

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA – Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie physico-chimique
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie Fondamentale



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

MASTER

Thème

Profils polliniques et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique de cinq miels sur quelques légumes et jus de fruits

Présenté par :

M^{elle} IMLOUL Imene

Soutenue le : 25/ 06/ 2023

Devant le jury composé de :

M^{me} HARZOUN S.	MCB	Présidente
Mr OUCHEMOUKH S.	Professeur	Encadreur
M^{me} BOUDJOUAN A.	MCB	Examinatrice
M^{me} MOUMENI L.	Doctorante	Invitée

Année universitaire : 2022/ 2023

Remerciements

Remerciements

Avant toute chose, je remercie dieu, le tout puissant, pour m'avoir donné le courage, la patience, la volonté et la force nécessaire pour affronter toutes les difficultés et les obstacles qui se sont hissés au travers de mon chemin d'étude.

Mes plus profonds remerciements vont à mon promoteur, le Professeur **OUCHEMOUKH Salim**, j'ai eu l'honneur et la chance de bénéficier de ses connaissances et compétences, de ses précieux conseils et de son suivi tout au long de ma formation en Master. Son sens élevé du devoir, le fait d'être toujours montré à l'écoute ainsi que sa rigueur scientifique impose l'estime, le respect et la reconnaissance.

Je tiens notamment à remercier tous les membres de jury, M^{me} **BOUDJOUAN A.** et M^{me} **SEBAIHI-HARZOUN S.** de l'université de Bejaia pour avoir accepté de juger ce travail. Recevez ici mon immense gratitude.

J'extériorise mes remerciements les plus sincères à ma Co-promotrice M^{me} **MOUMENI Lynda** pour ses orientations, les efforts qu'elle avait consenti avec beaucoup de gentillesse, son soutien précieux et son écoute attentive. Qu'elle trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Je remercie également M^{elle} **GUENAOUI Nawel** d'avoir accepté de m'accompagner durant ces quelques mois dans des circonstances particulières, pour sa disponibilité, ses conseils et tous les efforts qu'elle avait fourni avec sympathie et gentillesse. Qu'elle trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude.

Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail avec sincérité et honneur :

A la plus belle créature que dieu a créé sur terre, ma mère, qui a toujours su me relever et m'aider pour aller de l'avant et qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu as fait pour moi depuis ma naissance. Tu es mon symbole de bonté et ma source de tendresse.

A mon père qui n'a jamais cessé de déployer tous ses efforts afin de subvenir à nos besoins, nous encourager et nous aider à choisir le chemin de la réussite. Veuillez trouver ici le fruit de vos sacrifices ainsi que l'expression de ma profonde reconnaissance.

A ma sœur qui m'a prêté son épaule quand j'en ai de besoin.

A mon petit frère qui me comble d'amour au quotidien.

A mes amis qui m'ont tendu la main et su être l'oreille attentive.

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer...

Table des matières

Table des matières

Liste de figures
Liste des tableaux
Liste des abréviations

Introduction.....1

Revue bibliographique

Chapitre I : Le miel : définition et composition

I.1. Définition.....2

I.2. Composition chimique du miel.....2

I.2.1. Glucides.....2

I.2.2. Eau.....2

I.2.3. Protéines et acides aminés.....3

I.2.4. Enzymes.....3

I.2.5. Acides organiques.....3

I.2.6. Minéraux.....4

I.2.7. Vitamines.....4

I.2.8. Caroténoïdes.....4

I.2.9. Composés phénoliques.....5

I.2.9.1. Acides phénoliques.....5

I.2.9.2. Flavonoïdes.....5

I.2.10. Pollen.....6

I.2.10.1. Définition.....6

I.2.10.2. Analyses polliniques.....6

Chapitre II. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés biologiques du miel

I. Caractéristiques physico-chimiques..... 8

I.1. Indice de réfraction et humidité.....8

I.2. Conductivité électrique.....8

I.3. pH et acidité.....8

I.4. Couleur..... 8

I.5. Hydroxyméthylfurfural (HMF).....9

I.6. Proline.....9

II. Propriétés biologiques	9
II.1. Activité antioxydante.....	9
II.1.1. Radicaux libres.....	9
II.1.2. Stress oxydatif.....	10
II.1.3. Activité antioxydante du miel.....	10
II.2. Activité anti-brunissement enzymatique.....	11
II.2.1. Brunissement enzymatique.....	11
II.2.2. Enzymes impliquées dans le brunissement enzymatique.....	13
II.2.2.1. Polyphénol oxydase (PPO).....	13
II.2.2.2. Peroxydase (POD).....	14
II.2.3. Activité anti-brunissement enzymatique du miel.....	14

