

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE

DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO /2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV Filière : Sciences Alimentaire

Spécialité : Agro-alimentaire et contrôle de qualité

Présenté par :

MAHFOUD Meriem & BOUAROUDJ Khadidja

Thème

Optimisation de l'extraction des composés bioactifs de la tomate séchée et évaluation de son potentiel antioxydant et antimicrobien

Soutenu le: 04 /07/2024

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Dr. CHEKROUNE,M

MCA

Univ. de Bouira

Présidente

Dr. ZEGANE .O

MAA

Univ. de Bouira

Promotrice

Dr. BOURFIS.N

MCA

Univ. de Bouira

Examinatrice

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

*Tout d'abord, nous remercions **Allah**, le Tout-Puissant, pour nous avoir donné la force, la patience et les ressources nécessaires pour mener à bien ce projet de fin d'études.*

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet.

*Je remercie tout particulièrement ma promotrice, **Madame Zegane**, pour sa guidance inestimable, ses conseils précieux et son soutien constant tout au long de ce projet.*

*Je souhaite également adresser mes sincères remerciements aux **membres du jury**, pour leur temps, leur expertise et leurs précieux commentaires.*

*Un grand merci au **directeur de l'usine de la wilaya de Sétif** pour nous avoir fourni les échantillons (poudre de tomate) qui ont été essentiels pour notre recherche. Nous exprimons également notre profonde gratitude au directeur de **Tawabil El Fares** pour l'aide précieuse qu'il nous a apportée.*

*Je remercie chaleureusement le **chef du laboratoire 1**, qui a été d'une grande gentillesse et nous a beaucoup aidés tout au long de notre projet.*

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce projet, que ce soit par leur soutien, leurs conseils ou leur aide logistique. Votre contribution a été inestimable et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

Dédicace

À ma chère maman et à mon cher papa, vos sacrifices, votre amour inconditionnel et votre soutien indéfectible ont été les piliers sur lesquels j'ai bâti mon parcours. Chaque jour, vous m'avez inspirée par votre dévouement et votre résilience. Ce projet n'aurait pas été possible sans vos encouragements constants et votre foi en mes capacités. Je vous dédie ce travail avec une immense gratitude et un amour infini.

*À mes frères et sœurs, **warda, ibrahim, imane, nedjma et abd el fatah** qui ont toujours été à mes côtés, me soutenant avec leur amour et leur compréhension.. Vous êtes ma force et ma motivation.*

*Aux mes petits anges, **Iyad, Rahaf, Hanin**, et notre petit ange Idriss. Vous êtes une source de joie inestimable et je vous porte tous dans mon cœur.*

*À mes amies de toujours, **Kenza, Khawla, Sara, et Asma***

*À ma binôme de projet, **Khadija**, merci pour ta collaboration, ton travail acharné et ta camaraderie.*

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet, je vous exprime ma plus profonde gratitude. Votre aide, vos conseils et vos encouragements ont été essentiels pour mener à bien ce travail.

Meriem

Dédicace

*Tout d'abord, nous remercions **Dieu**, « tout puissant », de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir*

Accomplir ce travail.

À ma mère, ma grande mère, et à mon père, mon grand-père, pour leur amour inconditionnel, leur sagesse et leurs conseils précieux. Vous êtes mes piliers et ma force.

*À mes frères, **Abdou et Amine**, pour leur soutien indéfectible et leur présence réconfortante.*

*À mon binôme **Meriem**, pour son soutien moral, sa patience infinie et sa compréhension tout au long de ce projet. Ta compagnie a été inestimable.*

À mes oncles et mes tantes, ainsi qu'à toutes leurs familles, pour leur amour et leur soutien constant.

*À mes chers amis et proches, **Tawes, Sonia, Rahile et Massi**, pour leur Amitié sincère et leur encouragement indéfectible.*

À toutes les personnes qui m'aiment et qui m'ont soutenu tout au Long de ce parcours, vous avez contribué à mon succès.

À toute personne qui s'intéresse à la recherche et à la science.

Khadija

Table de matière

Remerciements

Liste des abréviations

Liste des figures

Introduction..... 01

Chapitre I : Généralité sur la tomate

I.1. Classification botanique 05

I.2. Description botanique. 06

I.3. Maturation..... 07

I.4. Composition 07

I.5. Produits à base de tomate..... 08

I.6. Importance mondiale 09

I.6.1. Importance en Algérie 10

I.6.1.1. Production de la tomate fraîche dans la wilaya de Bouira ... 11

Chapitre II : Technologie de séchage

II.1. Généralité sur le séchage 13

II.2. Technique de Séchage 13

II.2.1. Séchage thermique..... 13

II.2.1.1. Au soleil 13

II.2.1.2. l'air libre 14

II.2.1.3. Par entraînement 14

II.2.1.4. Par ébullition..... 14

II.2.1.5. Séchage à l'étuve 14

II.2.1.6. Séchage par microonde 15

II.2.2. Séchage non thermique 15

II.2.2.1. Par lyophilisation 15

II.2.2.2. Séchage osmotique 16

II.3. Introduction sur tomate séchée	17
II.3.1. Avantages et les inconvénients de séchage	17

Chapitre III : Les radicaux libres

III. Généralité sur les radicaux libres	20
III.1. Nature des radicaux libres	21
III.1.1. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)	21
III.1.2. Espèces réactives de l'azote (RNS)	22
III.3. Antioxydants	23
III.3.1. Définition	23
III.3.2. Classification des antioxydants	23
III.3.3. Rôle des antioxydants.....	24
III.3.4. Antioxydants de la tomate.	24
III.3.4.1. Polyphénols	24
III.3.4.2. Classification des composés phénoliques.....	25

Chapitre IV : Matériel & Méthodes

IV.1. Collecte des échantillons.....	29
IV. 2. Préparation de la plante.....	29
IV.3. Optimisation d'extraction des composés phénoliques.....	30
IV.3.1. Construction du plan expérimental.....	31
IV.3.2. Analyse de la significativité du Modèle global.....	33
IV.3.3. Analyse Anova du de model pour PPL et PC.....	34
IV.3.4. Détermination expérimentales des conditions optimales.....	35
IV.3.5. Optimisation des Conditions pour la PPL.....	36
IV.4. Analyses des paramètres physico-chimiques.....	37
IV.4.1. Taux d'humidité.....	37
IV.4.2. Détermination du pH	39
IV.4.3. Détermination de la teneur en cendres	39

IV.4.4. L'acidité titrable	41
IV.5. Dosage des antioxydant.....	42
IV.5.1. Dosage des polyphénols totaux	42
IV.5.2. Dosage des flavonoides	43
IV.6. Détermination des activités antioxydantes	44
IV.6.1. Activité anti-radical DPPH°	44
IV.6.2. Pouvoir réducteur de fer.....	44
IV.6.3. Détermination de l'Activité ABTS+.....	45
IV.7. L'analyse microbiologique.....	46
IV.8. L'analyse statistique.....	47

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Taux d'humidité	49
V.2. pH	50
V.3. Taux de cendre	52
V.4. L'acidité titrable	53
V.5. Polyphénols totaux	55
V.5.1. flavonoïdes	57
V.6. Détermination de quelques activités antioxydantes	59
V.6.1. L'activité anti-radical DPPH°	59
V.6.2. Pouvoir réducteur	60
V.6.3. Réduction de radical-cation ABTS	62
V.7. Les résultats des analyses microbiennes	63
V.7.1. Interprétation des résultats	65
Conclusion	67

Référence bibliothèques

Résumés

Liste des abréviations

DPPH : Radical scavenging assay (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl).

EQ : équivalente quercitine.

ERO : Espèces Réactives de l'oxygène.

H% : Taux d'humidité.

MSR : Méthodologie de surface de réponse

PC : poudre commercial

PH : potentiel hydrogène.

PPL : poudre de tomate préparée en laboratoire

Tr : Toure.

UV-visible : Domene ultraviolet-visible.

.

Liste des figures

Figure 1: Fruit de tomate	05
Figure 2 : Morphologie de la plante de la tomate.....	06
Figure 3: Principales étapes du développement du fruit de la tomate.....	07
Figure 4 : Les principaux pays producteurs de tomate dans le monde.....	10
Figure 5 : Les régions productrices de la tomate fraiche dans la wilaya de Bouira	11
Figure 6 : Illustration d'un séchoir solaire	13
Figure 7 : Etuve de laboratoire utilisée pour le séchage	15
Figure 8 : Lyophilisateur Pilote LPCCPLS15 et Lyophilisateur de Production	16
Figure 9 : Séchage de la tomate	18
Figure 10 : Passage de l'état stable au radical libre et sa stabilisation de nouveau	19
Figure 11 : Les différents radicaux libres et leurs effets sur l'organisme	22
Figure 12 : Schéma illustrant l'oxydation des lipides	23
Figure 13 : Structure du groupement phénol	25
Figure 14 : La classification détaillée des polyphénols	25
Figure 15 : La structure de beta carotène	27
Figure 16 : Collection des échantillons	29
Figure 17 : Préparation de poudre	30
Figure 18 : Poudre préparé au laboratoire	33
Figure 19 : Graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues (PC).	33

Figure 20 : Détermination et validation expérimentales des conditions optimale.....	36
Figure 21 : pH-mètre de paillasse après la mesure de deux types de poudres de tomates.....	39
Figure 22 : Les creusets de la poudre de tomate.....	40
Figure 23 : Le dosage des polyphénols totaux.....	42
Figure 24 : Le dosage des flavonoïdes.....	43
Figure 25 : Le dosage d'ABTS.....	45
Figure 26 : Préparation des extraits.....	46
Figure 27 : Application des extraits.....	47
Figure 28 : Humidité de la poudre de tomate de deux échantillons.....	49
Figure 29 : Valeur de ph de la poudre de tomate.....	51
Figure 30 : Taux de cendre de la poudre de tomate de deux échantillons.....	52
Figure 31 : Acidité titrable de la poudre de deux échantillons.....	54
Figure 32 : La teneur en polyphénols de la poudre de tomate de deux échantillons.....	55
Figure 33 : Teneur en flavonoïdes de la poudre de tomate de deux préparations.....	57
Figure 34 : Activité anti-radical DPPH de la poudre de tomate.....	58
Figure 35 : le pouvoir réducteur de la poudre de tomate tomate.....	61
Figure 36 : Activité de radical ABTS de la poudre de tomate.....	62

Liste des tableaux

Tableau I : Classification botanique de la tomate	05
Tableau II : Valeur nutritionnelle pour 100g de tomate	08
Tableau III : Différents types des espèces réactives.....	09
Tableau IV : Les avantages et les inconvénients de séchage	17
Tableau V : Différents types des espèces réactives.....	21
Tableau VI : Les catégories des antioxydant réactives.....	23
Tableau VII : Les antioxydants de la tomate	26
Tableau VIII : Matrice de plan pour poudre préparé au laboratoire	32
Tableau IX : Matrice de plan d'expérience pour une poudre de la commerciale PC.....	32
Tableau X : Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) pour les modèles	34
Tableau XI : Résultats pour l'échantillon industriel	63
Tableau XII : Résultats pour l'échantillon Laboratoire.....	64

Introduction

Introduction générale

La tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) est un fruit largement cultivée, il appartient à la famille des Solanacées. Représente l'un des légumes les plus importants de l'alimentation humaine. Elle est aujourd'hui présente et consommée dans le monde entier et elle peut être considérée comme l'une des premières cultures maraîchères, avec un rendement mondial total en hausse, estimé à 153 millions de tonnes en 2010, 182 millions de tonnes en 2019 et 189 millions de tonnes en 2021 (FAO, 2021).

La tomate est native des Andes en Amérique du Sud, s'étendant de la Colombie au nord du Chili et des régions côtières du Pacifique aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). Après avoir été domestiquée au Mexique, elle a été introduite en Europe par les Espagnols au XVIe siècle, précédant même l'arrivée de la pomme de terre et du tabac (Naika *et al.*, 2005).

En Algérie, la culture de la tomate est une activité essentielle de l'industrie agroalimentaire en raison de sa contribution à la croissance du secteur agricole et à l'emploi de la main-d'œuvre (Onagri, 2015). Elle est cultivée sur une superficie de 33 000 hectares, avec une production moyenne de 13,7 millions de quintaux (qx) pendant la campagne 2017-2018 (Madr, 2018). Cependant, ces chiffres restent faibles par rapport à ceux des autres pays méditerranéens producteurs de tomates tels que la Tunisie, le Maroc, l'Espagne, la France et l'Italie, où les rendements varient entre 350 qx/ha et 1500 qx/ha (FAO, 2010).

La tomate est un fruit très consommée, offrent plusieurs avantages nutritifs. Composées principalement d'environ 93% à 95% d'eau et possédant peu de calories (moins de 19 kcal pour 100 grammes, équivalents à environ 63 Kj/100g), ces fruits contiennent des antioxydants significatifs comme le carotène et le lycopène. Ces composés peuvent réduire le risque de certaines formes de cancer et protéger la peau contre les risques de UV. De plus, les tomates apportent des quantités importantes de vitamine C, de la provitamine A et diverses vitamines du groupe B. En matière de minéraux, elles se distinguent particulièrement par leur richesse en potasse, en magnésium et en phosphore (Annick, *et al.*, 2009).

Les technologies modernes de transformation de la tomate comprennent divers sous produits le jus de tomate, la conserve, la stérilisation de coulis ou sauces, la congélation de tomate fraîche, le concentré de tomate pour les premières, et la pelée, la pulpe, la purée et pour la conservation de ces produits on utilise la méthode de séchage (Montcho *et al.*, 2012).

Le séchage est l'opération unique d'élimination totale ou partielle d'eau, Le matériau est imprégné en apportant de l'énergie thermique. Il est constitué d'eau évaporée et Composés volatils qui réduisent la croissance et les réactions microbiennes, Le brunissage enzymatique prolonge la durée de conservation de nos produits. Il Permettant d'obtenir un produit sec et homogène en fin de séchage (**Verdier et al., 2016**).ce qui réduit considérablement la masse et le volume du produit et facilite son transport, stockage et manutention (**Djerroud et al., 2010**).

Le séchage peut donc transformer les aliments périssables en produits stables en réduisant activité d'eau (**Nguyen, 2015**).

L'objectif de la présente étude est de caractériser deux préparations a base de la tomate séchée, par le biais d'une optimisation le rendement en composés bioactifs en utilisant un plan d'expérience, de type plans de surface (Box-Benkhen), ensuite de doser quelques composés bioactifs de la tomate et d'estimer le potentiels antioxydant en fin d'évaluer l'activité antimicrobienne des extraits optimisés des deux préparations.

Partie I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Généralité sur la tomate

Cette famille de tomate comprend également les pommes de terre, les aubergines, les poivrons, et d'autres espèces similaires., les tomates sont aujourd'hui cultivées dans le monde entier pour leurs fruits comestibles, qui sont un élément de base dans de nombreuses cuisines (Djida, 2019) (Fig.1).



Figure N° 01 : Fruit de tomate (Photo Original) .

I.1. Classification botanique

La tomate appartient à la classification suivant le tableau suivant :

Tableau I : Classification botanique de la tomate (Rahmane *et al*, 2021).

Règne	Plante
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous classe	Gamopétales
Ordre	Polémoniales
Sous ordre	Solanales
Famille	Solanacées
Genre	<i>Lycopersicum</i>
Espèce	<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill

I.2.description botanique

La tomate a des feuilles ramifiées, un processus de fructification légèrement retardé, et des feuillettes compacts et revêtus. ; Les fleurs sont jaunes, de 2 cm de diamètre, et les fruits sont bruns, de 1,5 à 7,5 cm de Diamètre. (Fig.2) (Anonyme, 2023).

Ils sont généralement rouges, écarlates ou jaunes, bien que verts et violets. Les variétés existent et leur forme varie de presque sphérique à ovale et allongé à poire. Chaque fruit contient au moins deux cellules de petites graines entourées de pulpe de gélule (Anonyme, 2023).

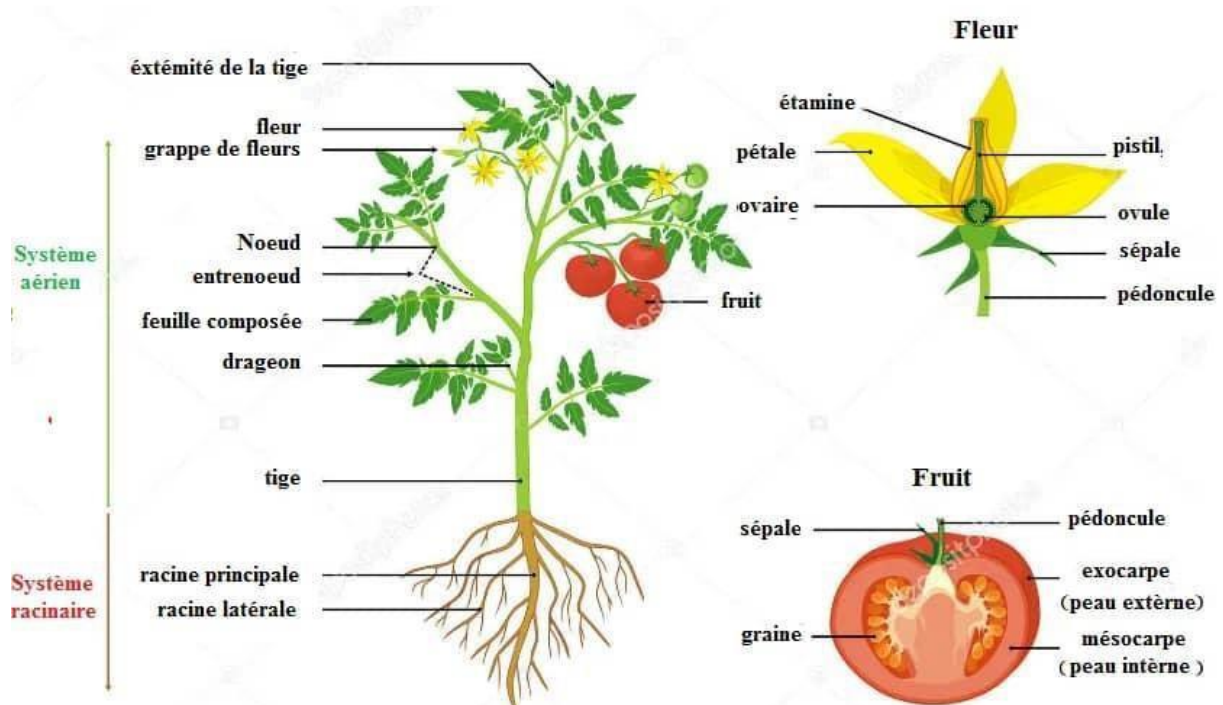


Figure N° 02 : Morphologie de la plante de la tomate (Anonyme, 2023).

I.3. Maturation

Le développement du fruit se découpe en une phase de croissance puis de maturation (**Fig.3**). La phase de croissance se caractérise par une première étape importante de division cellulaire de l'ovaire qui commence quelques jours avant la pollinisation, puis se stabilise pour laisser place au phénomène d'expansion cellulaire (**Aslani et al., 2023**). Ensuite, la transition d'un état de croissance vers un état de maturation implique peu de changements dans la taille du fruit mais un remodelage important du profil biochimique et de l'équilibre hormonal : le fruit change de couleur, perd son acidité et sa fermeté (**Fenn et Giovannoni, 2021**).

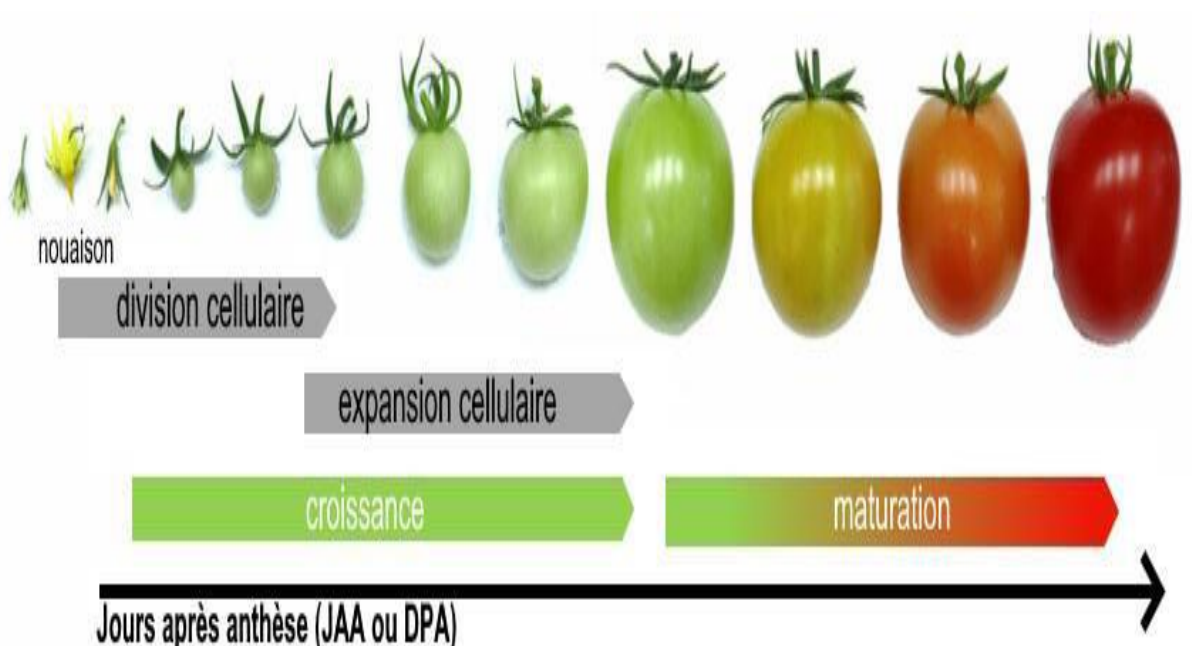


Figure N° 03 : Principales étapes du développement du fruit de la tomate (**Freschi et al. 2023**).

