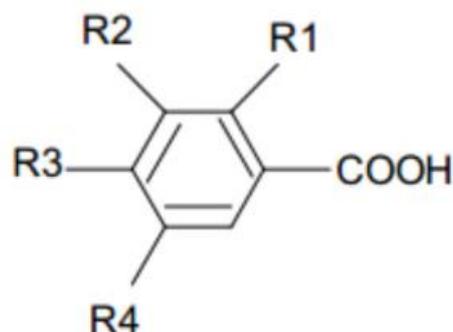
III.1. Structure moléculaire de lycopène (Zuorro et al.,2014).

III.2. Structure moléculaire des caroténoïdes [β -carotène] (Ramesh et al.,2015).

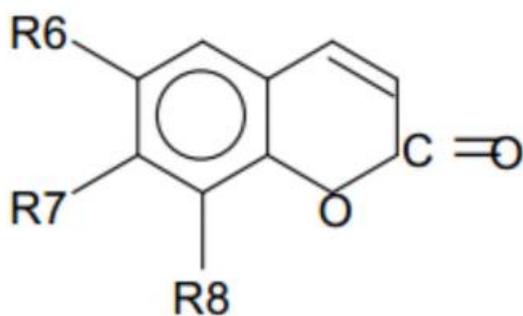
III.3. Principales classes des polyphénols



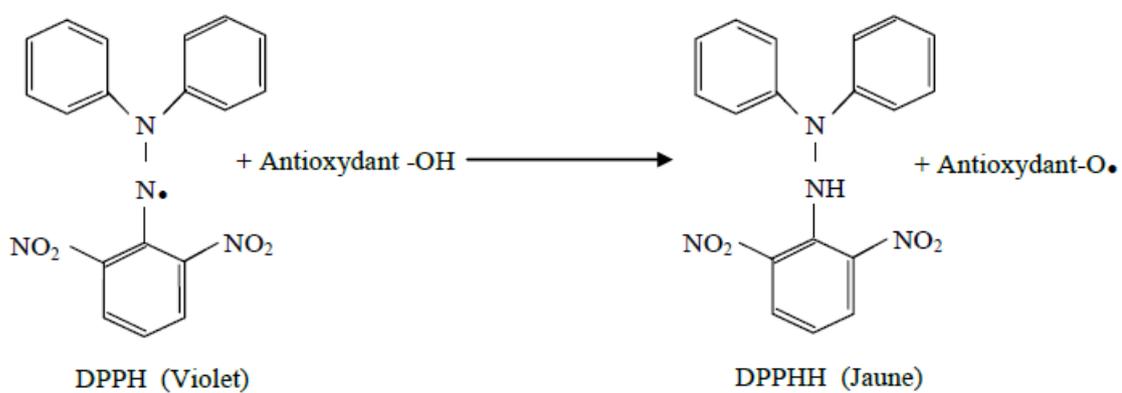
III.3.1. acides hydroxycinnamiques.



III.3.2. Acides hydroxybenzoïques.



III.3.3. Types de coumarines.



III.4. Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH

Résumé

L'objectif de cette étude est de faire une comparaison entre le séchage de la tomate par microonde et par étuve et d'identifier la méthode qui donne le temps de séchage le plus court et qui permet de mieux préserver la qualité physicochimique et biochimique de la tomate séchée. De ce fait deux méthodes de séchage ont été étudiées : par microonde et par étuve ventilée. La cinétique de séchage a été étudiée en suivant l'évolution de taux de humidité en fonction de temps, ainsi que l'effet de ces deux méthodes sur l'activité anti-oxydante a été réalisée par les différents dosages (polyphénols totaux, caroténoïdes, lycopène, pouvoir réducteur, test au DPPH et test ABTS). Les résultats montrent que la cinétique de séchage par microonde donne un temps de séchage le plus court, en comparaison à l'étuve ventilée. Les résultats de dosage des différents composés montrent que la teneur la plus élevée en polyphénol totaux (5861,50mg EAG/g de MS), lycopène (10,85mg EBC /100g MS) et caroténoïdes (8,87 mg EBC /g de MS) est obtenu pour l'échantillon séché à 800 W. Les résultats des tests ABTS et DPPH montrent que l'activité la plus élevée est obtenue par le séchage par étuve, Ces résultats préliminaires montrent que le séchage par microonde est la méthode la plus adéquate pour le séchage de la tomate.

Mots clés : la tomate *Solanum lycopersicum*, cinétique de séchage, étuve ventilée, microonde

Abstract : The objective of this study is to make a comparison between the drying of the tomato by microwave and oven and to identify the method which gives the shortest drying time and which allows better preservation of the physicochemical and biochemical quality of the tomato. dried tomato. As a result, two drying methods were studied: by microwave and by ventilated oven. The kinetics of drying was studied by following the evolution of moisture content as a function of time, as well as the effect of these two methods on the antioxidant activity was carried out by the various assays (total polyphenols, carotenoids, lycopene, reducing power, DPPH test and ABTS test). The results show that the microwave drying kinetics give the shortest drying time compared to the ventilated oven. The assay results of the different compounds show that the highest total polyphenol content (5861.50mg EAG / g MS), lycopene (10.85mg EBC / 100g MS) and carotenoids (8.87 mg EBC / g MS) is obtained for the sample dried at 800 W. The results of the ABTS and DPPH tests show that the highest activity is obtained by drying in an oven, These preliminary results show that the microwave drying is the most suitable method for drying the tomato.

Keys words : tomato *Solanum lycopersicum*, drying kinetics, ventilated oven, microwave.