Chapitre III : Composition chimique de certains végétaux

I.1. Aubergine.....	16
I.2. Pomme de terre.....	17
I.3. Pomme.....	18
I.4. Fraise.....	18

Partie expérimentale

Partie I : Matériel et méthodes

I. Echantillons	20
I.1. Echantillons de miel.....	20
I.2. Echantillons de fruit et légumes.....	22
II. Analyses polliniques	22
III. Analyses physico-chimiques	22
III.1. Degré brix.....	22
III.2. Potentiel hydrogène.....	22
III.3. Couleur.....	23
III.4. Dosage des protéines.....	23
IV. Dosage des antioxydants	23
IV.1. Polyphénols.....	23
IV.2. Flavonoïdes.....	24
V. Activité antioxydante	24

V.1. Activité anti-radicalaire.....	24
V.1.1. Test de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl).....	24
V.1.2. Pouvoir réducteur.....	25
VI. Activité inhibitrice du brunissement enzymatique.....	25
VI.1. Couleur et unité de brunissement (UB).....	25
VI.1.1. Tranches.....	25
VI.1.2. Jus.....	26
VI.2. Indice de brunissement (IB).....	26
VI.3. Dosage des enzymes du brunissement enzymatique.....	26
VI.3.1. Extraction enzymatique.....	26
VI.3.2. Activité de Polyphénol oxydase (PPO).....	27
VI.3.3. Activité de peroxydase (POD).....	27
VII. Analyses statistiques.....	28

Partie II : Résultats et Discussion

I. Analyses polliniques.....	29
II. Analyses physico-chimiques.....	32
II.1. Brix.....	32
II.2. Potentiel hydrogène (pH).....	33
II.3. Couleur	34
II.4. Protéines.....	35
III. Taux des antioxydants du miel.....	36
III.1. Polyphénols.....	36
III.2. Flavonoïdes.....	37
IV. Activités antioxydantes du miel.....	38
IV.1. Activité anti-radicalaire par le DPPH.....	38
IV.2. Pouvoir réducteur.....	39
V. Activités anti-brunissement enzymatique du miel.....	40
V.1. Tranches d'aubergine.....	40
V.1.1. Couleur.....	40
V.1.2. Unité de brunissement (UB).....	44
V.1.3. Indice de brunissement (IB).....	45

V.1.4. Activité enzymatique de la PPO.....	46
V.1.5. Activité enzymatique de la POD.....	46
V.2. Tranches de pomme de terre.....	48
V.2.1. Couleur.....	48
V.2.2. Unité de brunissement (UB).....	51
V.2.3. Indice de brunissement (IB).....	52
V.2.4. Activité enzymatique de la PPO.....	54
V.2.5. Activité enzymatique de la POD.....	55
V.3. Jus de pomme et de fraise.....	56
V.3.1. Unité de brunissement (UB).....	56
V.3.2. Brix des jus de pomme et de fraise.....	59
V.3.3. pH des jus de pomme et de fraise.....	60
V.3.4. Activité enzymatique de la PPO des jus de pomme et de fraise.....	61
V.3.5. Activité enzymatique de la POD des jus de pomme et fraise.....	61
VII. Corrélations.....	63
VII.1. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques, molécules antioxydantes et activité antioxydante.....	63
VII.2. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique.....	63
VII.2.1. Tranches d'aubergine et de pomme de terre.....	63
VII.2.2. Jus de pomme et de fraise.....	67
VIII. ACP des paramètres physico-chimiques, antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique.....	70
VIII.1. Tranches d'aubergine et de pomme de terre.....	70
VIII.2. Jus de pomme et de fraise.....	72
Conclusion.....	75
Références bibliographiques.....	76
Annexes	