I.4. Composition

Environ 90 % d'une tomate mûre est constituée d'eau, avec 5 à 10 % de matière sèche. La matière sèche est constituée pour la moitié de sucres (principalement du glucose et du fructose), pour le quart d'acides organiques, d'acides aminés, de minéraux et de lipides. Un quart est composé de protéines, de pectines, de cellulose et d'hémicellulose. Ce produit contient une grande quantité d'eau et est extrêmement peu calorique (18 kcals pour 100 grammes), mais il est très riche en minéraux et en vitamines (A, C et E). Les antioxydants qu'il renferme en font un rempart exceptionnel contre les infections (**Dominique D, Alain P, 2021**).

Voici un tableau résume les principaux constituants de la tomate dans le **Tableau N° II** :

Tableau II : Valeur nutritionnelle pour 100g de tomate (Grasselly *et al.*, 2000).

Composés	Variations
Eau	93,4 - 95,2 g
Protides	0,9 - 1 g
Lipides	0,3 g
Glucides	2,8 - 4,7 g
Fibres	0,5 - 1,5 g
Potassium	202 - 300 mg
Calcium	9,7 - 15 mg
Phosphore	20 - 27mg
Magnésium et sodium	3 - 11 mg
Vitamine C	15 - 23 mg
Vitamine E	0,04 - 1,2 mg
Energie	18 kcals

Composés antioxydants	Teneur (mg/100g de tomate fraîche)
β-carotène	0,08 - 1,06
Lycopène	0,11 - 17,5
Vitamine C	15 - 23
Vitamine E	0,04 - 1,2
Polyphénols totaux	13 - 17,5

I.5. Produits à base de tomate

Tableau III : Les produits a base de tomate (Hassoun *et al* ., 2022).

Produit	Description
Pulpe de tomate	Tomates écrasées, peau et graines enlevées.
Jus de tomate	Liquidedetomatesentièresécrasées,peauetgrainesretirées, prêt à consommer sans dilution ou concentration.
Pâte de tomate	Condiment culinaire à partir de tomates mûres, consistant en une texture épaisse et concentrée.
Sauces de tomate	Incluent le ketchup (purée de tomate) et la sauce chili (tomates pelées entières).
Poudre de tomate	Tomates séchées et broyées en fine poudre, sans colorants ni conservateurs artificiels.

Tableau III : Les produits a base de tomate (Hassoun *et al* ., 2022).

I.6.Importance mondiale

La tomate est cultivée dans plus de 170 pays à travers le monde, s'adaptant à une variété de climats, y compris des régions relativement froides grâce aux techniques de culture sous abris. En termes de volume de production, elle occupe la première place parmi les fruits à l'échelle mondiale (FAO, 2007).

D'après les données de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), en 2007, la production mondiale de tomates atteignait 126,2 millions de tonnes sur une superficie de 4,63 millions d'hectares, ce qui équivaut à un rendement moyen de 27,3 tonnes par hectare. En 2016, la production mondiale de tomates a atteint un record de 177 042 000 tonnes, marquant une augmentation de 29,08% en une décennie. Seize pays regroupent à eux seuls 80% de cette production mondiale (voir Tableau I), parmi lesquels la Chine et les États-Unis se distinguent en tant que principaux producteurs (FAO, 2007) (Fig.4).

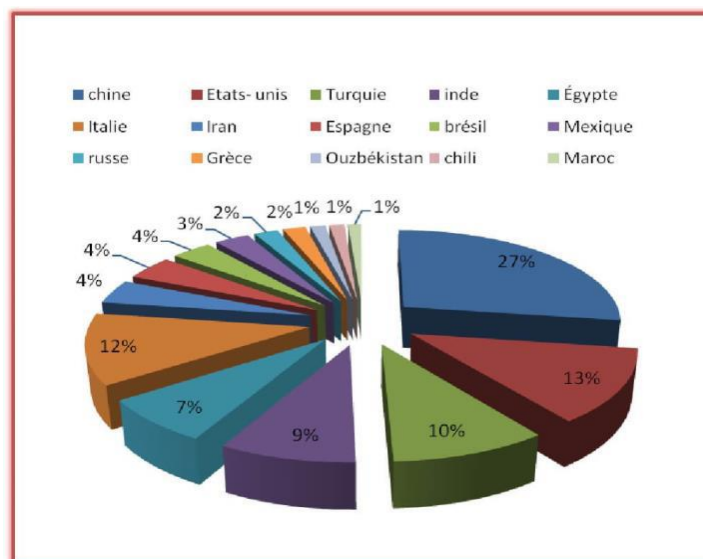


Figure N° 04: Les principaux pays producteurs de tomate dans le monde (1997-2007) (F.A.O, 2009).

I.6.1.Importance en Algérie

Selon F.A.O, 2023, la production de tomates en Algérie a connu une évolution mitigée :

- La production de tomates fraîches a fait l'objet d'une véritable renaissance agricole ces dernières années, l'Algérie disposant d'un fort potentiel pour s'imposer comme un important exportateur.
- Cependant, en 2022, la production des cultures maraîchères, dont font partie les tomates, a baissé de 7,3% par rapport à 2021, passant de 146,3 millions de quintaux à 135,6 millions de quintaux. Cette baisse s'explique principalement par une diminution de la production des tomates industrielles de 14,1%.
- Au niveau local, la wilaya de Chlef a enregistré une production abondante de tomates industrielles lors de la saison 2022/2023, avec plus de 2100 hectares cultivés et des rendements dépassant les 1000 quintaux/hectare. L'unique usine de transformation locale a traité plus de 58 000 tonnes de tomates depuis le début de la récolte et prévoit d'atteindre 100 000 tonnes sur la saison, contre 80 000 tonnes l'année précédente.

En résumé, bien que la production de tomates ait baissé en 2022 au niveau national, l'Algérie reste un acteur majeur dans la production de tomates au niveau arabe. Des efforts sont entrepris pour développer cette filière, notamment dans des régions comme Chlef qui enregistrent des productions.

I.6.1.1. La production de la tomate fraîche dans la wilaya de Bouira

Le graphique circulaire illustrant la répartition de la production de tomates fraîches dans la wilaya de Bouira montre une concentration marquée de la production dans quelques régions clés. El Esnam domine largement avec 48% de la production totale, suivi de Guerrouma avec 25% et Souk Lekhmis avec 14%. Kadiria, avec 8%, se place en quatrième position. Les autres régions, notamment Lakhdaria et El Hachimia avec chacune 2%, Bechloul avec 1%, et Oued El Berdi avec 0%, contribuent de manière plus modeste. Cette répartition révèle que la majorité de la production de tomates provient principalement d'El Esnam, avec des contributions significatives de Guerrouma et Souk Lekhmis, tandis que les autres régions jouent un rôle moins central dans cette production. Cela peut orienter les décisions en matière de politiques agricoles et d'investissements afin d'équilibrer ou d'optimiser la production dans toute la wilaya (**Fig.5**).

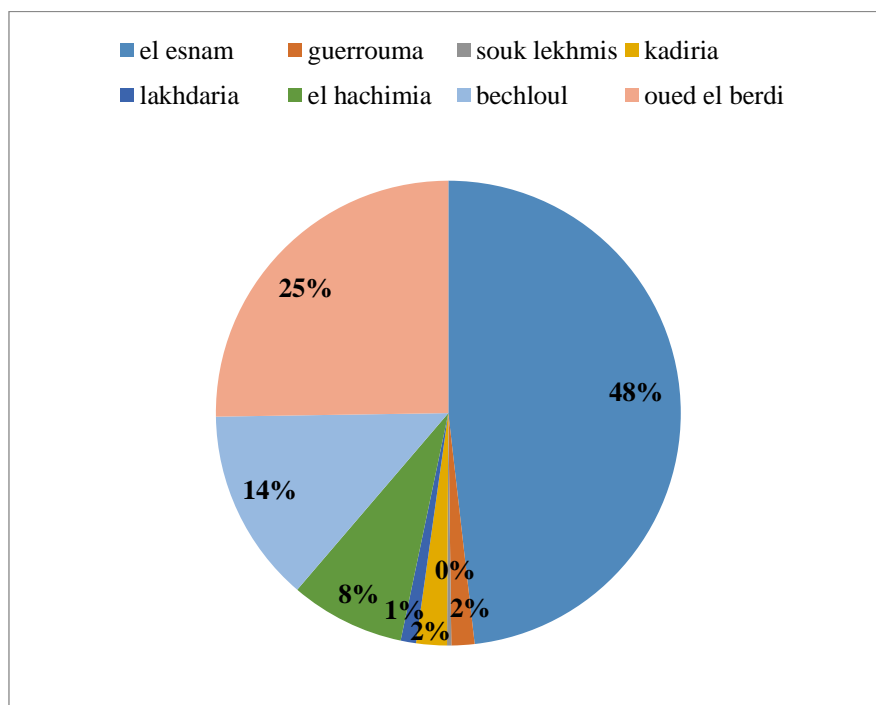


Figure N° 05 : Les régions productrices de la tomate fraîche dans la wilaya de Bouira (**Madr, 2024**).

Chapitre II
Technologie de séchage

II.1. Généralité sur le séchage

C'est une méthode pour conserver les produits agricoles et alimentaires, jouant un rôle essentiel dans la fabrication de divers produits alimentaires, que ce soit comme étape intégrale de transformation ou de manière complémentaire (comme pour la congélation ou la cuisson). Une compréhension approfondie des interactions entre l'air et le produit, ainsi que la maîtrise des vitesses de séchage et de transformation, sont essentielles pour ce processus (Bonazzi et Bimbenet , 2003).

II.2. Technique de Séchage

II.2.1. Séchage thermique

II.2.1.1. au soleil

Le séchage par énergie solaire est une méthode ancienne qui remonte à des temps reculés. Actuellement, pour accélérer le processus de séchage, on recourt à des capteurs solaires à air (Fig.6). Ces capteurs absorbent l'énergie solaire qui est ensuite transférée dans l'air, qui est alors ventilée dans une chambre de séchage. Cette méthode est couramment utilisée pour sécher les plantes médicinales, les fruits, les légumes, les viandes, les poissons et les produits légers comme les feuilles de tabac (Labeled, 2012).

L'énergie solaire offre une solution durable et efficace de conservation des aliments (Lati *et al.*, 2015).

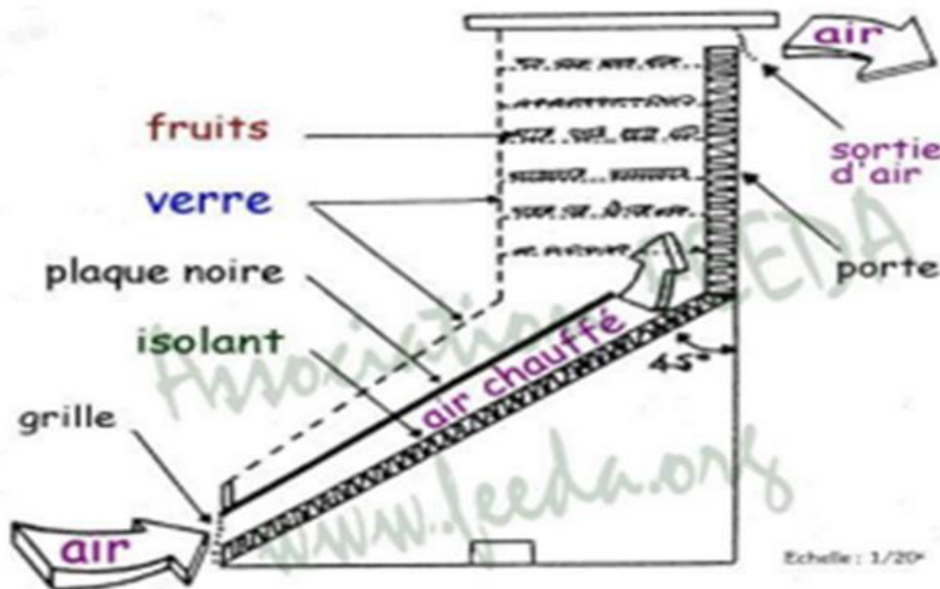


Figure N° 06 : Illustration d'un séchoir solaire (El-Sebaili, Aboul-Enein *et al.* 2002).

II.2.1.2. l'air libre

Le séchage à l'air libre se déroule à l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air, dans une chambre maintenue à une température moyenne de 22 ± 2 °C. Ce processus de séchage est régulé par la convection naturelle selon les travaux (**Lahmari et al. 2012**).

II.2.1.3. par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (généralement de l'air) suffisamment chaud et sec, il se crée un écart de température et de pression partielle qui permet d'apporter au produit une partie de l'énergie nécessaire à la vaporisation d'évaporer l'eau sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle de l'eau. La vapeur d'eau est transférée par conduction et convection du produit vers l'environnement et est ensuite entraînée par le gaz (**Bonazzi et al., 2008**).

II.2.1.4. par ébullition

Lorsque le produit est chauffé jusqu'à atteindre sa température d'ébullition, la pression de vapeur d'eau du produit devient égale à la pression totale ambiante dans le séchoir. La température du liquide est donc déterminée par la pression d'ébullition (par exemple 100°C pour l'eau à $1,013 \times 10^5$ Pa) (**Boussalia, 2010**). Le mécanisme d'ébullition est caractérisé par le fait que la vapeur PV est mise à la pression totale P_t dans l'enceinte, et s'écoule vers l'extérieur sans résistance de diffusion externe (**Jangam, Law et Mujumdar, 2010**).

II.2.1.5. Séchage a l'étuve

Dans ce procédé de séchage, de l'air chauffé est utilisé pour entrer en contact avec le matériau humide afin de favoriser le transfert de chaleur et de masse ; la convection joue un rôle prépondérant. Il est essentiel de définir avec précision la température requise dans la chambre de séchage, la durée du processus, ainsi que les dimensions de l'échantillon à tester. Le choix de ces deux paramètres (dimensions et durée) doit être ajusté en fonction du rapport surface/volume pour une efficacité optimale du séchage (**Fig.7**) (**Vasseur, 2009**).



Figure N° 07 : Etuve de laboratoire utilisée pour le séchage

II.2.1.6. Séchage par microonde

Le processus implique le chauffage volumétrique, le transfert de chaleur et les transferts de masse. La pénétration par micro-ondes augmente les températures intérieures et extérieures, tandis que le séchage convertit l'énergie électromagnétique à haute fréquence en chaleur, favorisant une évaporation intense des liquides. Ce processus transporte l'humidité liquide à la surface du produit alimentaire. (Guo *et al.*, 2017).

II.2.2. Séchage non thermique

II.2.2.1. Par lyophilisation

C'est une méthode efficace de séchage de substances thermosensibles instables dans des solutions aqueuses (Pellicer *et al.*, 2019), principalement utilisée pour les produits séchés de haute qualité par sublimation sous vide (Wu *et al.*, 2019).

La lyophilisation est un processus de déshydratation d'un produit à une température basse pour préserver ses composants essentiels (Amrani et Laglaoui, 2007), combinant l'air froid et sec pour produire de l'eau solide sublime, préservant ainsi son volume et son apparence (Fig.8) (Coulibaly *et al.*, 2011).



Figure N° 08: Lyophilisateur Pilote LPCCPLS15 et Lyophilisateur de Production (Cryotec, 2015).

II.2.2.2. Séchage osmotique

C'est une méthode utilisée pour déplacer partiellement l'eau des tissus végétaux en les immergeant dans une solution hypertonique de sucre et/ou saline. Cela permet de réduire la teneur en eau des aliments avant le processus de séchage réel (Akbarian *et al.*, 2014). Cette technique facilite le traitement de fruits et légumes tels que la banane, la figue, l'ananas, les raisins et les carottes (Chavan *et al.*, 2012).

II.3. Introduction sur tomate séchée

Le séchage des tomates est une méthode traditionnelle mentionnée par (Vodouhe *et al.*,2014), réalisée par des femmes rurales qui exposent directement les tomates au soleil. Les tomates ainsi séchées sont utilisées dans la préparation d'autres plats, offrant ainsi une double valorisation du produit et réduisant les pertes post-récolte(Fig.9).



Figure N° 09 : Séchage de la tomate (Photo Original).

II.3.1. Les avantages et les inconvénients de séchage

Tableau IV : Les avantages et les inconvénients de séchage (Lahbari, 2015).

Catégorie	Aspect	Description
Avantages	Préservation	Transformation des aliments périssables en produits stabilisés en réduisant l'activité de l'eau.
	Désactivation des enzymes	Désactivation des enzymes responsables de la dégradation.
	Inhibition microbienne	Réduction de l'activité de l'eau inhibant la croissance des micro-organismes.
	Usage commercial	Limitation des pertes de récoltes.
	Réduction des coûts	Diminution des coûts de transport grâce à la réduction de la masse
Inconvénients	Concentration des substances	Concentration accrue des substances sèches rendant l'assimilation microbienne impossible.
	Coûts de transport et stockage	Impact sur les coûts de transport et stockage.
	Modification de l'humidité	Modification de la répartition de l'humidité.
	Réaction de Maillard	Perte de vitamines, arômes, et modification de la couleur et texture en cas de surchauffe

Chapitre III
Les radicaux libres

III. Généralité sur les radicaux libres

Sont des petites molécules diffusibles et hautement réactifs en raison de la présence d'un électron non apparié. Initialement identifiés comme des radicaux centrés sur l'oxygène, appelés espèces réactives de l'oxygène (ROS), ils incluent également un sous-groupe d'espèces réactives de l'azote (RNS) et sont tous issus du métabolisme cellulaire normal (Ifeanyi, 2018).

Les radicaux libres sont des produits chimiques instables qui réagissent spontanément avec d'autres atomes ou molécules, (Fig10) générant de nouveaux radicaux et initiant des réactions en chaîne dans les environnements biologiques, tels que la peroxydation des lipides. (Durand et al. (2013).

Ils jouent un double rôle dans les systèmes vivants : ils sont des sous-produits Toxines intermédiaire métaboliques du métabolisme aérobie qui peuvent provoquer des dommages oxydatifs et dysfonctionnement des tissus (Di Meo et al, 2020).

Le stress oxydatif peut être défini comme étant des pro-oxydants et Système de défense antioxydant, pouvant avoir des effets nocifs sur les cellules Tissus corporels (Van der Pol, 2019).

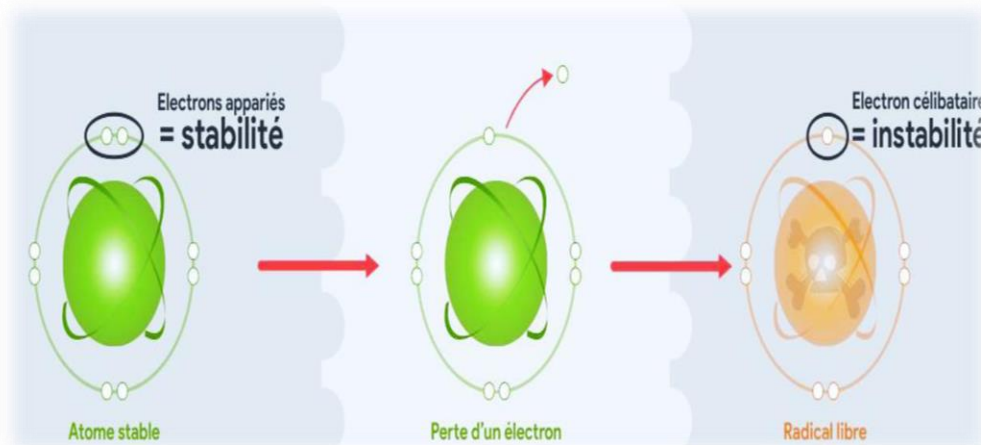


Figure N° 10 : Passage de l'état stable au radical libre et sa stabilisation de nouveau (Penser santé, 2019).

III.1.Nature des radicaux libres

III.1.1.Les espèces réactives de l'oxygène (ERO)

L'oxygène (O₂) est un élément essentiel aux processus vitaux aérobies. Cependant, environ 5 % ou plus de l'oxygène inspiré est converti en espèces réactives de l'oxygène (ROS). Les ROS sont un groupe de composés dérivés de la réduction incomplète de l'oxygène moléculaire (**P.I. Merksamer et al 2013**).

Les ROS sont d'importants médiateurs de signalisation dans divers processus biologiques et sont produites en réponse à divers stimuli, notamment des facteurs de croissance, des cytokines et des chimiokine (**Y.Zhou et al 2013**).

Il ya deux types des espèces réactives et ils sont résumé dans le tableau suivant **Tableau V** :

Tableau V: Différents types des espèces réactives (**Ghosh et Shcherbik,2020**).

Espèces radicalaires		Espèces non radicalaires	
Anion superoxyde	O ₂ ⁻	Acide hypochloreux	HClO
Hydroxyle	OH ⁻	Oxygène singulet	1O ₂
L'oxyde nitrique	NO ⁻	Peroxyde d'hydrogène	H ₂ O ₂
Hydroperoxyde	HOO ⁻	Peroxyde organique	ROOH
		Peroxynitrite	ONOO ⁻

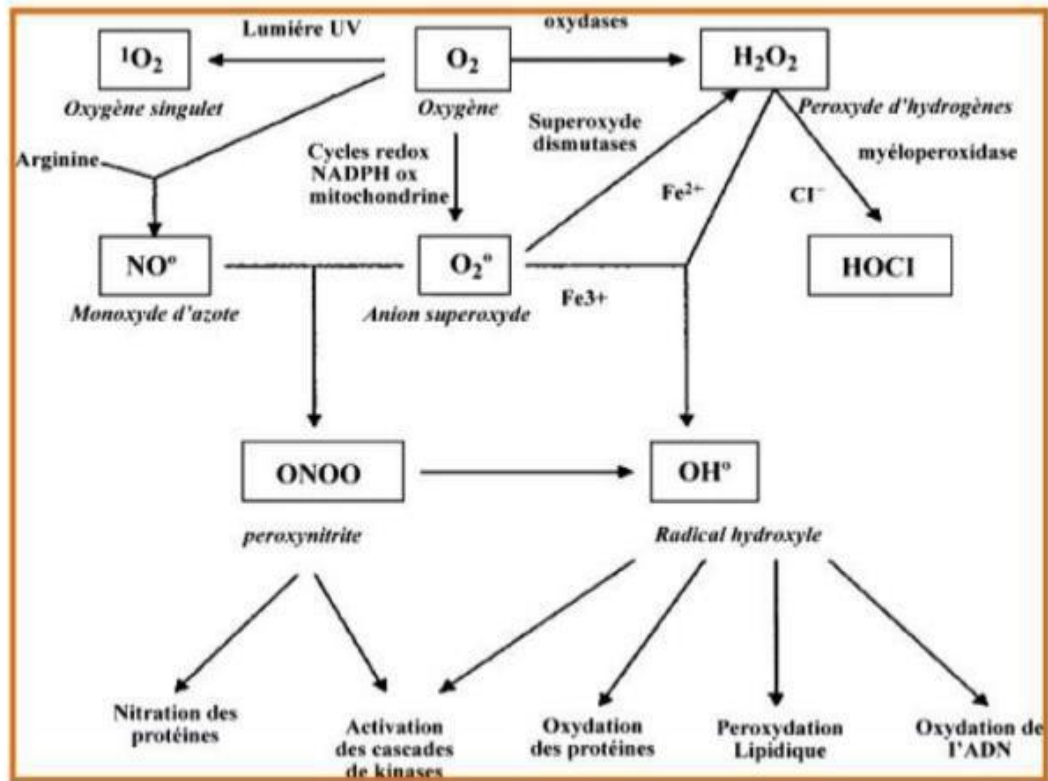


Figure N° 11 : Les différents radicaux libres et leurs effets sur l'organisme (Favier, 2003).