Liste des figures

Liste des figures

N°	Titres	Pages
1	Photos de grains de pollen présents dans le miel fourni par CETAM.	7
2	Déséquilibre antioxydant /oxydant.	10
3	Réactions enzymatiques du brunissement.	13
4	Photo originale des miels analysés.	20
5	Photos originales des aubergines et des pommes de terre analysés.	21
6	Photos originales des pommes et des fraises analysées.	21
7	Photos originales de quelques grains de pollens des miels analysés.	31
8	Brix des miels analysés.	32
9	pH des miels analysés.	33
10	Couleur des miels analysés.	34
11	Teneur en protéines des miels analysés.	35
12	Teneur en polyphénols des miels analysés.	36
13	Teneur en flavonoïdes des miels analysés.	37
14	Pourcentage de réduction du radical DPPH par les miels analysés.	38
15	Pouvoir réducteur des miels analysés.	39
16	Couleur des tranches d'aubergines traitées avec des solutions de miel (10%) et stockées à températures ambiante (20 °C) et 4 °C.	40
17	Photos originales de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M4 sur les tranches d'aubergine à 4 °C.	42
18	Photos originales de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M4 sur les tranches d'aubergine à température ambiante (20 °C).	43
19	Unité de brunissement des tranches d'aubergines traitées avec des solutions de miel (10 %) et stockées à température ambiante et 4 °C.	44

N°	Titres	Pages
20	Indice de brunissement des tranches d'aubergine traitées avec les solutions de miel (10 %) à 4 °C et à T° ambiante.	45
21	Activité enzymatique de l'enzyme Polyphénol oxydase (PPO) des tranches d'aubergines traitées par les échantillons de miel à 4 °C et à T° ambiante (20 °C).	46
22	Activité enzymatique de l'enzyme peroxydase (POD) des tranches d'aubergines traitées par les échantillons de miel à 4 °C et à T° ambiante.	47
23	Couleur des tranches de pomme de terre traitées avec des solutions de miel (10 %) et stockées à 4 °C et à température ambiante (20 °C).	48
24	Photos originales de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M2 sur les tranches de pomme de terre à 4 °C.	50
25	Photos originales de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M2 sur les tranches de pomme de terre à température ambiante.	51
26	Unité de brunissement des tranches de pomme de terre traitées avec des solutions de miel (10%) et stockées à température ambiante (20 °C) et 4 °C.	52
27	Indice de brunissement des tranches de pomme de terre traitées avec les solutions du miel (10 %) à 4 °C et à T° ambiante.	53
28	Activité enzymatique de l'enzyme Polyphénol oxydase (PPO) des tranches de pomme de terre traitées par les échantillons de miel (10 %) à 4 °C et à T° ambiante (20 °C).	54
29	Activité enzymatique de l'enzyme peroxydase (POD) des tranches de pomme de terre traitées par les échantillons de miel à 4 °C et à T° ambiante.	55
30	Photos originales des jus de pomme traités par les solutions de miel durant un mois de stockage.	58
31	Photos originales des jus de fraise traités par les solutions de miel durant un mois de stockage.	58
32	Activité enzymatique de l'enzyme Polyphénol oxydase (PPO) des jus frais de pomme et de fraise traités par les échantillons de miel (10 %).	61

N°	Titres	Pages
33	Activité enzymatique de l'enzyme peroxydase (POD) des jus frais de pomme et de fraise traités par les échantillons de miel.	62
34	Cercle de corrélation des paramètres physico-chimiques, antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des échantillons de miels analysés sur les tranches de légumes (Aubergine et pomme de terre).	71
35	ACP des paramètres physico-chimiques, teneurs en antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des miels analysés sur les tranches de légumes (Aubergine et pomme de terre).	72
36	Cercle de corrélation des paramètres physico-chimiques, antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des échantillons de miels analysés sur les jus de pomme et de fraise.	73
37	ACP des paramètres physico-chimiques, teneurs en antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des miels analysés sur les jus de pomme et de fraise.	74

Liste des tableaux

Liste des tableaux

N°	Titre	Pages
I	Caractéristiques des échantillons de miel analysés.	20
II	Spectres polliniques et pourcentages de pollens des miels analysés.	30
III	Unité de brunissement des jus de pomme et de fraise traités par les solutions de miel (10%) durant un mois de stockage.	57
IV	Brix (%) des jus de pomme et de fraise traités par les solutions de miel (10%) durant un mois de conservation.	59
V	pH des jus de pomme et de fraise traités par les solutions de miel (10 %) durant un mois de conservation.	60
VI	. Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des tranches d'aubergine à température ambiante et à 4 °C.	65
VII	Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des tranches de pomme de terre à température ambiante et à 4 °C.	66
VIII	Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique du jus de pomme.	68
IX	Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique du jus de fraise.	69

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ACP : Analyse en composantes principales.

ANOVA : Analysis of one variance.

BSA : Bovine Serum Albumine.

DO : Densité Optique.

DPPH : 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.

ERO : Espèce réactive de l'oxygène.

HMF : Hydroxyméthylfurfural.

IB : Indice de brunissement.

IR : Indice de réfraction.

LDL : Low density lipoprotein.

pH : Potentiel hydrogène.

POD : Peroxydase.

PPO : Polyphénol oxydase.

PVP : Polyvynilpyrrolidone.

ROS : Reactive oxygen species.

UB : Unité de brunissement.

Introduction

Introduction

Issu du monde animal et végétal, le miel est un produit connu depuis la nuit des temps comme un extraordinaire « aliment médicament » grâce à son large usage dans l'alimentation et ses vertus utilisées dans la médecine (**Draiaia, 2016**).

Le miel est une substance sucrée complexe produite par l'abeille *Apis mellifera*. Il est essentiellement composé de glucides et d'eau ainsi que d'autres substances mineures à savoir les acides organiques, les enzymes, les minéraux, les protéines et le pollen.... Il représente une source riche en antioxydants tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes et les vitamines qui lui attribuent diverses propriétés biologiques (antioxydante, antimicrobienne et anti-brunissement enzymatique...). Par conséquent, il est utilisé pour la prévention de maladies chroniques résultantes de dommages oxydatifs tels que le cancer et les maladies d'Alzheimer et de Parkinson (**Ibrahimi et Hajdari, 2020**).

Le brunissement enzymatique est l'un des principaux problèmes des aliments peu transformés tels que les fruits, les légumes et les jus de fruit ayant subi un épluchage, lavage ou découpage (**Wibowo et al., 2019**). Il est causé par deux enzymes, polyphénol oxydase (PPO) et peroxydase (POD) aboutissant à une perte des qualités nutritionnelle et sensorielle (**Moon et al., 2020 ; Zhu et al., 2022**). Cependant, le miel est considéré comme une alternative naturelle en raison de ses propriétés antioxydantes (**Wen et al., 2018**).

D'après des recherches réalisées par **Oszmianski et Lee (1990)**, un peptide est contenu dans le miel possède un pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique par l'inactivation des PPO des tranches de pomme. De plus, **De la Rosa et al. (2011)** ont rapporté qu'un extrait de flavonoïde du miel agit comme un inhibiteur de la PPO du jus de pomme.

Ce présent travail s'inscrit dans le cadre d'une contribution à l'étude de la qualité de cinq miels locaux de la région de Bejaia et leur caractérisation en effectuant des analyses polliniques (pour la détermination de l'origine botanique), des analyses physicochimiques (couleur, pH, brix, la teneur en protéines et en antioxydants) et l'étude des activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique sur les tranches d'aubergine, de pomme de terre et sur les jus de pomme et de fraise.

Le présent travail s'articule sur trois grandes parties :

- La première partie synthétise les différentes connaissances bibliographiques sur le miel, sa composition, ses propriétés physicochimiques et biologiques (activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique) et sur la composition phytochimique de l'aubergine, de la pomme de terre, de la pomme et de la fraise.
- La seconde partie illustre le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de cette étude.
- La troisième partie présente la discussion des résultats avec une conclusion et des perspectives.

Partie I

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Le miel : définition et composition

Chapitre I : Le miel : définition et composition

I.1. Définition

Le **Codex Alimentarius (2001)** et le **Journal Officiel des Communautés Européennes (2002)** ont défini le miel comme une substance sucrée produite par les abeilles *Apis mellifera* à partir du nectar de plantes ou de sécrétions qui proviennent de parties vivantes de plantes ou à partir d'excrétions d'insectes butineurs laissées sur les parties vivantes de plantes, qu'elles butinent, transforment en les combinant avec des matières spécifiques propres, déposent, déshydratent, entreposent et laissent mûrir dans les rayons de la ruche.

L'abeille butine le nectar et le miellat qui est l'excrétion des insectes suceurs sur des plantes, comme matières premières pour l'élaboration du miel (**Ricordel et Bonmatin, 2003 ; Bonté et Desmoulière, 2013**)

I.2. Composition chimique

I.2.1. Glucides

Les glucides sont la composante principale du miel, représentant 95 % de sa matière sèche, et ils sont responsables de son pouvoir calorifique (320 calories/100g) (**Ouchemoukh, 2012**). Environ 75 % de ces sucres sont des monosaccharides avec la dominance du fructose (38%) et du glucose (31 %) qui sont issus de l'hydrolyse du saccharose par l'invertase (**Meda et al., 2005 ; Da silva et al., 2016**), suivi de 10 à 15 % de disaccharides dont principalement le maltose (7,5 %) et le saccharose (1,5 %). Cependant, les tri et les polysaccharides représentent 1,5 à 8 % (erlose, raffinose, mélézitose, dextrantriose, mélibiose...) (**Lazaridou et al., 2004 ; Pita-Calvo et Vazquez, 2017**).