III.1.2. Espèces réactives de l'azote (RNS)

Les espèces réactives dérivées de l'oxyde nitrique ou monoxyde d'azote ($\bullet\text{NO}$) ont été identifiées comme un sous-groupe particulier d'oxydants (Clémentine Poisson, 2013). Le monoxyde d'azote, NO, est synthétisé au niveau cellulaire à partir d'arginine et d'oxygène, sous l'action catalytique d'une famille d'enzymes appelées NO synthases (NOS). Trois types de NOS sont connus : la NOS neuronale, la NOS endothéliale et la NOS inducible, présente dans divers tissus et organes. Les deux premières sont constitutives et leur activité est régulée par la concentration de calcium intracellulaire. Le NO peut être transformé en ion nitrosium (NO^+), en anion nitroxy1 (NO^-) ou en peroxyde d'azote (ONOO^-) (Dieffal.2013).

III.3. Les antioxydants

III.3.1. Définition

Sont des composés qui agissent en inhibant, réduisant, retardant ou éliminant l'effet des radicaux libres et des agents oxydants, offrant ainsi une protection contre les dommages causés par l'oxydation (Ali *et al.*, 2020). Ces substances sont utilisées pour prévenir le vieillissement et de nombreuses maladies Maladies cardiovasculaires et neuro dégénératives, inflammations, dues à une surproduction radicaux libres. Ils sont également utilisés dans les aliments pour prévenir le rancissement ou une décoloration, généralement causée par l'oxydation de l'oxygène de l'air, la lumière, la chaleur et éventuellement certaines enzymes (Scarim *et al.*, 2019).

Ils présentent un groupe très diversifié de substances constituées de petites molécules Liposolubles (comme la vitamine E, le bêta-carotène) ou hydrosolubles (comme la vitamine C, acide urique) et les protéines enzymatiques actives et de non-enzymes, et peuvent être endogènes ou exogéniques, naturellement ou synthétiquement composées. (Guo *et al.*, 2006)

III.3.2. Classification des antioxydants

Tableau VI : Les catégories des antioxydant (Zehiroglu *et al.*, 2019 ; Pincemail *et al.*, 2022 ; Flieger *et al.*, 2021).

Catégorie	Description	Exemples
Enzymatiques	Enzymes neutralisant les radicaux libres et les ROS	SOD, peroxyde de glutathion, catalase, glutathion réductase
Non enzymatiques	Composés et protéines inactivant les métaux de transition	Caroténoïdes, vitamines C et E, glutathion, transferrine, ferritine
Source naturelle	Substances naturelles prévenant les dégradations pathologiques	Bêta-carotène, albumine, flavonoïdes, acide ascorbique, vitamine E

III.3.3. Rôle des antioxydants

Les antioxydants sont indispensables pour notre corps, car ils neutralisent les radicaux libres présents dans notre organisme. Le vieillissement entraîne une augmentation de la production de radicaux libres et leur quantité dépasse la capacité des défenses antioxydantes de notre corps, ce qui entraîne des dommages oxydatifs. Ce phénomène est connu sous le nom de stress oxydatif ou de vieillissement cellulaire. Il s'agit simplement de molécules efficaces qui convertissent les radicaux libres en produits sans danger et diminuent ainsi leurs conséquences néfastes sur notre corps. Il est essentiel de maintenir une consommation régulière d'antioxydants pour réduire le stress oxydatif dans l'organisme. (Gutowski et al, 2013).

III.3.4. Les antioxydants de la tomate

III.3.4.1. Les polyphénols

Tous les végétaux possèdent des composés phénoliques. Ces derniers regroupent une large gamme de substances, des formes les plus simples: aux plus complexes (lignines et tanins) (Navez et al., 2009).

Les polyphénols sont des substances produites par les plantes dans le cadre de leur métabolisme secondaire, en complément des métabolites primaires tels que les glucides, lipides, protéines et acides nucléiques. Ces composés se caractérisent par la présence d'au moins un noyau aromatique à six carbones comportant un ou plusieurs groupes hydroxyles (OH) (Fig.13) (Macheix et al., 2006) .

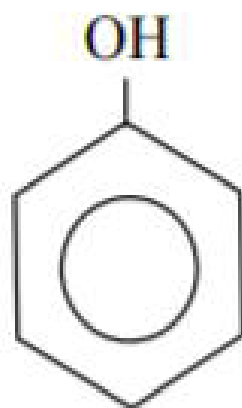


Figure N° 13 : Structure du groupement phénol (Hecini et Achour, 2008).

III.3.4.2 Classification des composés phénoliques

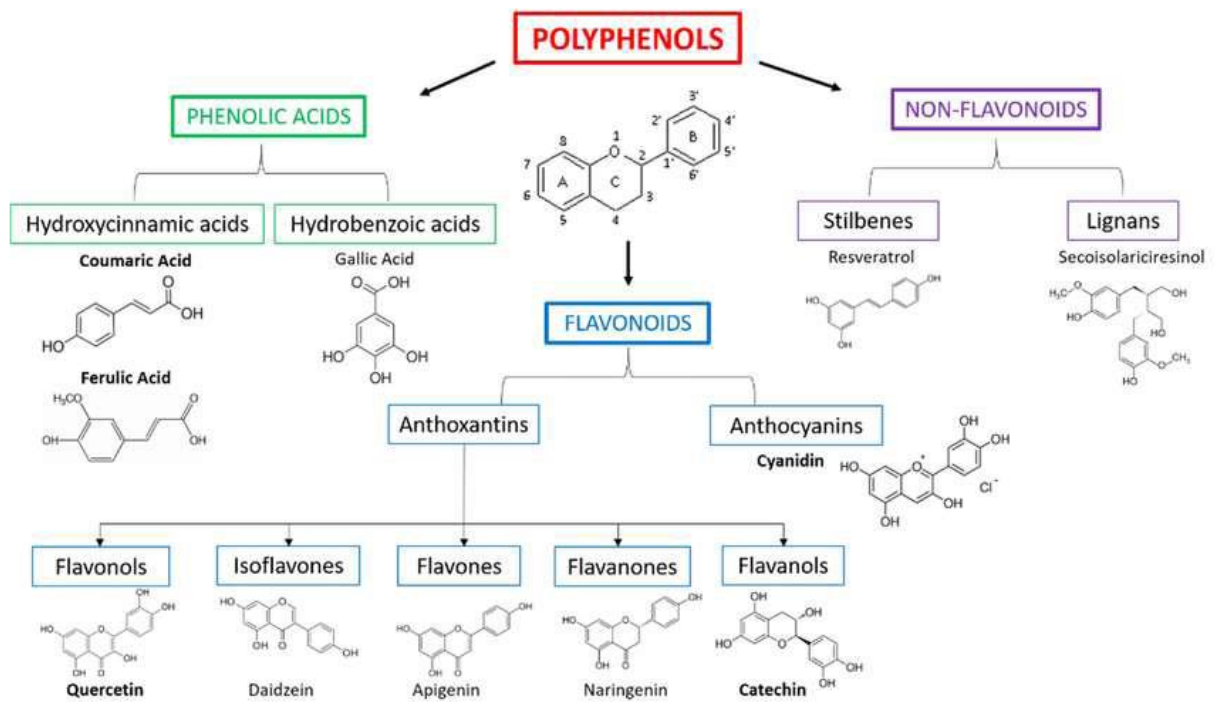


Figure N° 14 : La classification détaillée des polyphénols (Beconcini *et al.*, 2020).

Les composés phénoliques sont regroupés en de nombreuses classes :

- **Caroténoïdes**

Sont des pigments naturels de coloration fabriqués par les végétaux, se classent comme les seconds pigments naturels les plus répandus sur notre planète, juste après la chlorophylle (Nisar *et al.*, 2015). Ils sont responsables des couleurs lumineuses les fruits, les racines et les légumes (jaune, orange et rouge) (Murador *et al.*, 2014).

- **Lycopène**

Le lycopène, qui constitue plus de 95% des caroténoïdes présents dans la tomate, est le pigment principal responsable de sa couleur rouge-foncé distinctive lorsqu'elle est mûre. Ce composé a récemment attiré beaucoup d'intérêt en raison de ses effets bénéfiques sur la prévention de diverses maladies (Kisselmina, 2011).

La biodisponibilité du lycopène peut être améliorée par la transformation des produits alimentaires, qui entraîne la dégradation des parois cellulaires. Ce processus affaiblit les liaisons entre le lycopène et la matrice tissulaire, favorisant ainsi son absorption. De plus, la

forme isomérique du lycopène peut passer des trans-isomères aux cis-isomères sous l'effet de la chaleur, ce qui augmente sa biodisponibilité (Bouzaata, 2015).

- **Betacarotène (provitamine A) :**

L'apport alimentaire est la source de β -carotène. Il possède de multiples capacités qui lui sont conférées, ses propriétés protectrices protègent les structures cellulaires des dommages oxydatifs (KH Kanoun , 2011).

À de faibles niveaux de pression partielle d'O₂, le β -carotène a la capacité d'empêcher la peroxydation lipidique. Cependant, il est important de noter que le β -carotène peut subir une oxydation similaire à celle d'un acide gras, ce qui peut entraîner un effet pro-oxydant (Fig.15) (Flora *et al.*, 2008).

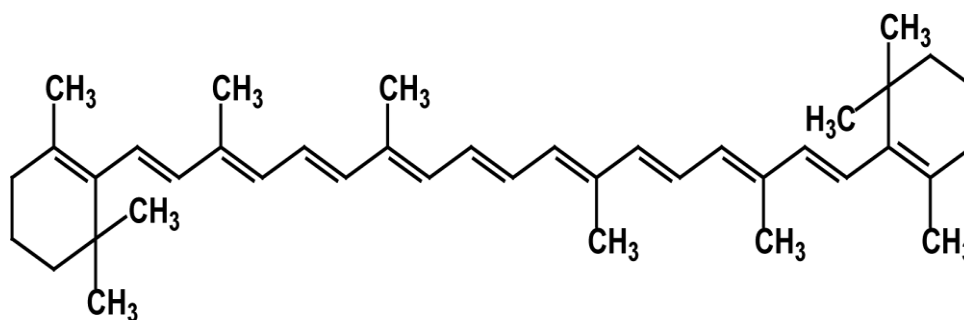


Figure N° 15: La structure de beta carotène (Lekhouimess, 2022).

- **Flavonoïdes**

sont une classe de composés phénoliques apparentés aux caroténoïdes et La chlorophylle donne de la couleur à de nombreux types de fleurs et de fruits. Les flavonoïdes se trouvent uniquement dans les plantes, principalement sous les formes suivantes : Glycosides (El Gharras, 2009). Dans lesquels un ou plusieurs groupes hydroxyle du phénol sont Combiné avec des sucres réducteurs. Les flavonoïdes sont également associés à un large éventail d'Une gamme d'effets biologiques sur la santé (Pyrzynska et Biesaga, 2009).

Elles sont des composés phénoliques de structure générale C₆-C₃-C₆. Ainsi, les flavonoïdes existent sous Différentes classes en fonction de l'oxydation et du degré d'insaturation Boucle C. Les principales catégories sont : les flavonols, les flavones, les isoflavones, les flavanones, Monomères, oligomères et anthocyanes.

Voici une **Tableau VII** qui résume les antioxydants de la tomate :

Tableau VII : Les antioxydants de la tomate (journal *Antioxydants* en 2023).

Antioxydant	Rôle
Lycopène	Réduit le risque de maladies chroniques, protège contre le stress oxydatif, et peut réduire le risque de certains types de cancer.
Vitamine C	Renforce le système immunitaire, améliore la santé de la peau, et réduit le stress oxydatif.
Bêta-Carotène	Soutient la santé visuelle, renforce le système immunitaire, et protège contre les dommages oxydatifs.
Vitamine E	Protège les membranes cellulaires des dommages oxydatifs et soutient la fonction immunitaire.
Composés phénoliques	Réduit l'inflammation, protège contre le stress oxydatif, et peut réduire le risque de maladies chroniques.

Matériel & Méthodes

Notre travail a été réalisé au sein du laboratoire de Biochimie , Département de Agronomie, Faculté SNV-ST (Université de Bouira).

VI. Matériel végétale

Le matériel végétale exploité durant notre étude correspond au:

- Poudre de tomate commerciale (PC)
- Poudre de tomate préparée au laboratoire (PPL)

VI.1. Collecte des échantillons

Cette poudre provient d'une variété industrielle cultivée dans la wilaya de Sétif, spécifiquement dans le village d'Ait Wertilan, situé dans la région de "Lemroudj". Cet échantillon a été séché à 70°C pendant 22 heures (**Fig. 16**).

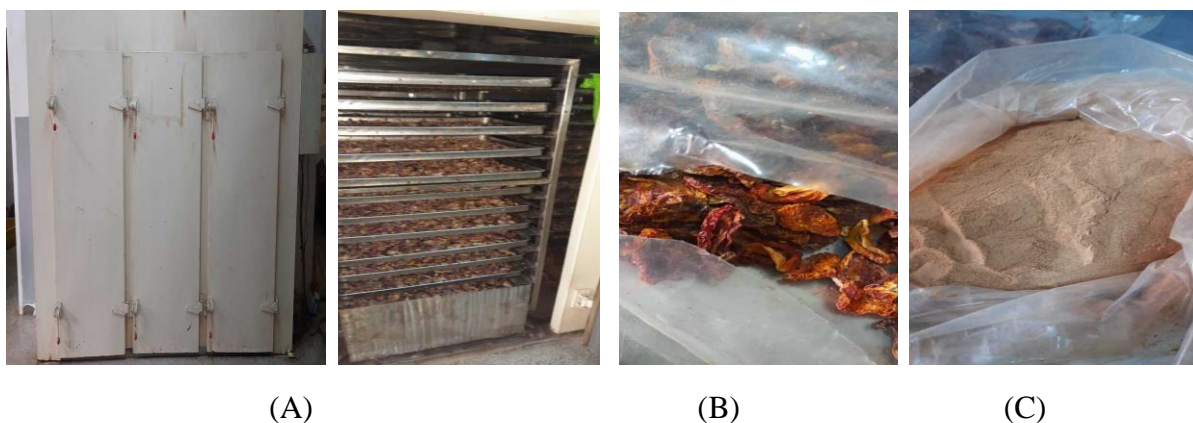


Figure N° 16 : (A): l'étuve industrielle (B): tomate séchée (c):tomate en poudre

➤ Poudre de tomate préparée au laboratoire(PPL)

IV.2. Préparation de la poudre

Cette poudre a été préparée de manière à l'échelle laboratoire. Deux kilogrammes de tomates ont été coupés en fines rondelles, puis séchés au soleil pendant deux jours, avant d'être placés à l'étuve à 40°C pendant 5 jours supplémentaires. Enfin, l'échantillon a été broyé à l'aide d'un broyeur électrique et conservé au réfrigérateur en attendant l'étape d'extraction (**Fig. 17**).

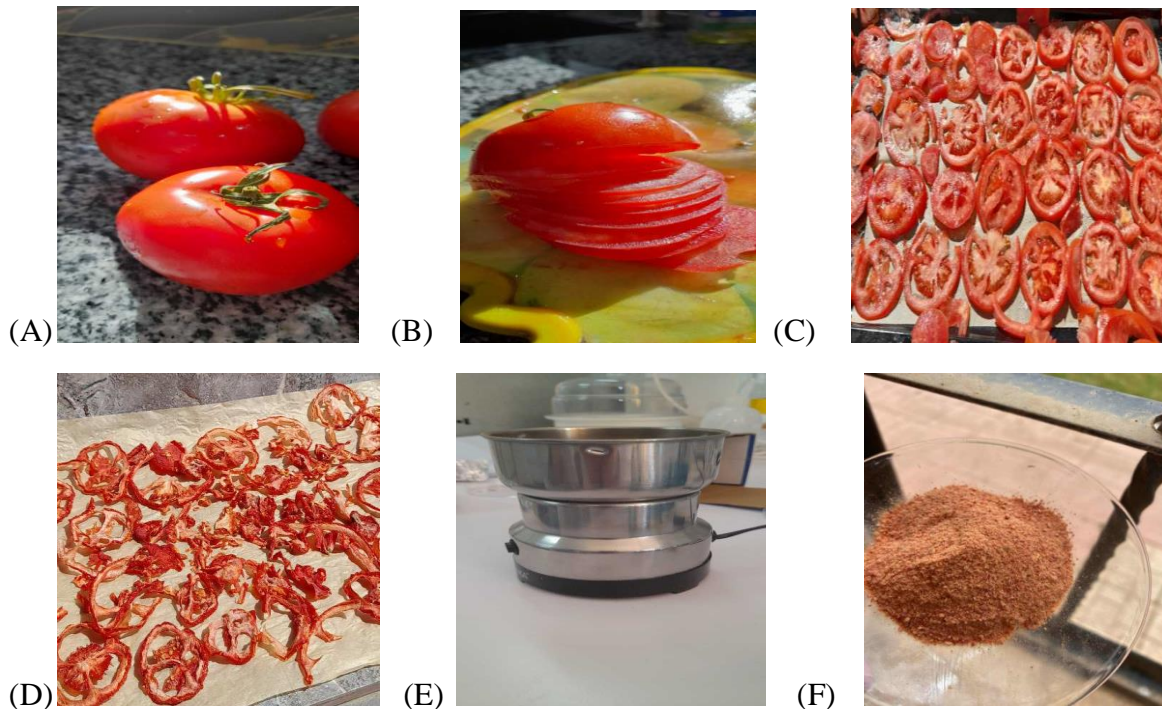


Figure N° 17 : (A) : La tomate (B) : Coupage (C) : Séchage (D) : Tomate séchée (E) : Broyeur (F) : Tomate en poudre

IV.3. Optimisation d'extraction des composés phénoliques antioxydante par la méthodologie de surfaces de réponses

La proportion du solvant, la durée et la force d'agitation d'extraction sont des paramètres quantitatifs très intéressants car ils influencent significativement l'extraction des composés phénoliques. Cela a été constaté lors de la phase préliminaire. La méthodologie de surface de réponse (MSR) a été utilisée pour optimiser l'extraction de ces substances bioactives à partir de deux poudres de tomate séchées : une poudre obtenue à l'échelle industrielle (PC) et une poudre préparée au laboratoire (PPL). Cette approche permet d'examiner l'impact de chaque paramètre et d'étudier les interactions entre ces facteurs, en déterminant s'ils ont un effet significatif ou non.

La méthodologie de surface de réponse est une méthode utilisée pour évaluer les variations de la réponse. Dans notre cas, nous examinons le rendement des polyphénols totaux en fonction des facteurs d'influence importants, en utilisant une analyse statistique et des méthodes mathématiques. Les trois étapes de la méthodologie de surface de réponse sont les suivantes :

1. Élaborer le plan expérimental ;

2. Représenter la réponse ;
3. Réaliser des représentations graphiques.

Dans le cadre d'une étude de MSR, les plans utilisés sont des plans quadratiques, comme les plans de Box-Behnken. La réponse est modélisée en utilisant des méthodes de régression qui permettent de relier une réponse « y » à un ensemble de facteurs « xi », c'est-à-dire $y = f(x_1, x_2, x_3)$.

Selon le modèle de Box-Behnken, l'extraction optimale des antioxydants de la poudre de tomate commerciale par la MSR repose sur la maximisation de l'extraction des composés phénoliques. Dans cette section, nous examinons trois paramètres : la concentration du solvant (éthanol/eau à 50-90%, v/v), la durée (2-8 min) et la force d'agitation (2-10) lors de l'extraction.

IV.3.1. Construction du plan expérimental

Les deux tableaux regroupent les niveaux des facteurs, les valeurs mesurées et prédictives des teneurs en composés phénoliques, voir annexe. Selon les résultats, la concentration en composés phénoliques varie de 35 mg EAG/g à 497 mg EAG/g pour la PC, tandis que pour la (PPL), elle varie de 21 mg EAG/g à 100 mg. D'après les données, il est clair que les valeurs expérimentales et les valeurs prédites sont très similaires. En **Annexe 02**, on peut voir le graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues.

Tableau VIII: Matrice de plan pour poudre préparé au laboratoire (PPL).

	Configuration	proportion	force agitatrice	X3durée extraction	Y	Prévue Y	Désirabilité 2
1	-0+	50	5	10	21,06544145	21,06544145	21,06544145
2	+0+	90	5	10	47,96349187	53,317921688	47,96349187
3	++0	90	8	6	100,276791...	111,21955213	100,27679126
4	000	70	5	6	24,47423321	22,193468273	24,47423321
5	000	70	5	6	23,03861915	22,193468273	23,03861915
6	0+-	70	8	2	71,71240531	71,71240531	71,71240531
7	--0	50	8	6	50,55470011	54,909129928	50,55470011
8	000	70	5	6	10,06755246	22,193468273	10,06755246
9	--0	50	2	6	53,075	63,132310938	53,075
10	-0-	50	5	2	16,06544145	10,711011632	16,06544145
11	0++	70	8	10	83,07934931	77,724919492	83,07934931
12	0+-	70	2	10	45,1577052	66,232074173	45,1577052
13	0--	70	2	2	45,28001987	45,634449688	45,28001987
14	+--0	90	2	6	63.78	65,425570182	63.78
15	+0-	90	5	2	37,06221284	37,06221284	37,06221284

Tableau IX : Matrice de plan d’expérience pour une poudre de la commerciale PC.