I.2.2. Eau

La teneur en eau du miel est l'un des paramètres de qualité les plus importants, elle oscille généralement entre 15 à 21 % avec une valeur optimale de 17 % (**Otmani, 2022**). Elle est influencée par le degré de maturité du miel, des origines botanique et géographique et des conditions climatiques (**Galhardo et al., 2020**). La faible teneur en eau protège le miel de l'activité microbienne afin qu'il puisse être conservé plus longtemps tandis qu'une humidité plus élevée favorise le phénomène de fermentation (**Baloš et al., 2019**).

I.2.3. Protéines et acides aminés

La teneur du miel en protéines et acides aminés est faible. Les protéines contenues sont principalement les peptones, l'albumine et la globuline provenant à la fois des sources animales et végétales, y compris les sécrétions salivaires d'abeilles, le nectar, le miellat ainsi que le pollen, principale source de protéines (**Bogdanov *et al.*, 2004 ; Desmoulière et Bonté, 2013 ; Da Silva *et al.*, 2016**).

Les acides aminés présents dans le miel comprennent l'aspartate, le glutamate, l'alanine, l'arginine, l'asparagine, la glycine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la sérine, le tryptophane, la tyrosine, la valine et la proline. Ce dernier représente un total de 50 à 85 % d'acides aminés et il est considéré comme un indicateur d'authenticité du miel. Un miel est dit pur lorsqu'il contient au minimum 183 mg kg⁻¹ de proline dans un kg de miel (**Bogdanov *et al.*, 1999 ; Meda *et al.*, 2005 ; Da Silva *et al.*, 2016**).

I.2.4. Enzymes

Les enzymes contenues dans le miel ont deux origines ; la catalase et la phosphatase acide qui sont issues du nectar tandis que l'invertase, les amylase α et β ainsi que la glucose-oxydase proviennent des sécrétions salivaires de l'abeille. L'invertase assure la conversion du saccharose en fructose et en glucose, l'amylase permet la dégradation de l'amidon et la glucose oxydase est responsable en majeure partie de l'oxydation du glucose en acide gluconique et de la génération du peroxyde d'hydrogène inhibant la croissance des microorganismes, d'où la propriété antiseptique du miel (**Ouchemoukh *et al.*, 2017 ; Otmani *et al.*, 2021**).

I.2.5. Acides organiques

Les acides organiques occupent environ 0,5 % du poids frais du miel (**Keke et Cinkmanis, 2019**). Leur teneur dépend principalement de la source florale, du type de miel, des conditions géographiques ainsi que la durée de stockage. Ils proviennent essentiellement du nectar ou des sécrétions d'abeilles (**Nafea *et al.*, 2013**). Il en existe une vingtaine (acides acétique, citrique, formique, glutarique, fumarique, succinique, D-gluconique, oxalique...). L'acide gluconique est le plus dominant (**Keke et Cinkmanis, 2019**).

En effet, les acides organiques confèrent au miel les caractéristiques sensorielles et physico-chimiques, tout en servant d'indicateurs de fraîcheur et d'authenticité du miel. Il a été également rapporté que les acides organiques sont impliqués dans de nombreuses activités telles que les activités antibactériennes et antioxydantes du miel (**Keke et Cinkmanis, 2019**).

I.2.6. Minéraux

La quantité des minéraux présents dans le miel varie de 0,05 % dans les miels clairs à 1,5 % dans les miels foncés. Cette variation dépend de la composition du nectar, du miellat, du pollen ainsi que de la nature du sol (**Otmani, 2022**). Le potassium est le métal le plus abondant, suivi du magnésium, du sodium, du soufre et du phosphore. Ces substances assurent plusieurs fonctions dans les systèmes biologiques (**Lachman et al., 2006**).

Des recherches ont montré aussi l'existence de certains métaux lourds toxiques tels que l'arsenic, le plomb, le mercure et le cadmium dans le miel (**Da Silva et al., 2016**).

I.2.7. Vitamines

La teneur du miel en vitamines est relativement faible, voire à l'état de trace (**Otmani, 2022**). Les principales vitamines présentes sont essentiellement celles du complexe B provenant des grains de pollen en suspension, tels que les vitamines B1 (la thiamine), B2 (la riboflavine), B3 (l'acide nicotinique), B5 (l'acide pantothénique), B6 (la pyridoxine), B8 (la biotine) et B9 (l'acide folique) (**Da Silva et al., 2016**). Le miel renferme également la vitamine C qui provient du nectar mais il est dépourvu des vitamines liposolubles A et D (**Rossant, 2011**).

I.2.8. Caroténoïdes

Les caroténoïdes comprennent une classe des pigments lipophiles synthétisés dans les chloroplastes des végétaux et ils participent à la coloration du miel (**Ouchemoukh, 2012**). Ils sont des composants importants du système oxydatif, impliqués dans le piégeage de l'oxygène singulet (1O_2) et des radicaux peroxy (**Stahl et Sies, 2004**), notamment, dans la protection contre les rayons UV par l'absorption de l'énergie des radiations solaires. Le miel contient principalement l' α -carotène, le β -carotène, la zéaxanthine, la lutéine et le lycopène (**Ouchemoukh, 2012**).

I.2.9. Composés phénoliques

Les composés phénoliques, produits par des plantes, sont des métabolites secondaires qui proviennent du nectar des fleurs, du pollen, de la propolis et de la cire d'abeille (**Otmani, 2022**). Leur teneur varie de 5 à 1300 mg/ kg dépendant de l'origine botanique du nectar (**Oroian et Ropciuc, 2017**). En effet, ces substances contribuent au profile organoleptique du miel et possèdent quelques activités biologiques (antioxydantes, anti-inflammatoires, antifongiques...). Ces dernières confèrent aux composés la capacité de piéger des radicaux libres et d'empêcher la production des radicaux hydroxyles. Les polyphénols contenus dans le miel sont principalement les acides phénoliques et les flavonoïdes (**Ouchemoukh et al., 2017**).

I.2.9.1. Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des dérivés hydroxylés des acides benzoïque et cinnamique. Les acides hydroxycinnamiques sont les plus répandus tels que les acidescaféique et férulique (**Pandey et Rizvi, 2009**). Les acides salicylique et gallique sont les plus abondants des acides hydroxy-benzoïques (**Zaidi, 2019**).

En effet, le miel est essentiellement pourvu des acides caféique, abscissique, syringique, benzoïque, vanillique et gallique (**Pandey et Rizvi, 2009**).

I.2.9.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent plus de 50 % des composés phénoliques (**Da Silva et al., 2016**), ils sont caractérisés par une structure en hétérocycle oxygéné formé de deux cycles aromatiques liés entre eux par trois atomes de carbone. Ils contribuent à la coloration du miel et possèdent de nombreuses activités biologiques (antibactérienne, anti-inflammatoire, antiallergique et antithrombique...). Leur capacité à piéger les radicaux libres leur confère des propriétés antioxydantes (**Pandey et Rizvi, 2009**).

Communément, un miel de couleur foncé est un miel riche en flavonoïdes et il y a essentiellement la catéchine, la quercétine, la chryse, la galangine, le kaempférol et l'apigénine (**Rossant, 2011**).

I.2.10. Pollen

I.2.10.1. Définition

Le pollen constitue chez les plantes l'élément fécondant mâle, contenu dans les anthères des étamines. Il est sous forme de grain microscopique qui diffère en termes de forme, de couleur, de taille et de poids différent selon l'espèce végétale. Le pollen est riche en protéines avec une concentration qui varie de 20 à 40 %. Il contient environ 36 % de glucides, 11 % d'eau, 5 % de lipides, 3 % de sels minéraux (K, Mg, Ca, Fe...), ainsi que des pigments (caroténoïdes) et certaines vitamines (B, C, D, E, et A). Grâce à sa composition riche en substances bioactives, le pollen possède une série d'activités biologiques (antimicrobienne, anti-inflammatoire, anticancéreuse...). (Otmani, 2022).

I.2.10.2. Analyses polliniques

La méliissopalynologie est une science qui étudie les grains de pollen (Figure 01) dans le miel permettant ainsi d'identifier l'origine florale, les proportions des pollens des différentes espèces, l'origine géographique et des éventuelles fraudes (Ouchemoukh, 2012).

Lorsqu'une plante représente plus de 45 % de ses grains de pollen totaux, le nom de la plante est donné au miel (Bonté et Desmoulière, 2013 ; Mohdaly *et al.*, 2015).