	Configuration	proportion ethanol	force agitatrice	durée extraction	polyphenols totaux	Prévue polyphenols...
1	0--	70	2	10	280.193	280,19373398
2	--0	50	8	6	35.3110	35,31102835
3	++0	90	2	6	55.9452	56,460617
4	000	70	5	6	379,7516453	360,41831197
5	--0	50	2	6	129.97	129,94143968
6	-0-	50	5	2	256.48	238,36270568
7	0+-	70	8	2	284.75	278,30791133
8	000	70	5	6	321,7516453	360,41831197
9	0--	70	2	2	186.54	134,4675
10	-0+	50	5	10	359,7516453	283,1197623
11	++0	90	8	6	387,7516453	387,56185098
12	000	70	5	6	359.01	360,41831197
13	+0-	90	5	2	225,7516453	302,3835283
14	0++	70	8	10	371.9910	372,8241453
15	+0+	90	5	10	479,7516453	497,86893963

IV.3.2. Analyse de la significativité du Modèle global

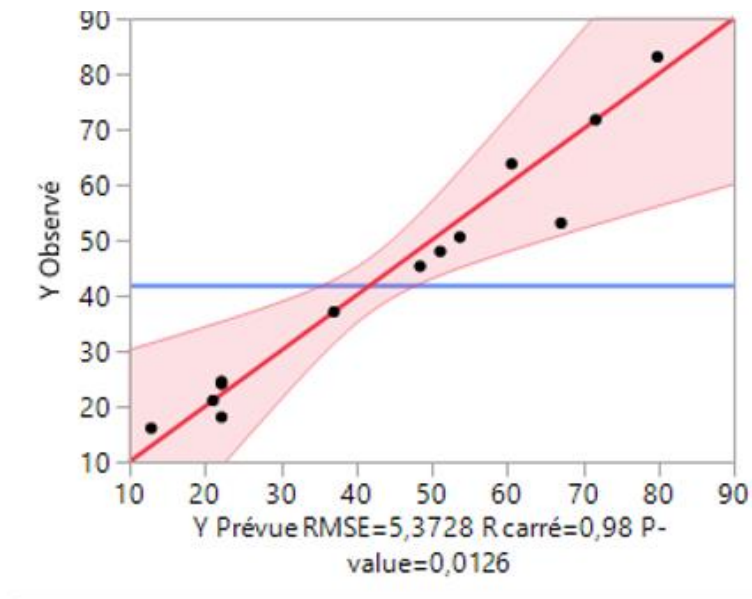


Figure N° 18: Poudre préparé au laboratoire (PPL).

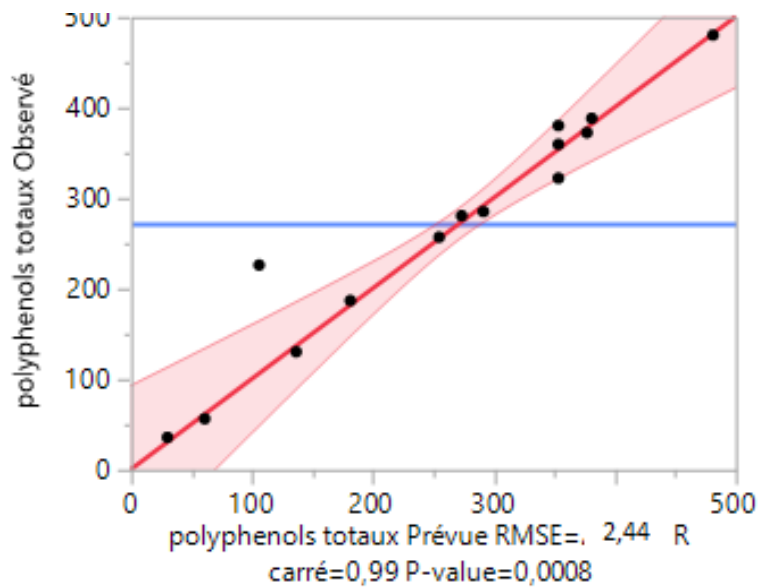


Figure N° 19: Graphique des valeurs observées en fonction des valeurs prévues (PC).

Le graphique des valeurs observées par rapport aux valeurs prévues montre que les valeurs des modèles correspondent bien aux réponses mesurées ; toutes les valeurs des composés phénoliques se situent dans l'intervalle de confiance bien défini sur le graphique.

La faible valeur de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) soutient également cette affirmation.

La qualité du modèle est évaluée par le coefficient de détermination (R^2). Lorsque cette valeur est proche de 1, le modèle montre un fort potentiel explicatif, ce qui est une considération importante pour valider le modèle de régression.

Pour la poudre commerciale (PC), R^2 est de 0,99 et pour la poudre préparée au laboratoire (PPL), R^2 est de 0,98.

IV.3.3. Analyse Anova du de model pour PPL et PC

Les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) pour les deux poudres de tomate séchées, PPL et PC, sont présentés ci-dessous :

Tableau X : Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) pour les modèles De régression des composés phénoliques dans les poudres de Tomate séchées (PPL et PC)

Source PPL	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport F
Modèle	8	216842,64	27105,3	53,7959
Résidus	4	2015,42	503,9	Prob > F
Total corrigé	12	218858,06		0.0008
Source (PC)	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport F
Modèle	8	215942,64	27105,3	252,87
Résidus	4	2014	107.22	Prob > F
Total corrigé	12	218858,06		0.0002

Selon l'étude de la régression des deux modèles (composés phénoliques PPL et PC), il est observé que les carrés moyens des modèles sont plus élevés que ceux des résidus.

De plus, selon les rapports de Fisher, les valeurs pour le modèle des composés phénoliques PLP sont de 53,7359, ce qui correspond à une probabilité de 0.0008. Ces résultats montrent que

les modèles de régression utilisés pour la matrice PPL présentent des niveaux de significativité élevés par rapport à la réponse expérimentale des composés phénoliques.

De plus, le coefficient de Fisher révèle une valeur de 252,87 pour le modèle des composés phénoliques de la Poudre Commerciale (PC), avec une probabilité de 0.0002. Ce résultat démontre que ce modèle de régression présente une grande signification par rapport à la réponse obtenue lors de l'expérience.

En conclusion, nous constatons que les deux modèles étudiés (PPL et PC) présentent des niveaux de signification élevés en ce qui concerne la réponse expérimentale des composés phénoliques.

IV.3.4. Détermination et validation expérimentales des conditions optimales

Les conditions nécessaires pour optimiser et maximiser l'extraction des composés phénoliques à partir des deux types de poudre de tomate séchée, à savoir (PPL et PC), ont été déterminées en utilisant le module de prévision de Profileur et la fonction de désirabilité du logiciel JMP Pro 13. Les graphiques correspondants seront rapportés pour une étude ultérieure (les résultats ne sont pas exposés ici).

Les niveaux optimaux des trois paramètres étudiés, à savoir la proportion du solvant, la force agitatrice et la durée d'extraction, sont les suivants :

- **Proportion du solvant** : éthanol à 70%
- **Force agitatrice** : 4
- **Durée d'extraction** : 6 minutes

En appliquant ces conditions, il est possible de prédire une extraction d'environ 353,504 mg EAG/g de poudre.

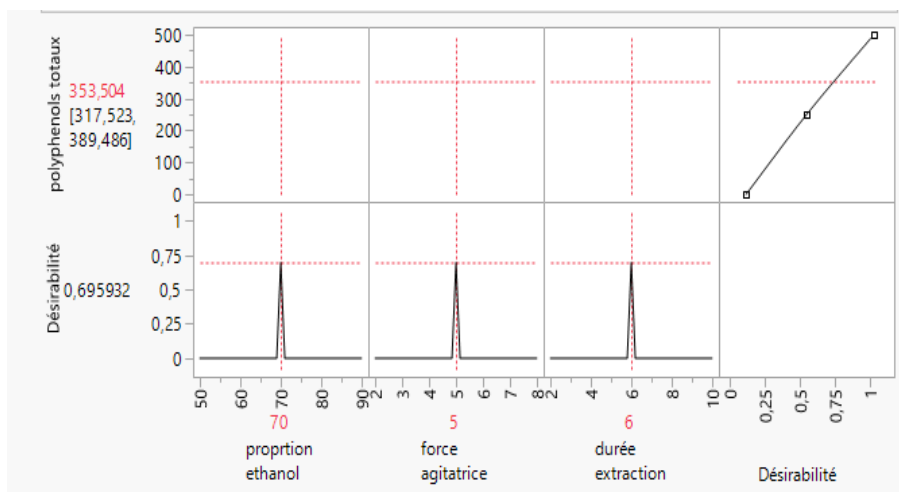


Figure N° 20 : Détermination et validation expérimentales des conditions optimale.

IV.3.5. Optimisation des Conditions pour la PPL

Les trois éléments étudiés, à savoir la proportion du solvant, la force agitatrice et la durée d'extraction, qui favorisent l'optimisation de la réponse pour la poudre de tomate préparée en laboratoire (PPL), sont les suivants :

- **Proportion du solvant** : éthanol à 66%
- **Force agitatrice** : échelle 5
- **Durée d'extraction** : 8 minutes

Pour valider les valeurs théoriques optimales, une validation expérimentale a été effectuée. Les valeurs théoriques se sont avérées très proches des résultats expérimentaux, confirmant ainsi la validité des modèles de surface de réponse utilisés pour l'extraction des composés phénoliques des poudres de tomate.

IV.4. Analyses des paramètres physico-chimiques

IV.4.1. Le taux d'humidité

- **Principe**

La méthode pour déterminer le taux d'humidité consiste à soumettre les échantillons à un chauffage dans une étuve ventilée à une température de 103°C. La diminution du poids est suivie par pesée jusqu'à stabilisation (CÉLINO, 2014). Le taux d'humidité est ensuite calculé en utilisant la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité en pourcentage} = \frac{\text{Pavant} - \text{Paprés}}{\text{Pavant}} \times 100$$

- ✓ H (%) : Taux d'humidité en pourcentage.
- ✓ Pavant : Poids de l'échantillon avant mise à l'étuve en gramme.
- ✓ Paprés : Poids de l'échantillon après mise à l'étuve en gramme.

- **Mode opératoire**

Pour réaliser cette analyse, les étapes suivantes sont effectuées :

1. Les creusets vides sont pesés.
2. Ensuite, 2g de chaque échantillon sont ajoutés dans les creusets préalablement pesés vides.
3. Les échantillons sont soumis à un premier séchage dans l'étuve à 103°C pendant 4 heures.
4. Après un refroidissement de 3 heures, les creusets sont pesés dans le dessiccateur.
5. Après encore 2 heures, les creusets sont retirés de l'étuve, placés dans le dessiccateur, puis pesés.
6. Cette opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant, indiquant que le processus de séchage est complet et que le taux d'humidité est déterminé avec précision.

L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

IV.4.2. Détermination du pH (potentiel Hydrogène)

- **Principe**

Il indique si les tomates sont acides ou alcalines. Cela n'a aucune signification hygiénique, mais représente un concept très important pour déterminer l'agressivité des tomates. Elle définit également l'appartenance d'un produit à différentes catégories classées selon un $\text{pH} = 4,5$ ou $> 4,5$ (GHAZALI et ZAID, 2013).

La mesure du pH des produits à base de tomate se fait de manière électro métrique à l'aide d'un pH-mètre. Cet appareil utilise une électrode de verre qui est sensible à l'activité des ions d'hydronium H^+ .

- **Mode opératoire**

1. Peser 1g de chaque échantillon.
2. Ajouter 10mL millilitres d'eau distillée.
3. Homogénéiser soigneusement le mélange à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 10minute minutes.
4. Cette procédure permet d'obtenir une solution homogène de poudre de tomate dans l'eau distillée, prête pour la mesure du pH.



(A) : PPL



(B) : PC

Figure N° 21: pH-mètre de paillasse après la mesure de deux types de poudres de tomates.

IV.4.3. Détermination de la teneur en cendres

- **Principe:**

La teneur en cendre consiste en la destruction de la matière organique par la technique de minéralisation par voie sèche ou calcination qui consiste à brûler l'échantillon dans un four à moufle et de recueillir le résidu minéral gris blanchâtre (GODIN, 2010).

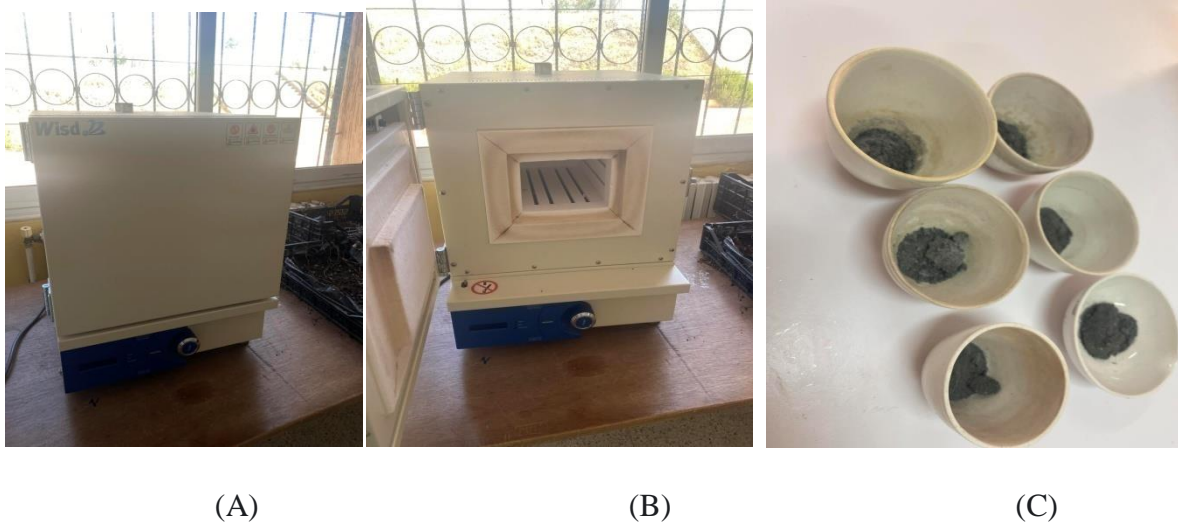


Figure N° 22 : (A) , (B) : Four a moufle , (C): Les creusets de la poudre de tomate.

- **Mode opératoire**

Afin de déterminer la teneur en cendre :

1. Peser un creuset en porcelaine vide ;
2. Peser un creuset en porcelaine vide avec 3 g de chaque échantillon.
3. Placer le creuset dans un four à moufle réglé à 550 °C pendant 5 heures, jusqu'à la destruction totale de la matière organique et l'obtention d'un résidu gris blanchâtre (la matière minérale).

La teneur en cendre est calculée par l'équation suivante :

$$\text{Teneur en cendre (\%)} = \frac{M1 - M2}{M0} \times 100$$

- ✓ MO : Masse de la prise d'essai (g).
- ✓ M1: Masse du creuset après incinération (g)
- ✓ M2: Masse du creuset vide (g).

Selon la méthode de journal officiel algérien (JORA) 02 octobre 2013 N°49

IV.4.4. L'acidité titrable

- **Principe**

L'acidité de l'échantillon, qui comprend les acides organiques et minéraux libres tels que l'acide malique, citrique, et oxalique, est déterminée par un titrage à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 N (FOSCHINI,1949) .

$$\text{Acidité titrable} = \frac{C \text{ NaOH} \times V \text{ NaOH} \times 0,064}{\text{Prise d'essai}} \times 100$$

- ✓ Acidité titrable : exprimée en g d'acide citrique par 100 g MS.
- ✓ C NaOH : concentration de la solution de soude (0,01 mol/l).
- ✓ V NaOH : volume (ml) de soude ajouté pour atteindre le pH de 8,1.
- ✓ Prise d'essai : poids de l'échantillon utilisé
- ✓ 0,064 : facteur conventionnel établi pour l'acide citrique

- **Mode opératoire**

1. On pèse 1.5 de la poudre de tomate dans un bécher.
2. On ajoute une quantité de 50 ml d'eau avec un barreau magnétique, puis on lance l'agitation.
3. Pendant quelque minute, on vu que le mélange soit homogène. .
4. On filtre le mélange
5. On met le pH mètre dans le mélange, et on démarre le titrage avec le NaOH jusqu'au point de pH=8.1.

On lit le volume de chute V, puis on calcule l'acidité

IV.5. Dosage des antioxydant

IV.5.1. Dosage des polyphénols totaux

- **principe**

Le but du test est de déterminer la quantité d'une substance contenue dans un échantillon. Dans ce cas, le dosage des polyphénols totaux a été réalisé à l'aide du réactif colorimétrique **Folin-Ciocalteu** selon la méthode décrite par (Velioglu et al., 1998).

La méthode de détermination de la teneur en polyphénols implique l'utilisation d'un spectrophotomètre et du réactif Folin-Ciocalteu. Lorsque les polyphénols sont oxydés, le réactif Folin-Ciocalteu forme un complexe bleu composé d'oxyde de tungstène et de molybdène. La profondeur de la couleur de ce complexe est directement proportionnelle à la teneur en composés phénoliques oxydés dans l'échantillon.

- **Mode opératoire**

Un volume de 200 μ l d'extrait dilué (facteur de dilution pour l'échantillon commerciale est 1/50 par contre l'échantillon préparé au laboratoire est 1/10) est additionné de 750 μ l du réactif de Folin-Ciocalteu, après 5 min, 400 μ l de carbonate de sodium sont ajoutées. Le mélange réactionnel est laissé à l'obscurité durant 90 min à température ambiante. L'absorbance de la coloration bleue développée est mesurée à 750 nm. Le blanc contient 250 de solvant d'éthanol 90% ,750 de folin après 5 minutes à l'obscurité 400 de NaCO₃.

La teneur en polyphénols est déterminée en référence à une courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique (0,02 à 0,1 mg/ml) (annexe 3, figure 26). Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide gallique (EAG) par 100 g MS.

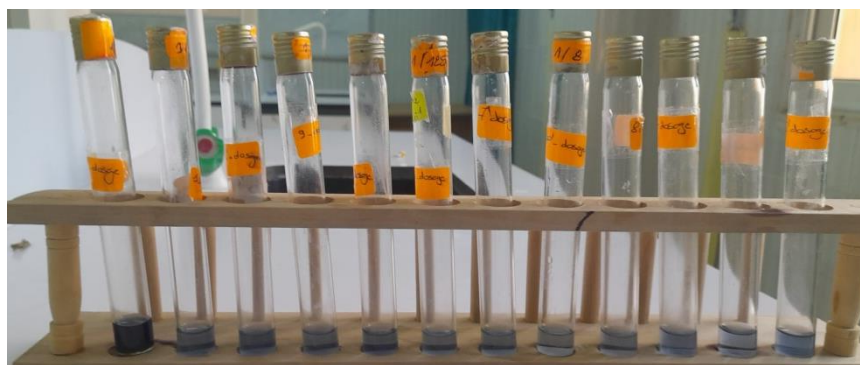


Figure N° 23: Le dosage des polyphénols totaux.

IV.5.2. Dosage des flavonoïdes

Les flavonoïdes peuvent être quantifiés en exploitant l'une de leurs propriétés structurales caractéristiques : la chélation des cations métalliques. Dans un milieu contenant des ions Al^{3+} , les flavonoïdes interagissent avec ces cations en raison de leurs groupements hydroxyles, ce qui entraîne la formation d'une coloration jaune. L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présents dans l'extrait.

La teneur en flavonoïdes est déterminée selon la méthode de **(Djieridane et al. (2006))**, qui consiste à mélanger deux volumes égaux d'extrait et de chlorure d'aluminium à 2%. Le mélange est laissé pendant 15 minutes à l'obscurité à température ambiante. Après incubation, l'absorbance est mesurée à 430 nm. La concentration en flavonoïdes est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage réalisée avec une solution de quercétine comme standard (**Fig.27**). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent quercétine (EQ) par 100 grammes de matière sèche (MS).



Figure N° 24: Le dosage des flavonoïdes.

IV.6. Détermination des activités antioxydantes

IV.6.1. Activité anti-radical DPPH°

L'activité anti-radicalaire des extraits éthanolique des deux produits de la tomate séchée a été déterminée en utilisant le radical libre 2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH°). En effet les composés anti-radicaux piègent le DPPH° en donnant un atome d'hydrogène, ce qui entraîne une décoloration qui peut être suivie par spectrophotométrie à 517 nm (Porpovic *et al.*, 2009). Le protocole décrit par Brand-Williams *et al.*, (1995) a été suivi.

Un volume de 100 µl de l'extrait éthanolique a été mélangé avec 1 ml de la solution éthanolique de DPPH° (60 µM). Après 30 minutes d'incubation à température ambiante, l'absorbance a été déterminée à 517 nm. Les résultats sont exprimés en pourcentage de réduction du radical DPPH° par rapport à un échantillon de contrôle ne contenant que le solvant d'extraction, en suivant la formule suivante :

$$\text{Inhibition de DPPH \%} = \frac{\text{AC} - \text{AE}}{\text{AC}} \times 100$$

AC: Absorbance en l'absence de l'inhibiteur (contrôle négatif)

AE : absorbance de la solution contenant l'échantillon.

Selon Le protocole décrit par Brand- Williams *et al.* (1995)

IV.6.2. Pouvoir réducteur de fer

Le pouvoir réducteur du fer des extraits de poudre de tomate est évalué en utilisant la méthode d'Oyaizu (1986), cette méthode consiste à former un complexe coloré de ferrocyanure de fer lorsque l'extrait réduit le fer du ferrocyanure, sous l'influence de la température et après l'ajout de chlorure ferrique. La mesure de l'absorbance de ce complexe coloré permet de déterminer le pouvoir réducteur du fer des extraits.