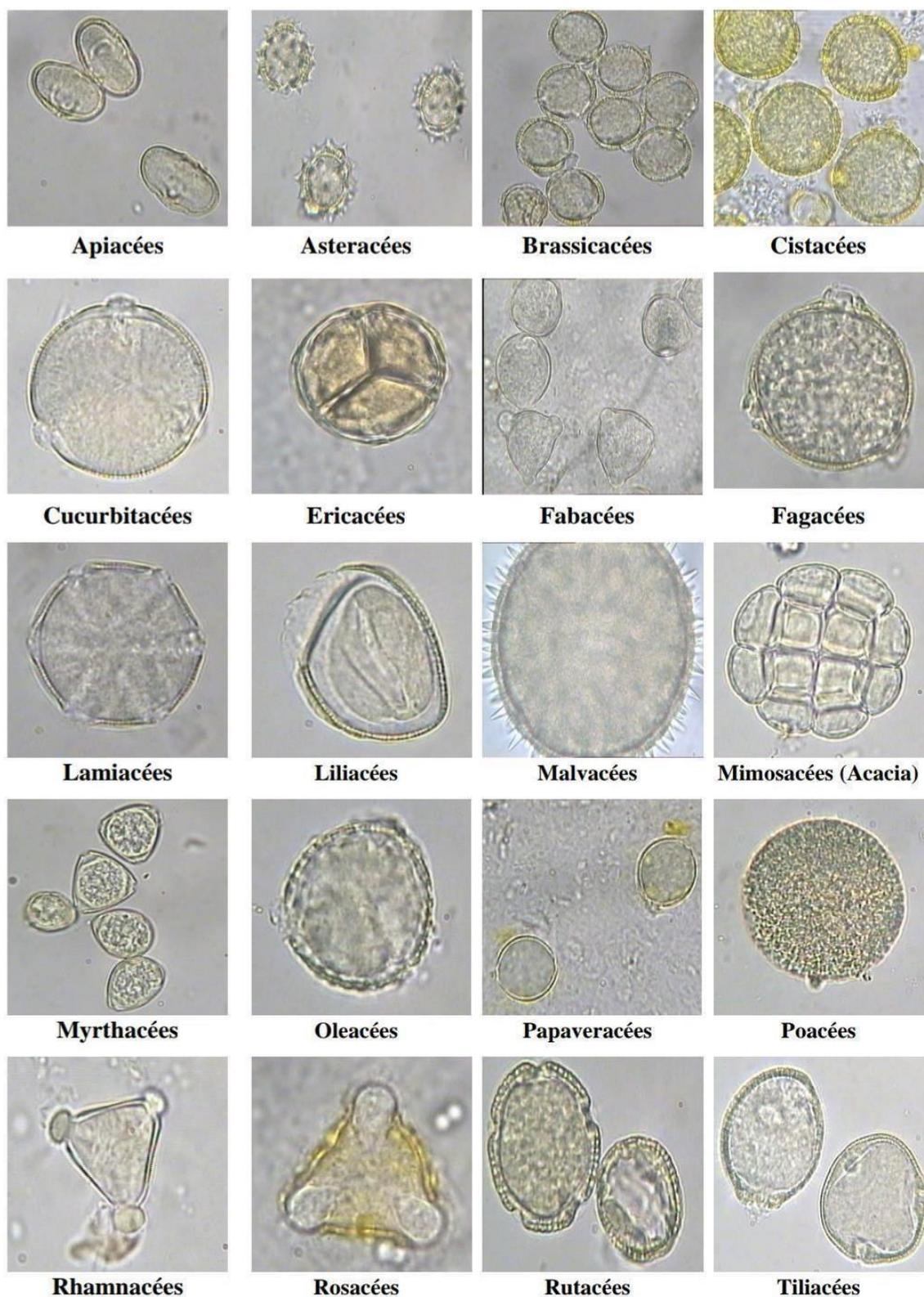


Figure 01 : Photos de grains de pollen présents dans le miel fourni par CETAM (Centre d'Études Techniques Apicoles de Moselle, France).

Chapitre II

Caractéristiques Physico-chimiques et activités biologiques du miel

Chapitre II. Caractéristiques physico-chimiques et propriétés biologiques du miel

I. Caractéristiques physico-chimiques

I.1. Indice de réfraction et humidité

Selon **bogdanov et al. (1999)**, l'indice de réfraction du miel est défini par le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide par la vitesse de la lumière dans ce milieu. Cette grandeur indique la teneur en humidité du miel et elle est mesurée par un réfractomètre (**Nair, 2014**). L'indice de réfraction des miels est généralement compris entre 1,5041 et 1,4915 pour une teneur en eau entre 13 et 18 %. Les valeurs de l'humidité sont représentés en fonction de l'indice de réfraction par la table de Chataway (**Achouri et al., 2021**).