L'extrait (250 µL) est mélangé avec 250 µL de tampon phosphate (0,2 M, pH = 6,6) et 250 µL de ferrocyanure de potassium (1%). Après 20 min d'incubation à 50°C, 250 µL d'acide trichloracétique (10%) et 1 mL d'eau distillée sont ajoutés au mélange. Un volume de 250 µL de chlorure ferrique (0,1%) est additionné au mélange après 10 min d'incubation à température ambiante, puis l'absorbance est mesurée à 700 nm. On établit une courbe d'étalonnage en se servant de l'acide ascorbique. Le pouvoir réducteur du fer est quantifié en grammes équivalents d'acide ascorbique pour 100 grammes de matière sèche (gEAA/100 g).

IV.6.3. Détermination de l'Activité antiradicalaire contre le radical ABTS+

Dans cette procédure, l'ABTS (2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonate)) est dissous dans une solution aqueuse contenant du persulfate de potassium pour créer un radical. Ce radical, stable et coloré, affiche une absorbance maximale de $0,7 \pm 0,02$ à 734 nm.

Une fois que le radical ABTS+ est généré, l'antioxydant pur ou l'échantillon est introduit, et la diminution de l'intensité de la couleur bleu-vert du radical cationique témoigne de son interaction avec un électron ou un hydrogène provenant de l'échantillon antioxydant (**Arts et al., 2004**). L'évaluation de l'activité antioxydante contre le radical ABTS+ est réalisée en suivant le protocole de **RE et al., (1999)**. Une solution contenant 7 mM d'ABTS et 2,45 mM de persulfate de potassium est préparée dans une fiole jaugée et complétée jusqu'à 25 ml avec de l'eau distillée. Cette solution est ensuite incubée pendant au moins 12 à 16 heures à température ambiante. Le pourcentage d'inhibition du radical ABTS+ est calculé en utilisant la formule suivante :

$$(\%) \text{ d'inhibition de l'ABTS+} = \frac{AC - AE}{AC} \times 100$$

AC : Absorbance du contrôle

AE : Absorbance de l'échantillon. Selon la méthode de RE et al. (1999).



Figure N° 25 : Le dosage d'ABTS.

IV.7. L'analyse microbiologique

- **Principe**

L'efficacité antibactérienne des divers extraits a été examinée in vitro sur trois souches bactériennes à l'aide de la méthode de diffusion sur disques. Cette méthode implique l'application de disques contenant une concentration spécifique de l'extrait sur un milieu de culture solide déjàensemencé avec les microorganismes à évaluer. Lorsqu'une activité antimicrobienne est observée, elle se traduit par une zone d'inhibition claire autour des disques (Aissani. O *et al.*, 2019).

L'étude microbiologique a suivi une méthodologie rigoureuse en plusieurs étapes. Tout d'abord, les extraits de la poudre commerciale PC et préparé au laboratoire PPL) de la tomate séchée ont été préparés avec précision en utilisant du DMSO comme solvant, puis filtrés pour obtenir des dilutions spécifiques(Fig.30).

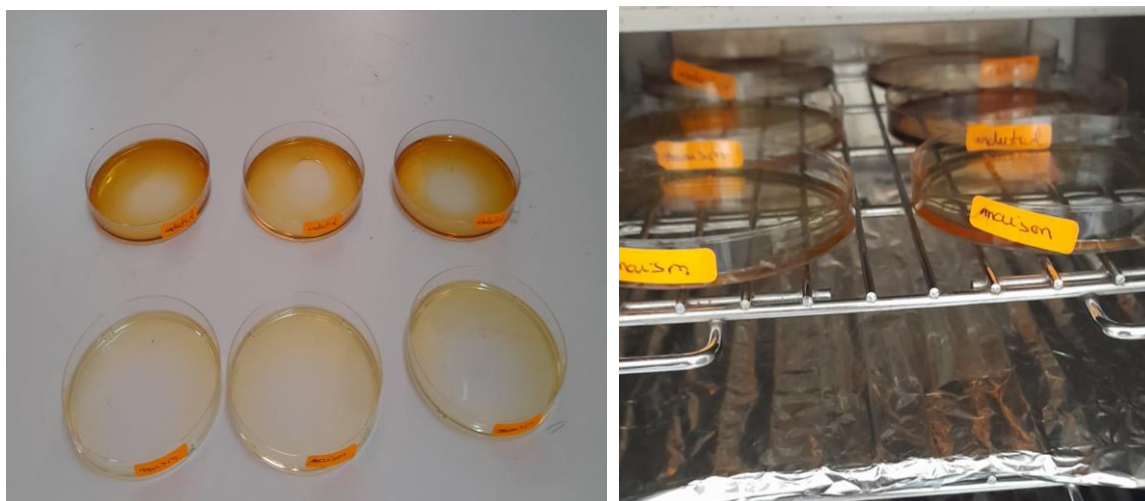


Figure N° 26 : Préparation des extraits (échantillon industriel et préparé au laboratoire)

En parallèle, la gélose nutritive a été préparée selon des normes strictes de stérilisation et versée dans des boîtes de Pétri pour solidifier. Avant toute manipulation, une zone de travail stérile a été établie en nettoyant soigneusement la paillasse et en allumant un bec Bunsen pour maintenir des conditions aseptiques. Les cultures bactériennes fraîches d'*Escherichia coli* ATCC87393 , *Klebsiella sp* et *Bacillus cereus* ATCC43300 ont ensuite été ensemencées sur les boîtes de Pétri à l'aide d'une technique stérile d'étalement. Les extraits dilués ont été appliqués sur des disques stériles et placés sur les boîtes de Pétri (Fig.31).



Figure N° 27 : Application des extraits.

Après une période d'incubation de 24 heures à 37°C, les zones d'inhibition autour des disques ont été observées, mesurées et comparées avec des contrôles négatifs et positifs pour interpréter l'activité antimicrobienne des extraits. Cette approche méthodique a permis une évaluation précise de l'efficacité antimicrobienne des extraits de tomate séchée, ouvrant ainsi la voie à de potentielles applications dans le domaine de la lutte contre les micro-organismes pathogènes.

IV.8.L'analyse statistique

Toutes les données recueillies ont été obtenues en effectuant trois essais. Les paramètres de la statistique descriptive, tels que les moyennes et les écarts types, ont été déterminés en utilisant le logiciel Excel de Microsoft Office 2010. La comparaison des moyennes a été réalisée à l'aide du test ANOVA-Tukey du logiciel STATISTICA 10.0, avec un seuil de signification de $p < 0,05$.

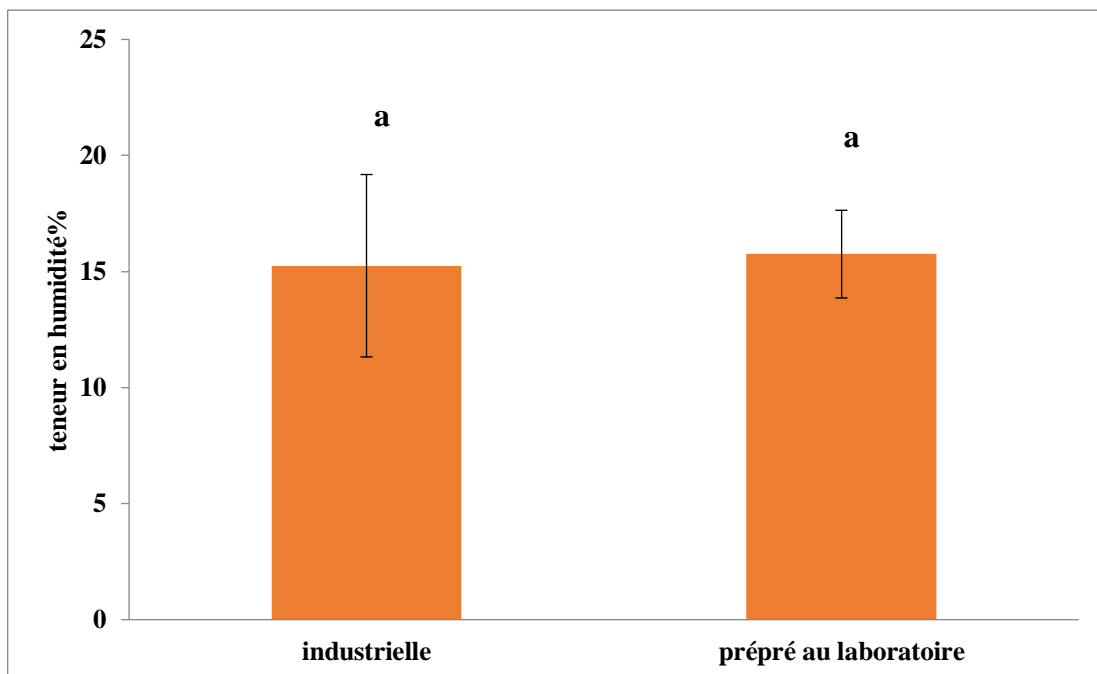
Résultats et discussions

V. Résultats et discussion

V.1. Le taux d'humidité

La détermination de l'humidité des fruits est essentielle pour prédire le rendement après séchage. En effet, le taux d'humidité influence directement les paramètres de conservation des tomates, ce qui est essentiel pour éviter des pertes économiques et nutritionnelles causées par des altérations microbiennes.

La **Figure 28** montre la teneur en humidité (%) de la poudre de tomate pour deux types de poudre : la poudre commerciale (PC) et la poudre préparée au laboratoire (PPL).



- Les barres verticales illustrent les écarts-types.
- Des lettres distinctes pour chaque état signalent des différences significatives entre les valeurs ($p < 0,05$).
- Les lettres a et b marquent des différences significatives aucune différence ($p < 0,05$).

Figure N° 30: Humidité de la poudre de tomate de deux échantillons (commerciale et préparé au laboratoire).

Les résultats indiquent que la teneur en humidité de la poudre de tomate préparée commercialement est légèrement plus élevée que celle préparée au laboratoire. Les valeurs semblent se situer entre 20 ± 3.93 et $25\% \pm 1.89$ pour les deux types de préparations, mais la poudre commerciale est légèrement plus haute, cette différence pourrait être due à des

variations dans les processus de séchage, les conditions de stockage ou les techniques de mesure utilisées entre les deux méthodes.

Le test ANOVA indique qu'il n'y a pas une différence significative entre les deux échantillons.

Selon **JAMIN et FLORET, (2020)** La teneur en humidité est un critère important pour la qualité de la poudre de tomate, cette différence pourrait influencer le choix de la méthode de préparation. Une teneur en humidité plus élevée peut affecter la conservation, la texture, et la réactivité de la poudre de tomate dans des applications ultérieures.

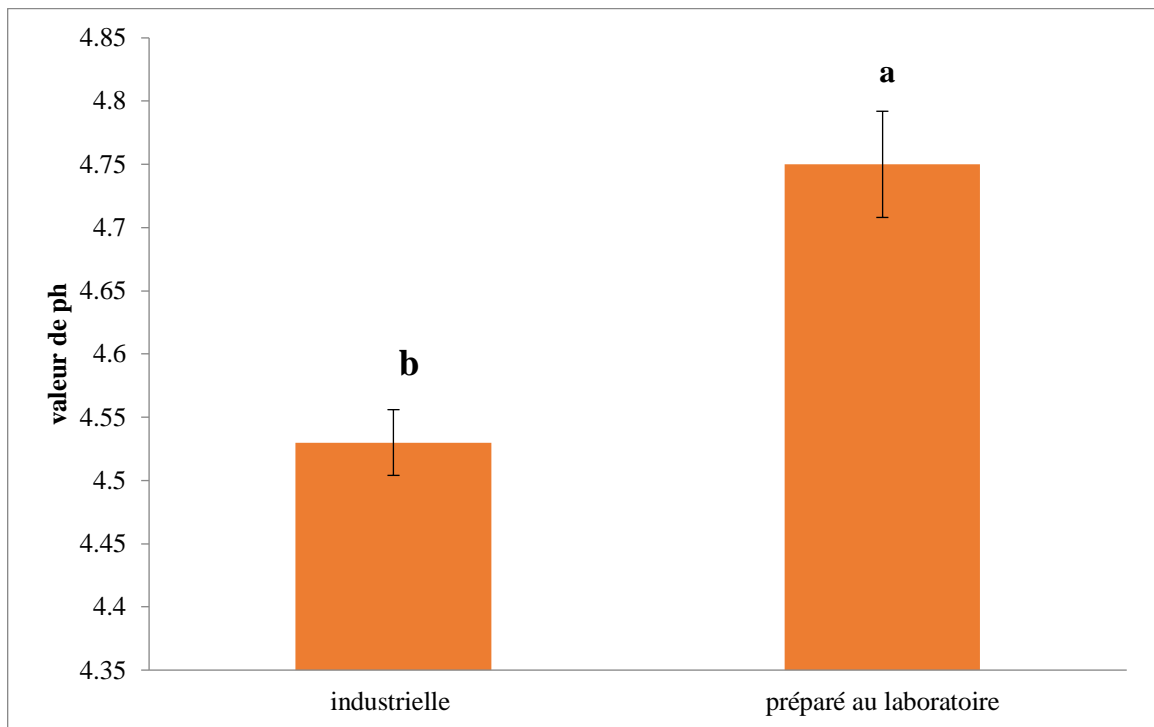
L'étude réalisée par **Refki et al ., 2018** sur la valorisation des écarts de triage des tomates géothermiques dans le sud tunisien a révélé des variations dans le taux d'humidité des différentes formes de tomates. Les résultats montrent que le taux d'humidité des tomates fraîches était de 97,56%. Pour les tomates lyophilisées, le taux d'humidité était de 92,01%, tandis que les tomates séchées présentaient un taux d'humidité de 92,7%.

L'étude menée par **Sohail et al., 2011** portait sur la teneur en humidité des tomates fraîches et son évolution après séchage et stockage. Selon cette étude, la teneur en humidité initiale des tomates fraîches était de 94,4%. Après le processus de séchage, cette teneur a diminué à 8,15%. Au cours des trois mois de stockage suivant, la teneur en humidité a progressivement augmenté pour atteindre 9,95%.

V.2. Le pH

Le potentiel hydrogène, est un paramètre physico-chimique essentiel pour évaluer la concentration d'ions hydrogène dans une solution aqueuse. Le pH influence de nombreux aspects de la qualité des aliments, y compris la stabilité, la saveur et la sécurité microbiologique.

La **Figure 29** illustre la valeur de pH de la poudre de tomate pour deux types d'échantillons : commerciale et préparé au laboratoire.



- Les barres verticales illustrent les écarts-types.
- Des lettres distinctes pour chaque état signalent des différences significatives entre les valeurs ($p < 0,05$).
- Les lettres a et b marquent des différences significatives au sein de chaque échantillon ($p < 0,05$).

Figure N° 29 : Valeur de pH de la poudre de tomate.

Les résultats montrent que la valeur de pH de l'échantillon "industrielle" est estimée à $4,5 \pm 0,026$ en revanche la valeur de pH de l'échantillon "préparée au laboratoire" est estimée légèrement supérieure, à de $4,75 \pm 0,042$.

La poudre de tomate préparée au laboratoire a une valeur de pH légèrement plus élevée que celle de la poudre de tomate commerciale.

Le test ANOVA indique qu'il y a une différence significative entre les deux échantillons.

Selon **BEDAD et al., (2018)** la différence est petite mais significative, ce qui peut indiquer des variations dans le processus de préparation ou des différences dans les ingrédients ou les conditions de traitement.

Les résultats sont en accord avec ceux obtenus par **AGASSOUNON et al., (2012)**, qui ont enregistré des valeurs de pH ($5,3 \pm 0,4$) pour tomate de sud Bénin. La différence de pH entre les tomates industrielles et les valeurs trouvées dans l'étude d'**AGASSOUNON et al.,**

(2012). Peut être attribuée à des facteurs tels que les variétés de tomates étudiées, les conditions de culture, et les méthodes de traitement post-récolte. Les tomates industrielles sont souvent sélectionnées pour des caractéristiques spécifiques qui favorisent une acidité plus élevée, ce qui est bénéfique pour la conservation et la sécurité alimentaire.

V.3. Taux de cendre

La teneur en cendre représente la quantité totale de sels minéraux présents dans l'échantillon. Elle est exprimée en pourcentage (%) par rapport à la matière sèche (MS). Cet indicateur est important pour évaluer la valeur nutritive et la qualité des poudres de tomate, car une teneur en cendre plus élevée peut indiquer une meilleure présence de minéraux essentiels.

La **Figure 30** montre la teneur en taux de cendre (%) de la poudre de tomate pour deux types de préparation : échantillon commerciale et échantillon préparé au laboratoire.

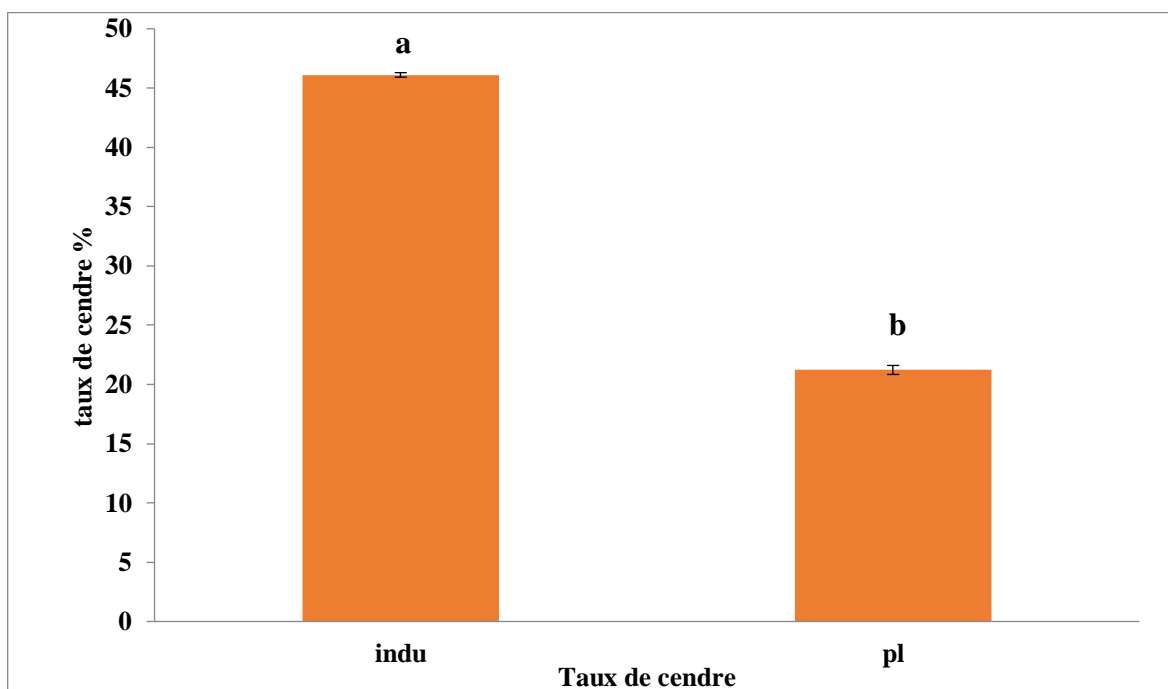


Figure N° 32: Taux de cendre de la poudre de tomate de deux échantillons (commerciale, préparé au laboratoire).

Les résultats indiquent que le taux de cendre pour l'échantillon commerciale est élevé, autour de **45 % ±0.19**. Cela indique que l'échantillon contient une quantité importante de matières inorganiques ou minérales.

Taux de cendre pour la poudre préparée au laboratoire, est beaucoup plus faible, autour de **20 %±0.38**. Cela indique une quantité plus faible de matières inorganiques ou minérales comparée à l'échantillon industriel.

Le test ANOVA indique qu'il y a une différence significative entre les deux échantillons.

Selon **NDJOUENKEU, (2003)** La différence significative entre les taux de cendre des deux échantillons peut être due aux différences dans les procédés de préparation ou les sources des matériaux. Cette différence pourrait également suggérer des variations dans la qualité ou la pureté des matériaux utilisés dans les deux types d'échantillons.

Les résultats obtenus pour la tomate commerciale et la tomate de laboratoire présentent des valeurs légèrement supérieures à celles rapportées par **Momoh, S. (2022)** au Nigeria, qui a obtenu une teneur en cendres de 3,93% pour les tomates séchées. Cette différence peut être attribuée aux méthodes de culture, de transformation et de conservation des tomates. La tomate industrielle subissent souvent des processus de transformation intensifs pouvant entraîner une concentration de certains composants. De plus, la tomate de laboratoire peuvent être soumise à des conditions de culture et de manipulation différentes de tomate industrielle, ce qui peut également influencer leur teneur en cendres.

V.4. L'acidité titrable

L'acidité titrable mesure la concentration totale d'acides dans un échantillon. Lors de la titration avec une base, tous les acides organiques présents sont neutralisés. L'acidité titrable est un paramètre important lié à la composition biochimique de la tomate, influençant le goût, la stabilité et la conservation du produit.

La **Figure 31** représente l'acidité titrable de la poudre de tomate pour deux types de préparations : échantillon industriel et échantillon préparé au laboratoire.

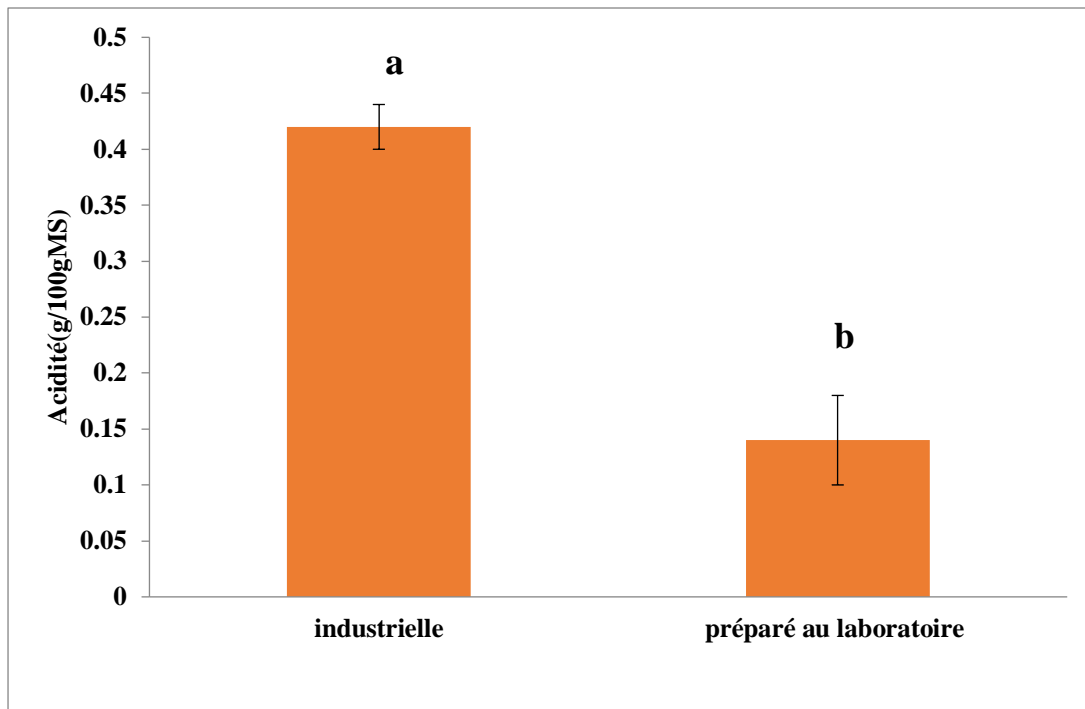


Figure N° 31: Acidité titrable de la poudre de deux échantillons (commerciale et préparé au laboratoire)

Les résultats montrent que l'acidité pour l'échantillon industriel est environ **0,45 g/100gMS ± 0,02**, l'acidité élevée peut résulter de procédés industriels, tels que l'ajout d'agents conservateurs ou des techniques de transformation spécifiques. Pour la 2^{ème} échantillon préparé au laboratoire on trouve l'acidité est environ **0,15 g/100gMS ± 0,04**, l'acidité elle est significativement plus basse pourrait être due à des méthodes de préparation plus naturelles, sans ajout de conservateurs ou d'additifs.

L'échantillon industriel présente une acidité trois fois supérieure à celle de l'échantillon de laboratoire ; cette différence peut s'expliquer par la nature des procédés de transformation, les variétés de tomates utilisées, et la présence d'additifs dans le produit industriel.

Le test ANOVA indique qu'il y a une différence significative entre les deux échantillons.

Les résultats d'acidité des tomates séchées industrielles et de laboratoire sont proches de ceux obtenus par **Sherman et al., (1977)**, qui ont trouvé des valeurs comprises entre 0,33 % et 0,37 % pour les tomates du sud du Bénin. Adsule (1979) indique que les variétés de tomates à fruits ronds présentent un taux d'acidité compris entre 0,42 % et 0,75 %, tandis que les variétés à fruits allongés sont moins acides, avec un taux variant de 0,36 % à 0,45 %.

V.5. Les polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux donne une estimation globale de la teneur en différents composés phénoliques présents dans l'extrait éthanolique de la poudre séchée. La teneur en polyphénols totaux est déterminée à partir de la courbe d'étalonnage réalisée avec de l'acide gallique (**Annexe 1**). L'analyse statistique du test ANOVA post hoc de Tukey des teneurs en composés phénoliques des différents extraits révèle des différences significatives à $p < 0,05$.

La **Figure 32** représente la teneur en polyphénols de la poudre de tomate pour deux types de préparation : échantillon commerciale et échantillon préparé au laboratoire.

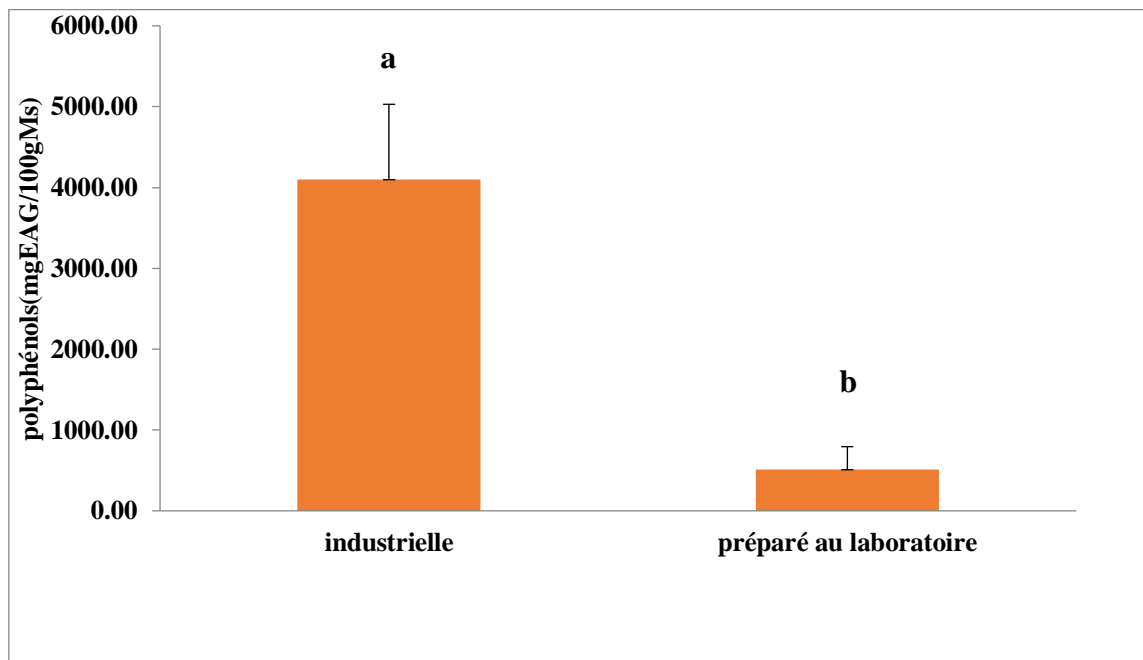


Figure N° 32 : La teneur en polyphénols de la poudre de tomate de deux échantillons(PC) et (PPL)

Les résultats montrent que la poudre de tomate industrielle contient une teneur en polyphénols nettement plus élevée, à **4500 mg EAG/100g MS ± 931.33**, par rapport à celle préparée au laboratoire, qui est d'environ **600 mg EAG/100g MS ± 284.53**. Cette différence peut être due à plusieurs facteurs tels que les méthodes de séchage, les variétés des tomates, les conditions de stockage, ou d'autres traitements spécifiques à la production industrielle qui ne sont pas reproduits au laboratoire.

Le test ANOVA indique qu'il y a une différence significative entre les deux échantillons.

Selon **HICHRI, (2019)** les techniques analytiques pourraient être optimisées pour maximiser la concentration en polyphénols, ce qui pourrait être bénéfique pour les propriétés antioxydantes et la valeur nutritionnelle de la poudre de tomate. Les produits industriels avec une teneur plus élevée en polyphénols peuvent être commercialisés comme ayant des bénéfices santé supérieurs.

L'étude menée par **Fleuriet (1976)** sur l'évolution des composés phénoliques dans les tomates cerises a révélé une augmentation de ces composés, notamment des monophénols, au cours de la croissance et de la maturation des fruits. Ces composés participent à la formation de pigments responsables de la couleur des fruits, comme les flavonoïdes, les anthocyanes et les caroténoïdes. En outre, les composés phénoliques offrent des avantages pour la santé grâce à leurs propriétés antioxydantes. Une autre étude menée par **Wood et al. (2002)** a examiné la teneur en polyphénols totaux des extraits de tomate dans la région montagneuse de Man. Les teneurs en polyphénols totaux étaient de **9,96 ± 0,09 mg EAG/g MS** pour la purée de tomate Tmt 1 et de **6,00 ± 0,16 mg EAG/g MS** pour celle produite à partir de la tomate Tmt 2. Bien que les valeurs soient plus faibles que celles trouvées dans la poudre de tomate industrielle, elles montrent l'influence des variétés et des conditions de culture sur la teneur en polyphénols.

Selon **HICHRI, (2019)** Ces études montrent l'importance des composés phénoliques dans les tomates et leurs produits dérivés, et soulignent les bénéfices potentiels pour la santé grâce à leurs propriétés antioxydantes. En optimisant les méthodes de séchage et de traitement, il est possible d'augmenter la teneur en polyphénols, améliorant ainsi la valeur nutritionnelle et les bénéfices pour la santé des poudres de tomate. En conclusion, la maîtrise des facteurs influençant la teneur en polyphénols est cruciale pour produire des poudres de tomate de haute qualité. Des études supplémentaires pourraient explorer les paramètres spécifiques du séchage, des variétés de tomates et des conditions de stockage pour maximiser la concentration en polyphénols, assurant ainsi des produits avec des avantages nutritionnels et des propriétés antioxydantes optimales.

La teneur en composés phénoliques totaux augmente après le séchage, ce qui peut être attribué à l'hydrolyse de composés phénoliques complexes tels que les tannins et les lignines sous l'effet de la température élevée pendant le séchage, entraînant la libération de composés plus simples mais en plus grande quantité (**Al-Farsi et al., 2005**).

V.5.1. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des métabolites secondaires ayant des propriétés antioxydantes importantes, souvent utilisées comme indicateur de la qualité nutritionnelle et bénéfique d'un produit. La teneur en flavonoïdes est évaluée à partir de la courbe d'étalonnage établie avec de la quercétine (voir annexe 2). L'analyse statistique utilisant le test ANOVA révèle une différence significative avec un $p < 0,05$.

La **Figure 33** représente la teneur en flavonoïdes de la poudre de tomate pour deux types de préparations : échantillon industriel (PC) et échantillon préparé au laboratoire (PPL).

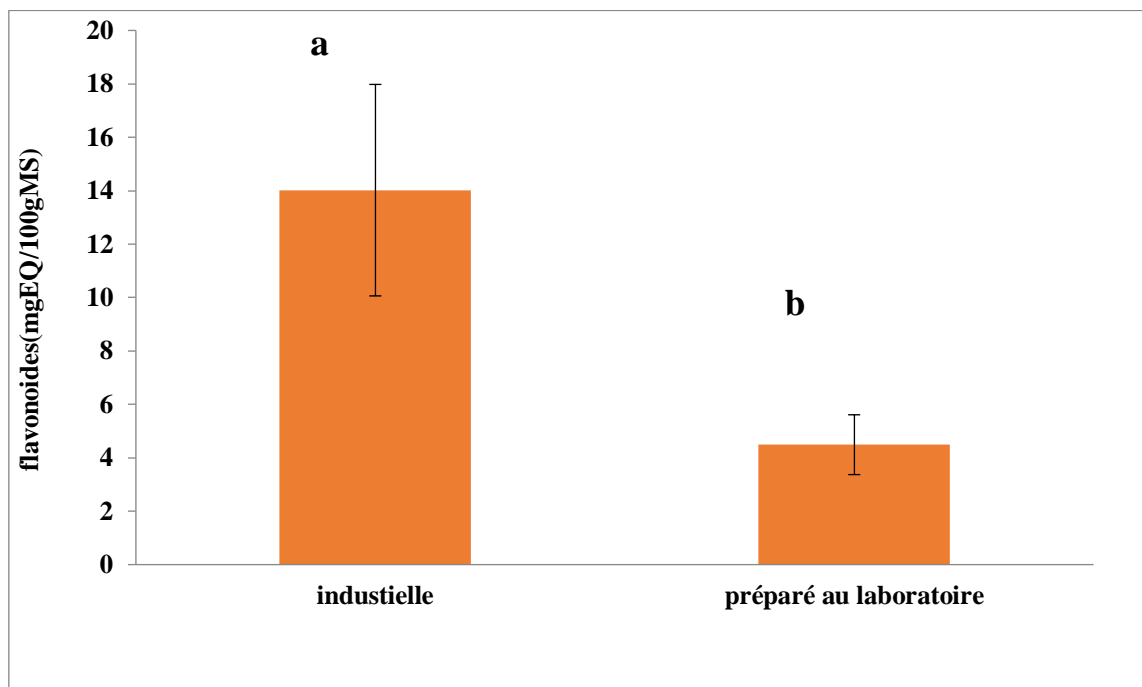


Figure N° 35: Teneur en flavonoïdes de la poudre de tomate de deux préparations(PC) et (PPL).

Les résultats montrent que l'échantillon commerciale présente une teneur en flavonoïdes d'environ **16 mg EQ/100g MS ± 3.96**, ce qui est significativement plus élevé que celle de l'échantillon préparé au laboratoire, qui est d'environ **4 mg EQ/100g MS ± 1.12**. Cette différence notable suggère que les méthodes industrielles permettent de préserver ou de concentrer une plus grande quantité de flavonoïdes dans la poudre de tomate.

Les processus industriels, tels que la concentration sous vide ou le séchage à basse température, minimisent la dégradation des flavonoïdes. En revanche, les méthodes utilisées au laboratoire peuvent inclure des conditions de traitement moins optimales ou entraîner des

pertes lors du processus de préparation, ce qui explique la teneur en flavonoïdes quatre fois inférieure dans l'échantillon préparé au laboratoire.

Le test ANOVA indique qu'il y a une différence significative entre les deux échantillons.

Selon **COULIBALY *et al.*, (2011)** les différences marquées entre les deux échantillons peuvent avoir plusieurs implications. Les conditions de séchage, la température de traitement, l'oxydation par la lumière, et le temps d'exposition à l'air et à la lumière peuvent tous affecter la stabilité des flavonoïdes. Des méthodes industrielles plus avancées semblent donc plus efficaces pour conserver les flavonoïdes par rapport aux méthodes utilisées au laboratoire.

Des études complémentaires corroborent ces résultats. **Krishna (2010) et Yen (2008)** ont observé que la poudre de banane présentait une concentration élevée en flavonoïdes, à **11,83 ± 1,39 mg EQ/g MS**, parmi les échantillons étudiés. Ceci pourrait expliquer la diminution du taux de flavonoïdes après le séchage, particulièrement pour les flavonols qui sont plus sensibles à la chaleur et se dégradent rapidement à mesure que la température de séchage augmente (**Del Caro *et al.*, 2004**).

D'autres recherches ont montré que la quercétine libre présente dans les oignons crus et cuits, ainsi que la quercétine conjuguée dans les bulbes, résistait à la dégradation lors des opérations domestiques normales comme l'ébullition et la friture (**Price *et al.*, 1997**). Toutefois, **Häkkinen *et al.* (2000)** ont constaté que le contenu en flavonoïdes dans les tomates et les oignons diminuait par rapport à leur quantité initiale, probablement en raison de la dégradation des composés pendant la cuisson. **Price *et al.* (2000)** ont également noté que, dans certains légumes, une partie des glucosides de flavonols était retenue dans les tissus cuits.

En conclusion, les méthodes industrielles de préparation de la poudre de tomate semblent plus efficaces pour conserver les flavonoïdes par rapport aux méthodes utilisées au laboratoire. Cette différence pourrait avoir plusieurs implications sur la qualité nutritionnelle et les bénéfices pour la santé des poudres de tomate, nécessitant ainsi une optimisation des conditions de traitement pour maximiser la conservation des flavonoïdes.

V.6. Détermination de quelques activités antioxydantes

V.6.1.L'activité anti-radical DPPH°

La méthode DPPH° est fréquemment utilisée pour évaluer l'activité antioxydante des composés phénoliques ainsi que des extraits naturels des plantes (**Fukumoto et Mazza, 2000; Brand-Williams et al., 1995**). Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est souvent utilisé pour mesurer l'activité antioxydante. Une réduction élevée du DPPH% indique une activité antioxydante plus forte.

La **Figure 34** représente l'activité anti-radical DPPH de la poudre de tomate pour deux types d'échantillons : commerciale et préparé au laboratoire.

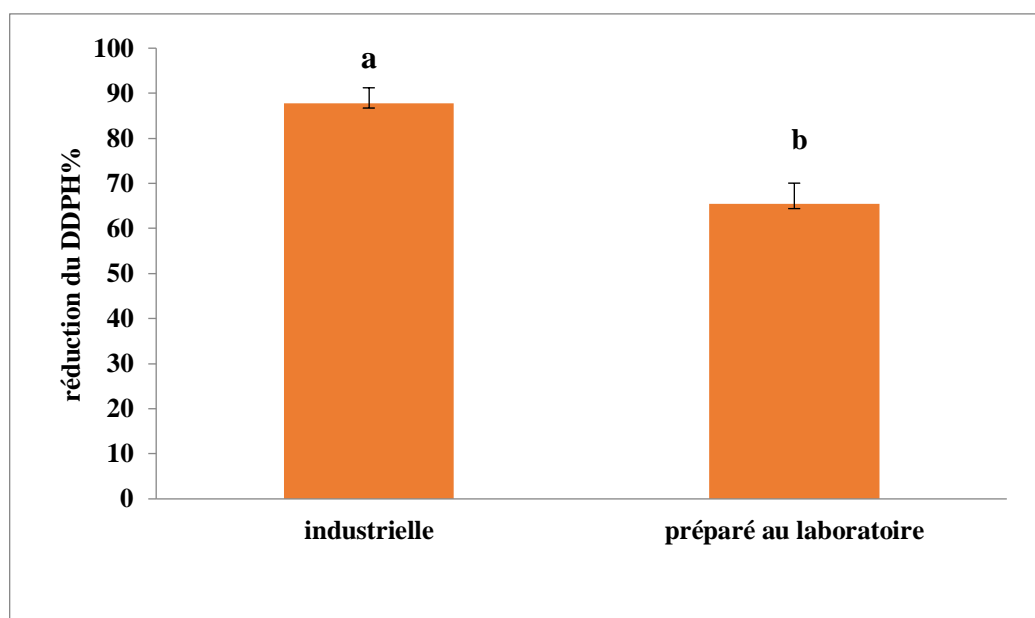


Figure N° 34: Activité anti-radical DPPH de la poudre de tomate.

Les résultats montrent que l'échantillon industriel présente une activité antioxydante significativement plus élevée, avec environ **90% ± 3.48**, par rapport à l'échantillon préparé au laboratoire, qui présente environ **50% ± 4.65**.

L'échantillon industriel semble avoir une meilleure capacité à neutraliser les radicaux libres comparé à l'échantillon préparé au laboratoire. Cela pourrait être dû à des différences dans le procédé de fabrication, la qualité des matières premières, ou les conditions de préparation.

Le test ANOVA indique qu'il y a une différence significative entre les deux échantillons.

Selon MAHBOUB *et al.*, 2022 Les procédés industriels peuvent inclure des techniques optimisées qui préservent ou augmentent la concentration des composés antioxydants, telles que des températures de séchage contrôlées ou des atmosphères protectrices pendant le traitement.

Nos résultats sont proches de ceux de Molyneux (2004), qui a trouvé dans ses études portant sur l'activité antiradicalaire DPPH des produits alimentaires à base de fruits de tomate verts et mûrs au Chili, que le DPPH de la pulpe de tomate rouge, à 94.5%, était supérieur à celui de la pulpe de tomate verte, à 73.5%. Ces résultats confirment que la maturation et les conditions de traitement influencent significativement l'activité antioxydante des produits dérivés de la tomate.

En conclusion, les méthodes industrielles de préparation de la poudre de tomate semblent plus efficaces pour préserver l'activité antioxydante, ce qui pourrait avoir des implications importantes pour la conservation des nutriments et des bénéfices santé des produits à base de tomate. Des études supplémentaires pourraient se concentrer sur l'optimisation des paramètres de traitement pour maximiser l'activité antioxydante des poudres de tomate préparées au laboratoire.

IV.6.2. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur peut être utilisé comme un indicateur efficace du potentiel antioxydant des extraits de tomate.

La Figure 35 présente le pouvoir réducteur (mg EAA/100g) de la poudre de tomate en fonction de deux types de préparation : commerciale et préparée au laboratoire.

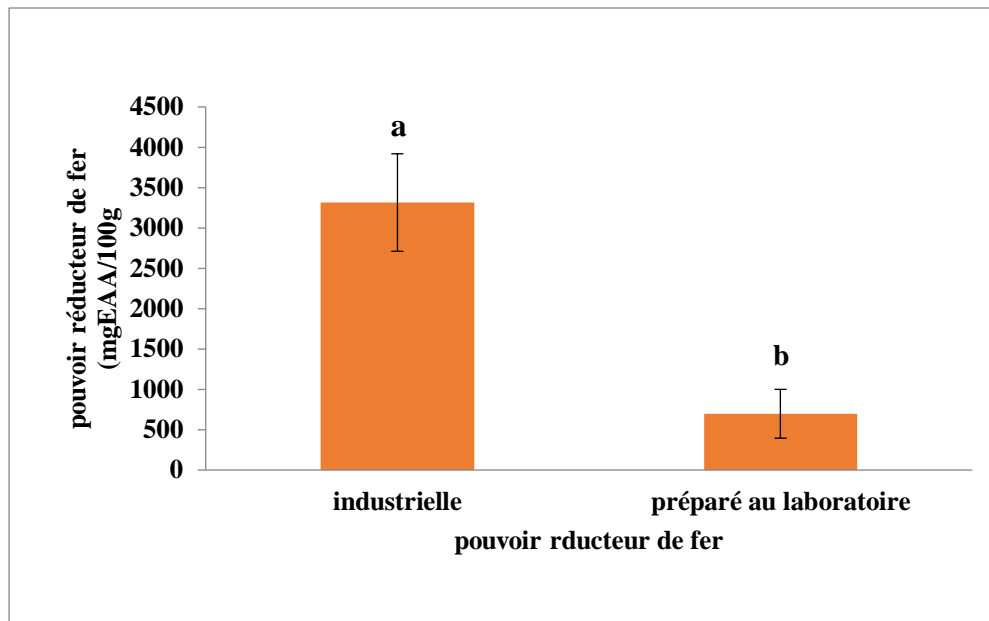


Figure N° 35: le pouvoir réducteur de la poudre de tomate

Les résultats montrent que le pouvoir réducteur de la poudre de tomate industrielle est d'environ **4000 mg EAA/100g ± 604.34**, cette valeur étant significativement plus élevée que celle de l'échantillon préparé au laboratoire, qui est d'environ **500 mg EAA/100g ± 302.17**. Cette différence indique une capacité antioxydante supérieure pour la poudre de tomate industrielle.

La préparation en laboratoire entraîne une réduction notable du pouvoir réducteur par rapport à la production industrielle. Cela pourrait être attribué à des différences dans les processus de production, la concentration des composés actifs, ou les techniques de conservation utilisées dans la préparation industrielle. Cette différence est statistiquement significative ($p \leq 0.05$).

Par ailleurs, dans leur étude sur les propriétés phytochimiques, nutritionnelles et antioxydantes de deux cultivars de figues de Barbarie cultivés en Arabie Saoudite, **ABD EL-HAMEED et al., (2014)** ont constaté que les jus de tomate avaient un pouvoir réducteur élevé, de l'ordre de **149.49 et 123.23 mg EAA/100g** respectivement. Ces résultats illustrent que les produits naturels peuvent varier considérablement en termes de capacité antioxydante en fonction de leur traitement et de leur préparation.

V.6.3. Réduction de radical-cation ABTS

La méthode de réduction du radical-cation ABTS est l'une des plus utilisées pour déterminer la concentration des radicaux libres. Lorsqu'il réagit avec le persulfate de potassium, l'ABTS (acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)) forme le radical ABTS⁺ de couleur bleu verte. L'ajout d'un antioxydant réduit ce radical et provoque la décoloration du mélange.

La **Figure 38** présente l'activité du radical ABTS de la poudre de tomate en fonction de deux méthodes de préparation : industrielle et préparée au laboratoire.

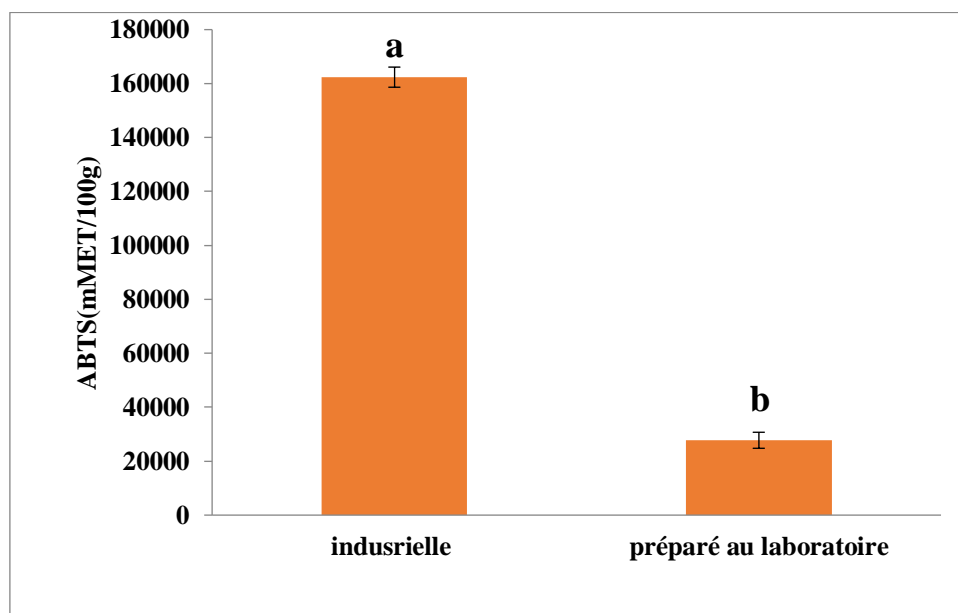


Figure N° 36 : Activité de radical ABTS de la poudre de tomate.

Les résultats montrent que l'activité antioxydante de la poudre de tomate industrielle est beaucoup plus élevée, atteignant environ **160000 mMET/100g ± 2731.74**. En comparaison, l'activité antioxydante de la poudre de tomate préparée au laboratoire est significativement plus basse, atteignant environ **25000 mMET/100g**.

Cette différence notable dans l'activité antioxydante peut être attribuée à des différences dans les méthodes de traitement, de conservation, ou de concentration des composés antioxydants. La poudre de tomate industrielle semble avoir une meilleure capacité à piéger les radicaux libres, ce qui pourrait avoir des implications importantes sur la qualité nutritionnelle et la stabilité du produit.

Le test ANOVA indique qu'il y a une différence significative entre les deux échantillons.

Selon l'étude de **Ramirez-Anaya et al., (2015)**, les valeurs d'activité antioxydante, mesurées par l'ABTS, peuvent augmenter jusqu'à **15 %** lorsque les tomates sont marinées dans l'huile d'olive. Cette augmentation peut être expliquée par plusieurs facteurs. L'huile d'olive contient des composés phénoliques et des antioxydants naturels, qui peuvent pénétrer dans les tomates pendant la marinade, renforçant ainsi leur activité antioxydante. De plus, l'huile d'olive peut aider à stabiliser et protéger les antioxydants présents dans les tomates, augmentant leur efficacité. Enfin, les réactions chimiques entre les composants des tomates et l'huile d'olive peuvent créer de nouveaux composés antioxydants ou améliorer la biodisponibilité des antioxydants existants.

Cette activité antioxydante est comparable à celle rapportée par (**Godevac et al., 2008**), qui ont observé un excellent potentiel antiradicalaire (ABTS⁺) d'environ 14,06 µg/ml pour l'extrait méthanolique d'antille.

V.7. Les résultats des analyses microbiennes

L'activité antibactérienne des échantillons a été testée in vitro en utilisant la méthode de diffusion sur gélose (**Liao et al., 2010**). Cette méthode repose sur le même principe que les tests d'antibiogramme, consistant à appliquer des disques imprégnés des échantillons sur des milieux de cultureensemencés avec des microorganismes. La présence d'activité antimicrobienne se manifeste par des zones d'inhibition autour des disques.

Tableau XI : Résultats pour l'échantillon commercial

Bactérie	Extrait de tomate	Zone d'inhibition (mm)
<i>Escherichia coli</i> ATCC87393	Sans dilution	8,3±0.06
	Dilution 1/10	8,7±0.12
	Dilution 1/50	8,5±0.07
<i>Klebsiella Sp</i>	Sans dilution	12,3±0.25
	Dilution 1/10	10±0.26
	Dilution 1/50	8,7±0.12
<i>Bacillus</i> ATCC14579	Sans dilution	10,3±0.21
	Dilution 1/10	8,7±0.06
	Dilution 1/50	8,0±0.00

Tableau XII : Résultats pour l'échantillon préparé au laboratoire

Bactérie	Extrait de tomate	Zone d'inhibition (mm)
<i>Escherichia coli</i> ATCC87393	Sans dilution	1±0.17
	Dilution 1/10	8,7±0.06
	Dilution 1/50	5,3±0.46
<i>Klebsiella</i>	Sans dilution	15,7±0.21
	Dilution 1/10	13,0±0.17
	Dilution 1/50	10±0.17
<i>Bacillus cereus</i> ATCC14579	Sans dilution	8,3±0.06
	Dilution 1/10	0 ±0
	Dilution 1/50	0 ±0

V.7.1. Interprétation des résultats

- ***Escherichia. coli* ATCC87393**

La poudre préparée au laboratoire (PPL) semble légèrement plus efficace sans dilution (10± 0,17) par rapport à la poudre commerciale (PC) (8.3 ± 0,06). Aux dilutions 1/10 et 1/50,

les résultats sont comparables pour PC et PPL, bien que PPL montre une plus grande variabilité à 1/50 (écart-type plus grand).

- ***Klebsiella sp***

PPL montre une efficacité supérieure sans dilution ($15.7 \pm 0,21$) et à 1/10 ($13 \pm 0,17$) comparée à PC. À 1/50, les deux poudres montrent des résultats similaires.

- ***Bacillus ATCC14579***

PC semble plus efficace à toutes les dilutions par rapport à PPL, avec des zones d'inhibition plus grandes et moins de variabilité.

Pour conclure, la poudre préparée au laboratoire (PPL) semble plus efficace contre *E. coli* et *Klebsiella*, surtout sans dilution et à faible dilution, tandis que la poudre commerciale (PC) est plus efficace contre *Bacillus*.

Activité Antimicrobienne Présente: Pour la majorité des bactéries testées, l'extrait de tomate a montré une activité antimicrobienne significative, car les mesures de la zone d'inhibition sont égales ou supérieures à 0.8 mm.

L'extrait de tomate, qu'il soit industriel ou préparé au laboratoire, montre une activité antimicrobienne efficace contre *E. Coli*, *Bacillus*, et *Klebsiella SP*. Cela pourrait suggérer une utilisation potentielle de l'extrait de tomate dans des applications antimicrobiennes, bien que des études supplémentaires seraient nécessaires pour confirmer ces résultats et explorer les mécanismes sous-jacents.

En résumé Les différences observées dans les zones d'inhibition entre les extraits de tomate non dilués et dilués, ainsi que leur effet variable sur différentes bactéries, sont probablement dues à la composition chimique spécifique des extraits et à la sensibilité particulière des bactéries

L'effet antibactérien des extraits étudiés pourrait être expliqué par la présence des composés phénoliques dans nos extraits. En effet, les résultats du dosage des composés phénoliques réalisés ont montré des niveaux importants. Plusieurs études ultérieures ont déjà indiqué les effets antibactériens des extraits éthanoliques des plantes et leur relation avec la présence des composés phénoliques en particulier les flavonoïdes (Cushnie.T, 2011 et Xie, Y, 2015). Ces composés agissent en exerçant principalement leur effet au niveau de la membrane bactérienne, ce qui induit sa destruction. Une variation dans l'activité

antibactérienne des composés phénoliques pourrait également être associée à leurs structures. (Oulahal et Degraeve, 2022).

Conclusion

Conclusion générale

L'objectif principal de cette étude était d'optimiser le processus d'extraction des composés bioactifs de la tomate séchée et d'évaluer leur potentiel antioxydant. La tomate est connue pour être une source riche en composés phénoliques, notamment les flavonoïdes, qui ont démontré des effets bénéfiques pour la santé, notamment en tant qu'antioxydants.

Cette étude comparative entre la poudre de tomate commerciale (PC) et la poudre de tomate préparée au laboratoire (PPL) révèle des différences significatives dans plusieurs paramètres physico-chimiques et biologiques. En ce qui concerne le taux d'humidité, les résultats montrent que la PC contient 20 ± 3.93 d'humidité contre $25\% \pm 1.89$ 10.09% pour la PPL, avec une différence non significative ($p > 0.05$). Le pH des deux échantillons présente une différence significative, la PC ayant un pH de **4.5** comparé à **4.75** pour la PPL ($p < 0.05$). La teneur en cendre est également significativement différente, avec **45 % ± 0.19** pour la PC et **20 % ± 0.38** pour la PPL ($p < 0.05$). L'acidité titrable est plus élevée dans la PC (15.43%) par rapport à la PPL (13.24%), avec une différence significative ($p < 0.05$). Les analyses des composés bioactifs montrent que la PC contient **4500 mg EAG/100g MS ± 931.33** , de polyphénols totaux contre **600 mg EAG/100g MS ± 284.53** la PPL ($p < 0.05$), et **16 mg EQ/100g MS ± 3.96** de flavonoïdes contre **4 mg EQ/100g MS ± 1.12** ($p < 0.05$). Les activités antioxydantes mesurées par les méthodes DPPH et ABTS sont significativement plus élevées dans la PC, avec respectivement **90% ± 3.48** comparé à **50% ± 4.65** pour la PPL ($p < 0.05$). Le pouvoir réducteur est également supérieur dans la PC **4000 mg EAA/100g ± 604.34** par rapport à la PPL **500 mg EAA/100g ± 302.17** avec une différence significative ($p < 0.05$). Ces résultats suggèrent que les méthodes de préparation industrielles sont plus efficaces pour préserver les composés bioactifs de la tomate séchée que les méthodes de laboratoire.

Cette préservation accrue des composés bioactifs est d'une importance capitale pour l'industrie alimentaire, car elle permet de maintenir la qualité nutritionnelle des produits dérivés de la tomate. Les produits alimentaires enrichis en antioxydants peuvent offrir des avantages pour la santé, tels que la réduction du stress oxydatif et la prévention des maladies chroniques.

De plus, les analyses microbiennes ont révélé une activité antimicrobienne significative des extraits de tomate contre *Escherichia coli*, *Bacillus* et *Klebsiella SP*. Ces résultats suggèrent un potentiel d'utilisation des extraits de tomate dans des applications antimicrobiennes, ce qui pourrait être exploré davantage dans le cadre de la recherche en microbiologie alimentaire et de la formulation de nouveaux produits alimentaires.

En conclusion, cette étude souligne l'importance des méthodes de préparation industrielles pour la préservation des composés bioactifs de la tomate séchée. Ces résultats fournissent des informations précieuses pour l'industrie alimentaire et la recherche en nutrition, et soulignent la nécessité de développer des stratégies d'extraction et de conservation plus efficaces pour maximiser les bénéfices pour la santé des produits à base de tomate.

Références bibliothèque

- Abdel-Hameed, E. S. S., Nagaty, M. A., Salman, M. S., & Bazaid, S. A. (2014). Phytochemicals, nutritionals and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA. *Food chemistry*, 160, 31-38.
- Adsule, P. G., 1979. Inherent acidity of some tomato varieties in relation to their shape. Indian Institute of Horticultural Sciences; Journal of Food Science and Technology ; Vol. 16; p. 262.
- Aissani, O., & Derouiche, O. (2019). Investigation chimique, phytochimique et biologique du café et du marc de café
- Amrani, M., et Laglaoui, A. (2007). Etude comparative de la congélation des fraises marocaines par procédé cryogénique et mécanique. *InterSedes*, 8(14), 137-143
- Al-Farsi M., Alasalvar C., Morris A., Baron M. et Shahidi F. 2005. Comparison of Antioxidant Activity, Anthocyanins, Carotenoids, and Phenolics of Three Native Fresh and Sun-Dried Date (*Phoenix Dactylifera* L.) Varieties Grown In Oman. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. (53): 7592-7599.
- Ali S. S., Ahsan H., Zia M. K., Siddiqui T. et Khan F. H. 2020. Understanding oxidants and antioxidants: Classical team with new players. *Journal of food biochemistry*. 44(3): 1-13.
- Akbarian, M., Ghasemkhani, N. et Moayedi, F. (2014). Osmotic dehydration of fruits in food industrial: A review. *International Journal of Biosciences*, 4(1), 42-57.
- Arslan D. et Özcan M.M. 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-Food Science and Technology*. (43): 1121-1127.
- Aslani, L., Breniere, T., Fanciullino, A., & Bertin, N. (2023). Evidence of the very early effects of water deficit on cell division and expansion processes in tomato ovaries. *Environmental and Experimental Botany*, 207(October 2022), 105227. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105227>
- Beconcini D, Felice F, Fabiano A, Sarmento B, Zambito Y et Di Stefano R (2020).
- Antioxidant and anti-inflammatory properties of cherry extract: nanosystems-based strategies to improve endothelial function and intestinal absorption. *Foods*, 9(2), 207.
- Bouzaata Ch. (2015). *Valorisation des sous produits de quatre variétés de tomate industrielle (*Solanum esculentum* L) dans l'Est algérien*. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat, université badji mokhtar – Annaba. pp15-16, 93p.

- Bonazzi, C., E. Dumoulin, et al., 2008: "Le séchage des produits alimentaires." *Industrie Alimentaire Agricole* 125(03-04):12-22
- Boussalia, A. (2010). Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles locaux. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Génie Climatique, Alger.
- Bouzaata Ch. (2015). *Valorisation des sous produits de quatre variétés de tomate industrielle (Solanum esculentum L) dans l'Est algérien*. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat, université badji mokhtar – Annaba. pp15-16, 93p.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E. et Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*. (28): 25-30.
- C.Bonazzi, J. Bimbenet, -J. Séchage des produits alimentaires - Principes. *Techniques de l'Ingénieur*, F3000; (2003).
- Chavan, U. D. et Amarowicz, R. (2012). Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. *Journal of Food Research*,1(2). 202-209,
- Chung, M. C. (2019). "Thiazole, thio and semicarbazone derivatives against tropical infective diseases: Chagas disease, human African trypanosomiasis (HAT), leishmaniasis, and malaria," *European journal of medicinal chemistry*, vol. 162, pp. 378-395.
- Clémentine POISSON., (2013).Rôle du stress oxydant au niveau hépatique et rénal dans la toxicité de l'uranium après exposition chronique.thèse de doctorat, université paris- sud ,11.127p
- Coulibaly, I., Dubois-Dauphin, R. Danthine, S., Majad, L., Mejoub, T. Destain, J., Béra, F. Wathelet, J. P. et Thonart, P. (2011). Techniques de séchage des starters lactiques et mécanismes affectant la viabilité cellulaire suite à la lyophilisation. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*,15(2),287-299.
- Cushnie, T. P., & Lamb, A. J. (2011). Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 26(5), 343-356.
- Cryotec, 2015. Concepteur et fabricant de lyophilisateurs et d'enceintes climatiques
- Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P. et Vidal N. 2006. Antioxidants activities of some Algerian medicinal plants extract containing phenolic compounds. *Food Chemistry*. (97): 654-660.

- Del Caro A., Piga A., Vacca V. et Agabbio M. 2004. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. *Food Chemistry*. 84 (1): 99-105.
- Di Meo S et Venditti P (2020). Évolution des connaissances sur les radicaux libres et autres oxydants. *Médecine oxydative et longévité cellulaire* , 2020 .
- Djeflal Assia,(2013).Évaluation de la toxicité d'un insecticide carbamate « méthomyl » chez le rat Wistar : Stress oxydant et exploration des effets protecteurs de la supplémentation en sélénium et/ou en vitamine C.thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba. 18p
- Djerroud D. (2010). Modelisation Markovienne Du Sechage Continu Par Contact Avec Agitation ; L'université De Toulouse. These De Doctorat En Genie Des Procedes Et De L'environnement De L'universite De Toulouse.166 p
- Dominique D, Alain P, (2021). « Mesure de la viscosité-viscosimètres et rhéomètres »,techniques de l'ingénieur.
- Durand, D., Damon, M et Gobert, M. (2013) .Le stress oxydant chez les animaux de rente: principes généraux. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 48(5): p. 218-224.
- El Gharras H. (2009). Polyphenols : food sources, properties and applications - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 2512–2518.
- El-Sebaii, A., S. Aboul-Enein, *et al.*, 2002: "Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables." *Energy* 27(9): 845-859.
- Favier A. (2003). Le str Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reactions antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307-325.
- FAO., 2007 : Disponible sur : <http://faostate.fao.org> et <http://ecocrop.fao.org> .P4-5.
- F.A.O, (2009). World crop production statistics. Food and Agricultural Organization of United Nations Statistical Database Online Services.
- FAO., 2010 - Disponible sur : <http://faostate.fao.org>
- FAO, 2021.The State of Food and Agriculture 2021.www.fao.org/faostat.
- Fenn, M. A., & Giovannoni, J. J. (2021). Phytohormones in fruit development and maturation. *Plant Journal*, 105(2), 446–458. <https://doi.org/10.1111/tbj.15112>
- Flieger J, Flieger W, Baj J et Maciejewski R (2021). Antioxydants : classification, sources naturelles, mesures d'activité/capacité et utilité pour la synthèse de nanoparticules. *Matériaux* , 14 (15), 4135.

- Freschi, L., Corpas, F. J., & Palma, J. M. (2023). Fruit Physiology through Signaling Processes: Latest Advances and Future Challenges. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), 2–4. <https://doi.org/10.3390/ijms24020976>.
- Fukumoto, L.R., Mazza, G., (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compound. *J. Agric. Food Chem*, 48: 3597-3604
- Jangam, S. V., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2010). Drying of foods, vegetables and fruits.
- Häkkinen, S. H., Karenlampi, S. O., Mykkanen, H. M. and Torronen, A. R. Influence of domestic processing and storage on flavonol contents in berries. *J. Agric. Food Chem*. 2000; 48: 2960 – 2965. 30.
- Hecini L. et Achour S. (2008). Elimination des composés organiques phénoliques par coagulation-floculation au sulfate d'aluminium. *Larhyss Journal*, 7, 47-57.
- Hourmant, Annick, et al. "Effect of bentazon on growth and physiological responses of marine diatom: *Chaetoceros gracilis*." *Toxicology mechanisms and methods* 19.2 (2009): 109-115.
- Hutin CH., Jeannequin B., Jost M., Le Quillec S., Letard M., Merendet V., Puel TH., Roger A., Tisiot R. (2009). *Tomate Qualité et Préférences, les connaissances sur les mécanismes qui déterminent les facteurs de qualité et des conseils pratiques 2000* , éditions centre technique interprofessionnel des fruits et légumes 22, rue bergère 75009 paris .pp 16-70, 271p
- GENOT C. *Congélation et qualité de la viande*. INRA Editions, Collection Techniques et pratiques, 2000 ; 95 pages.
- Golouviev V.N. et Chibane M. (1988). Traitement par membrane de pulpe de tomate. *Ind.Alim. agric.* 10 : 929-932.
- Guo, L., Xie, M.-Y., Yan, A.-P., Wan, Y.-Q, et Wu, Y.-M. (2006). "Simultaneous determination of five synthetic antioxidants in edible vegetable oil by GC–MS," *Analytical and bioanalytical chemistry*, vol. 386, p. 1881.
- Grasselly D., Brigitte N., et Letard M., (2000). *Tomate, pour un produit de qualité*. EdCTIFL (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes). Paris, 6-30, 41-162.
- Green-leaves-red-fruits-yellow-gm1176810675-328275128

- Guo, Q., Sun, D. W., Cheng, J. H., & Han, Z. (2017). Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 236-247.
- Ifeanyi O. E. 2018. A review on free radicals and antioxidants. *International Journal of Current Research in Medical Sciences*. 4(2): 123-133.
-
- KH. Kanoun, Contribution à l'étude phytochimique et activité antioxydante des extraits de *Myrtus communis* L. (Rayhane) de la région de Tlemcen (Honaine), mémoire de Magister, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen, 2011, 25-26.
- Kisselmina Y. (2011). *Amélioration de la qualité de la tomate séchée par microondes assistés par air chaud avec pilotage de la puissance spécifique*. Thèse pour obtenir le grade de docteur délivré par l'institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech). pp9, 160p.
- Krishna K.L., Mruthunjana K. & Patel J.A., 2010. Antioxidant and hepatoprotective potential of stem methanolic extract of *Justicia gendarusa* Burn. *Int. J. of Pharmacology* 6(2): 72-80.
- Labed, A. (2012). Contribution à l'étude des échanges convectifs en régime transitoire dans les Capteurs Solaires Plans à air; Application au Séchage des produits agro-alimentaires, Université Mohamed Khider Biskra.
- Lahbari M., (2015). Etude et stimulation du séchage de l'abricot : application à quelques variétés de la région des Aures. Thèse de doctorat, Mécanique, Energétique. 129 p.
- Lahmari et al. 2012: "Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra)." _
- Lati, M., Boughali, S., Bouguettaia, H., Mennouche, D., & Bechki, D. (2015). Etude expérimentale de la cinétique de séchage de la pomme de terre.
- Macheix J.J., Fleuriet A. et Sarni-Manchado P. (2006). Composés Phénoliques dans la Plante-Structure, Biosynthèse, Répartition et Rôles ; in : « Les Polyphénols en Agroalimentaire ». Techniques & Documentation, Lavoisier, Paris. 1-27 p.
- MADR., 2018 - (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural) , Direction des statistiques . P21

- Molyneux P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakar Journal of Science and Technology*. 2004;26:211–219.
- Montcho, M., Fagbohoun, O., 2004: Production of tomato puree: an alternative to conservation of locally produced tomato in Bénin. *Uganda Journal of Agricultural Science*, 9,p 651-655.
- Murdor, D.C., Dacunha, D.T., Rosso, V.V., 2014. Effects of cooking techniques on vegetable pigments: A meta-analytic approach to carotenoid and anthocyanin levels. *Food Research International* 65: 177–183.
- Naika S., De Jeud J.V.L., De Jefeau M., Hilmi M. et Vandam B., 2005. La culture de tomate, production, transformation et commercialisation. Ed. Wageningen, Pays-Bas. 105p.
- Navez B., Aubert CH., Baros C., Bertin N., Brand R., Causse M., Cottet V., Nisar, N(1), Li, L(2), Lu, S(3), Chi Khin, N(1), et Pogson, B, J(4), 2015. Carotenoid Metabolism in Plants. *Molecular Plant*. 8: 68–82.
- Nguyen T.C., (2015). Etude Experimentale Et Modelisation Du Procédé De Séchage Des Vegetaux. These Docteur En Science L'ingenieur. Université de Bretagne-sud. France, 237p
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reactions antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307-325.
- Original no consultado compendiado en Häkkinen, S. H., Karenlampi, S. O., Mykkanen, H. M. and Torronen, A. R. Influence of domestic processing and storage on flavonol contents in berries. *J. Agric. Food Chem.* 2000; 48: 2960 – 2965). 29.
- Pellicer, J. A., Fortea, M. I., Trabal, J., Rodriguez-Lopez, M. I. Gabaldon, J. A., et Nunez- Delicado, E. (2019). Stability of microencapsulated strawberry flavour by spray drying, freeze drying and fluid bed. *Powder Technology*, 347, 179-185
- Penser santé. Les radicaux libres, qu'est-ce que c'est. (2019).
- P.I. Merksamer., Y Liu., W He., M.D. Hirschey., D. Chen, E. Verdin, The sirtuins, oxidative stress and aging: an emerging link. *Aging*, 2013 ,5 (3) : 144-150.
- Pincemail J., Bonjean K., Cayeux K., Defraigne J.O. 2002. Physiological action of antioxidant defences. *Nutrition clinique et métabolisme*, 16(4), 233-239.

- Pyszynska, K., & Biesaga, M. (2009). Analysis of phenolic acids and flavonoids in honey. *Trends in Analytical Chemistry*, 28(7).
- Price, K. R., Bacon, J. R. and Rhodes, M. J. C. Effects of storage and domestic processing on the content and composition of flavonol glucosides in onion (*Allium cepa*). *J. Agric. Food Chem.* 1997; 45: 938 – 942
- Price, K. R., Casascelli, F., Colquhoun, I. J., Barnes, K. A. and Rhodes, M. J. C. Composition and content of flavonol glycosides in broccoli florets (*Brassica oleracea*) and their fate during cooking. *J. Sci. Food Agric.* 1998; 477: 468 - 472.
- Original no consultado compendiado en Häkkinen, S. H., Karenlampi, S. O., Mykkanen, H. M. and Torronen, A. R. Influence of domestic processing and storage on flavonol contents in berries. *J. Agric. Food Chem.* 2000; 48: 2960 – 2965). 29.
- Rahmane K., Senouci S. et Moussa N., 2021. Effet du silicate de potassium sur la germination des graines de la tomate cerise stressée à la salinité (*Solanum lycopersicum* var. *cesariforme*). Mémoire de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme de Master académique (Spécialité : Génétique moléculaire et amélioration des plantes). Université Ibn Khaldoun (Tiaret). Algérie, 32p.
- Tchibozo, M. A. D., Gomez, S., Tchobo, F. P., Soumanou, M. M., & Toukourou, F. (2012). Essai de conservation de la tomate par la technique de la déshydratation imprégnation par immersion (DII). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 657-669.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolourisation assay.
- Refki et all 2018 Refki Ettaib*, Tarek Tombari**, Mouna Ben Hammouda**, Ali ben Belgacem*, Bisma Assadi*, Mouna Ben Mohamed**, Mohamed Sadok Belkhadi*
*Laboratoire d'Aridoculture et Cultures Oasiennes, Institut des Régions Arides, Médenine, Tunisie Valorisation des écarts de triage des tomates géothermiques dans le sud tunisien
- Van der Pol A, Van Gilst WH, Voors AA, Van der Meer P (2019). Treating oxidative stress in heart failure: past, present and future. *European Journal of Heart Failure*. 21(4):425-435.
- Vasseur, 2009 : "Séchage: principes et calcul d'appareils-Séchage convectif par air chaud (partie 1).")

- Velioglu Y. S., Mazza G., Gao L. et Oomah B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. (46): 4113-4117.
- Verdier N-A, Sadat A-W, Clément D-A, Emmanuel N-A et Georges N-A. (2016). Impact of Solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value Quality of Fermented Forastero (*Theobroma Cacao L.*). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 12(4): 402-406
- Vodouhe M. C. D. N. Houssou A. P. F., Kpangbin C., Labintan E., Mensah G. A., (2014). Séchage de la tomate (*Lycopersicon esculentum*) : une autre alternative pour sa valorisation au Bénin, BRAB :1840-709
- Scarim, C. B., Jornada, D. H., Machado, M. G. M., Ferreira, C. M. R., Santos, J. L. et
- tion dans les maladies respiratoires. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 20(4), 165-177.
- SHERMAN, LEONARD G. L. , MARSH D, TOMBROPOULES J. E., BUHLERT and HEIL J., 1977. Evaluation of tomato condition in bin of processing tomatoes harvested at different levels of ripeness . *Journal of Food Processing and Preservation*. pp. 55-68.
- Y.Zhou., H.Yan., M.Guo., J .Zhu., Q. Xiao, L .Zhang, Reactive oxygen species in vascular formation and development. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2013, V ; 1- 14.
- Wu, X. -F., Zhang, M., Bhandari, B. et Li, Z. (2019). Effects of microwave assisted pulse fluidized bed freeze-drying (MPFFD) on quality attributes of *Cordyceps militaris*. *Food Bioscience*, 28, 7-14.
- Zehiroglu C et Ozturk Sarikaya S B (2019). L'importance des antioxydants et leur place dans les études scientifiques et technologiques d'aujourd'hui. *Journal des sciences et technologies alimentaires* , 56 , 4757-4774.

Annexes

Annexe 01 : Courbes d'étalonnage.

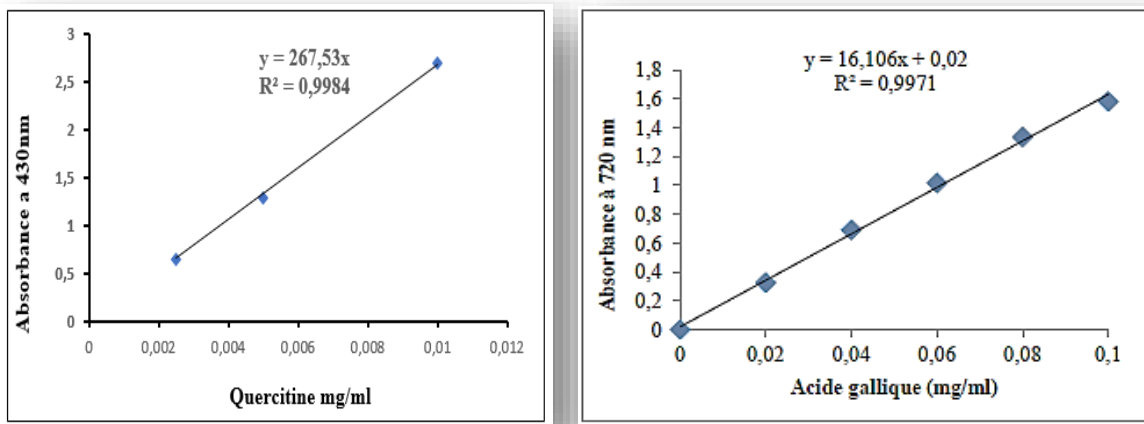


Figure 01: Dosage des flavonoïdes.

Figure 02: Dosage des polyphénols totaux.

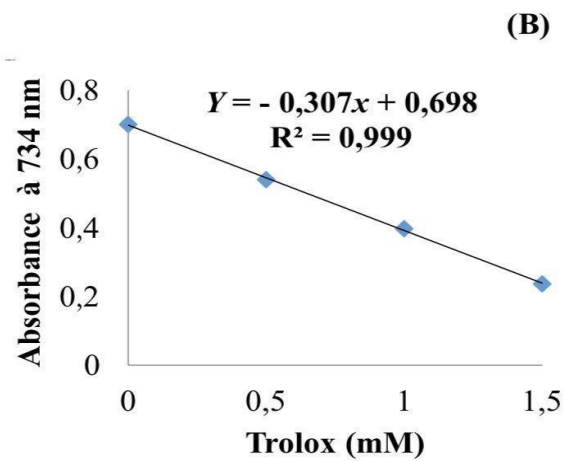


Figure 03: Dosage de Trolox.

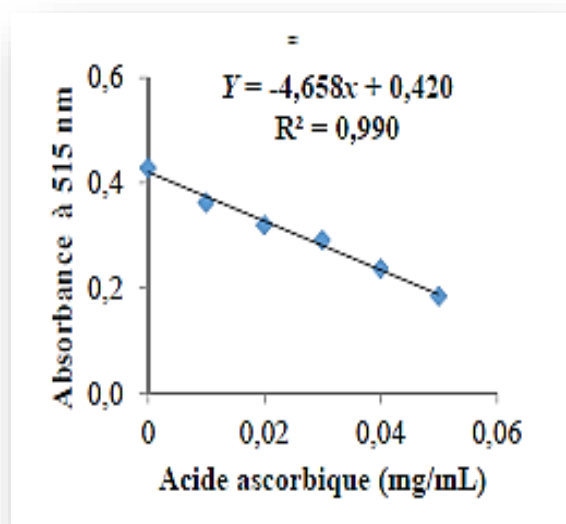


Figure 04: Droites d'étalonnage de l'acide ascorbique.

Annexe 02

- **Préparation des réactifs :**

Préparation de carbonate de sodium à 7.5% : 7.5g de NaCO_3 dans 100ml d'eau distillé

- **Préparation Folin Ciocalteu :**

Mélanger 5ml de Folin avec 50ml d'eau distillé.

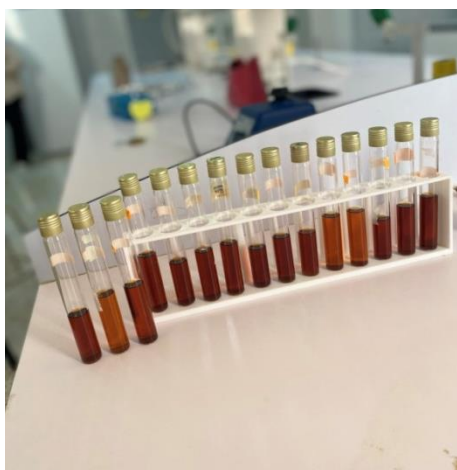
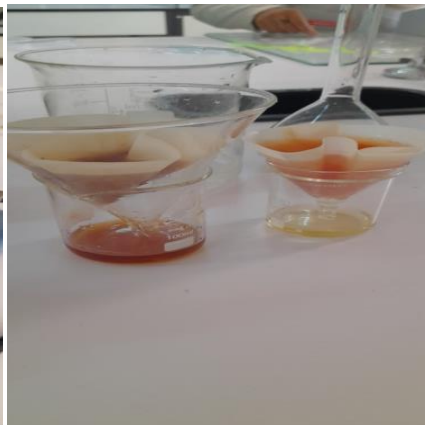
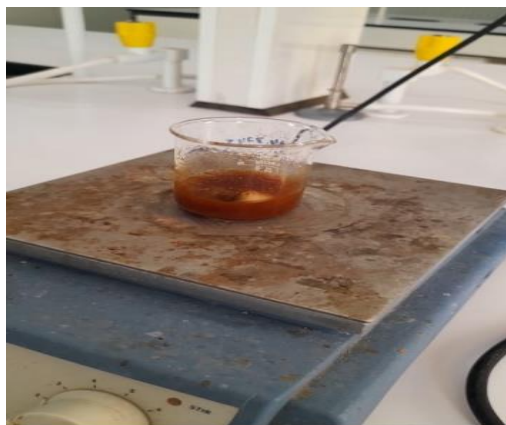
- **Préparation chlorure d'Aluminium à 2% :**

Faire dissoudre 2g chlorure dans 100ml d'éthanol.

- **Préparation de solution tampon (0.2M):**

5g de NaH_2PO_4 dans 50ml d'eau distillé. 4g de H_3PO_4 dans 50ml d'eau distillé. On ajoute l'acide au base jusqu'à Ph 6.6.

Annexe 03



Résumé

Résumé

L'objectif principal de cette étude était d'optimiser le processus d'extraction des composés bioactifs de la tomate séchée et d'évaluer leur potentiel antioxydant. La comparaison entre la poudre de tomate commerciale (PC) et celle préparée au laboratoire (PPL) a révélé des différences significatives dans plusieurs paramètres physico-chimiques et biologiques. Les résultats montrent que la PC contient $20\% \pm 3,93$ d'humidité contre $25\% \pm 1,89$ pour la PPL ($p > 0,05$). Le pH de la PC est de 4,5 comparé à 4,75 pour la PPL ($p < 0,05$). La teneur en cendre est de $45\% \pm 0,19$ pour la PC et $20\% \pm 0,38$ pour la PPL ($p < 0,05$). L'acidité titrable est de 15,43% pour la PC et 13,24% pour la PPL ($p < 0,05$). Les polyphénols totaux sont de 4500 mg EAG/100g MS $\pm 931,33$ pour la PC contre 600 mg EAG/100g MS $\pm 284,53$ pour la PPL ($p < 0,05$). Les flavonoïdes sont de 16 mg EQ/100g MS $\pm 3,96$ pour la PC contre 4 mg EQ/100g MS $\pm 1,12$ pour la PPL ($p < 0,05$). Les activités antioxydantes mesurées par DPPH et ABTS sont de $90\% \pm 3,48$ pour la PC contre $50\% \pm 4,65$ pour la PPL ($p < 0,05$). Le pouvoir réducteur est de 4000 mg EAA/100g $\pm 604,34$ pour la PC contre 500 mg EAA/100g $\pm 302,17$ pour la PPL ($p < 0,05$). De plus, les analyses microbiennes ont révélé une activité antimicrobienne significative contre *Escherichia coli*, *Bacillus* et *Klebsiella* sp. Ces résultats suggèrent que les méthodes industrielles sont plus efficaces pour la conservation des composés bénéfiques.

Mots clés : Tomate séchée, PPL , PC, extraction, potentiel antioxydant, activité antimicrobienne, composés bioactifs.

Summary

The main objective of this study was to optimize the extraction process of bioactive compounds from dried tomatoes and to evaluate their antioxidant potential. The comparison between commercial tomato powder (CTP) and lab-prepared tomato powder (LPTP) revealed significant differences in various physicochemical and biological parameters. The results show that CTP contains $20\% \pm 3.93$ moisture compared to $25\% \pm 1.89$ for LPTP ($p > 0.05$). The pH of CTP is 4.5 compared to 4.75 for LPTP ($p < 0.05$). Ash content is $45\% \pm 0.19$ for CTP and $20\% \pm 0.38$ for LPTP ($p < 0.05$). Titratable acidity is 15.43% for CTP and 13.24% for LPTP ($p < 0.05$). Total polyphenols are 4500 mg GAE/100g DW ± 931.33 for CTP compared to 600 mg GAE/100g DW ± 284.53 for LPTP ($p < 0.05$). Flavonoids are 16 mg QE/100g DW ± 3.96 for CTP compared to 4 mg QE/100g DW ± 1.12 for LPTP ($p < 0.05$). Antioxidant activities measured by DPPH and ABTS are $90\% \pm 3.48$ for CTP compared to $50\% \pm 4.65$ for LPTP ($p < 0.05$). Reducing power is 4000 mg AAE/100g ± 604.34 for CTP compared to 500 mg AAE/100g

± 302.17 for LPTP ($p < 0.05$). Additionally, microbial analyses revealed significant antimicrobial activity against *Escherichia coli*, *Bacillus*, and *Klebsiella* sp. These findings suggest that industrial methods are more effective in preserving beneficial compounds.

Keywords: Dried tomato, LPP, CTP, extraction, antioxidant potential, antimicrobial activity, bioactive compounds.

المخلص

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحسين عملية استخراج المركبات النشطة بيولوجيًا من الطماطم المجففة وتقييم قدرتها (LPTP) ومسحوق الطماطم المُحضر في المختبر (CTP) المضادة للأكسدة. أظهرت المقارنة بين مسحوق الطماطم التجاري فروعًا كبيرة في العديد من المعايير الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. أظهرت النتائج أن مسحوق الطماطم التجاري يحتوي كان الرقم ($p > 0.05$) على $20\% \pm 3.93$ رطوبة مقارنة بـ $25\% \pm 1.89$ لمسحوق الطماطم المحضر في المختبر كانت ($p < 0.05$). الهيدروجيني لمسحوق الطماطم التجاري 4.5 مقارنة بـ 4.75 لمسحوق الطماطم المحضر في المختبر ($p < 0.05$) نسبة الرماد $45\% \pm 0.19$ لمسحوق الطماطم التجاري و $20\% \pm 0.38$ لمسحوق الطماطم المحضر في المختبر كانت الحموضة القابلة للمعايرة 15.43% لمسحوق الطماطم التجاري و 13.24% لمسحوق الطماطم المحضر في ($p < 0.05$). كان إجمالي الفينولات 4500 ملغ حمض الغاليك/100غ ± 931.33 لمسحوق الطماطم التجاري مقارنة ($p < 0.05$). المختبر كانت الفلافونويدات 16 ($p < 0.05$) بـ 600 ملغ حمض الغاليك/100غ ± 284.53 لمسحوق الطماطم المحضر في المختبر ملغ كيرسيتين/100غ ± 3.96 لمسحوق الطماطم التجاري مقارنة بـ 4 ملغ كيرسيتين/100غ ± 1.12 لمسحوق الطماطم $\pm 90\%$ ABTS و DPPH كانت الأنشطة المضادة للأكسدة التي تم قياسها بواسطة ($p < 0.05$) المحضر في المختبر كان القدرة ($p < 0.05$) لمسحوق الطماطم التجاري مقارنة بـ $50\% \pm 4.65$ لمسحوق الطماطم المحضر في المختبر الاختزالية 4000 ملغ حمض الأسكوربيك/100غ ± 604.34 لمسحوق الطماطم التجاري مقارنة بـ 500 ملغ حمض بالإضافة إلى ذلك، كشفت التحاليل ($p < 0.05$). الأسكوربيك/100غ ± 302.17 لمسحوق الطماطم المحضر في المختبر والبكتيريا العصوية (*Escherichia coli*) الميكروبية عن نشاط مضاد للميكروبات بشكل كبير ضد الإشريكية القولونية تشير هذه النتائج إلى أن الطرق الصناعية أكثر فعالية في الحفاظ على المركبات (*Klebsiella* sp.) والكلبسيلا (*Bacillus*) المفيد

، استخلاص، قدرة مضادة للأكسدة، نشاط مضاد للميكروبات، مركبات نشطة CTP، LPP طماطم مجففة، :الكلمات المفتاحية بيولوجيًا.

Tasriqt

Agmad n uselkim-agi yella di usetmaâ ad yerna ad yettesel weselkem n usfehmed n tefuyin ar tasentrit tamarikt n tmatutin id kkan s teṭtuffit n ddura. Amel nni yessenkerken gmedd d yiseggas ar tmanit amgarwanen n tefuyin id kkan gmaṭṭa d wamad-isen. Ad yezmir yiwen-d amgemmvan akked umunnadh amgarwan-ik. Ad yezmir yiwen-d weḥyan akken ad yeggwas deg i tefuyin nni: $20\% \pm 3.93$ d argazd nni $25\% \pm 1.89$ akked yif i weḥyan amgarwan-ik ($p > 0.05$). Ad yewwi pH n tefuyin 4.5 akken yewwi 4.75 s wamad-ik ($p < 0.05$). Ad yewwi amarw nni 45%

± 0.19 s amunnadh nni $20\% \pm 0.38$ ($p < 0.05$). Tamsiwt-titrable nni 15.43% s amunnadh nni 13.24% s wamad-ik ($p < 0.05$). Tefuyin-nni ad yezmir di umecdu nni 4500 mg GAE/100g DW ± 931.33 s amunnadh nni 600 mg GAE/100g DW ± 284.53 s wamad-ik ($p < 0.05$). Ad yezmir di qiv nni 16 mg QE/100g DW ± 3.96 s amunnadh nni 4 mg QE/100g DW ± 1.12 s wamad-ik ($p < 0.05$). Teşwiwin aggarin-ik s DPPH d ABTS nni $90\% \pm 3.48$ s amunnadh nni $50\% \pm 4.65$ s wamad-ik ($p < 0.05$). Ad yezmir uram-ik yefkes 4000 mg AAE/100g ± 604.34 s amunnadh nni 500 mg AAE/100.

Awalen n ttturin: Tamastis tmatifinin, LPP, CTP, tuksi, awass n tmastis, tmastis isimanen, tmastis tiniriwin.