I.2. Conductivité électrique

Les minéraux et les acides ionisables contenus dans le miel le rendent apte à conduire le courant électrique. En effet, la conductivité électrique est un paramètre de différenciation entre les miels de miellat ($> 0,8$ mS/cm) et les miels de nectar ($< 0,80$ mS/cm) et de classification des miels. Lorsqu'un miel est riche en substances minérales, sa conductivité électrique est donc plus élevée (**Ouchemoukh, 2012 ; Achouri et al., 2021**).

I.3. pH et acidité

Les miels sont généralement acides, ayant un pH qui varie de 3,5 à 5,5. Le pH des miels de nectar est compris entre 3,3 et 4,6 tandis que celui des miels de miellat oscille de 5 à 6, en raison de leur teneur riche en minéraux. Les conditions d'extraction et de stockage peuvent affecter ce paramètre (**Bogdanov et al., 2004 ; Achouri et al., 2021**).

L'acidité du miel est un critère de qualité qui est due à la présence des acides organiques, aromatiques et des ions inorganiques, dépendant généralement de la flore butinée, de la salivation des abeilles ainsi que des processus enzymatiques au cours de la maturation du miel (**Otmani, 2022**).

I.4. Couleur

Le miel est commercialisé en fonction de sa couleur qui est la première caractéristique physique perçue par les consommateurs. La couleur peut varier du blanc au noir passant par des teintes typiques possibles comme le jaune vif, le verdâtre ou le rougeâtre (**Achouri et al., 2021**).

La couleur du miel peut varier en fonction de divers facteurs comme la teneur en minéraux, en caroténoïdes, en acides phénoliques et en acides aminés (**Bogdanov *et al.*, 2004** ; **Achouri *et al.*, 2021**).

I.5. Hydroxyméthylfurfural (HMF)

Le 5-hydroxyméthylfurfural (HMF) est un aldéhyde cyclique issu de la déshydratation en milieu acide, du fructose et du glucose. Il est présent à l'état de traces dans les miels frais. Les températures élevées, le stockage de longue durée dans de mauvaises conditions ainsi que certaines propriétés du miel (pH et acidité totale) augmentent les niveaux de ce composé. La teneur en 5- HMF est présentée donc comme indicative de la qualité et de la fraîcheur du miel et elle ne doit pas dépasser 40 mg/kg (**Achouri *et al.*, 2019**).

I.6. Proline

La proline représente 50 à 85 % de la totalité des acides aminés présents dans le miel. Elle provient essentiellement des sécrétions salivaires de l'abeille lors de l'élaboration du miel et elle est considérée comme un critère de maturité et d'authentification du miel (**Da Silva *et al.*, 2016**).

Un miel est mature lorsque sa teneur en proline est supérieure à 183 mg/kg. Une teneur inférieure à celle-ci indique une immaturité ou une falsification en nourrissant les abeilles avec du sucre ou en ajoutant du sucre au miel (**Meda *et al.*, 2005**).

II. Propriétés biologiques

Le miel est un produit naturel riche en composés bioactifs qui lui confère plusieurs activités biologiques, à savoir les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique (**De la Rosa *et al.*, 2010**).

II.1. Activité antioxydante

II.1.1. Radicaux libres

Les radicaux libres sont des molécules ou des atomes instables possédant un électron non apparié sur leur couche externe. Cette propriété confère à ces éléments une grande réactivité, induisant des dommages au niveau des membranes cellulaires, des protéines et de l'ADN (acide désoxyribonucléique) (**Lobo *et al.*, 2010**).

Les radicaux libres peuvent oxyder ou réduire des composés chimiques afin de stabiliser leur orbitale externe. Ils sont essentiellement générés par des métabolismes de l'organisme ou à partir de sources exogènes telles que la pollution, les métaux lourds, les rayons X et les UV (St-Louis, 2011).

II.1.2. Stress oxydatif

Le stress oxydatif est un déséquilibre entre les pro-oxydants et les antioxydants, en faveur des premiers, résultant de l'augmentation de la production des pro-oxydants et/ou de la réduction des antioxydants (Figure 2) (Noichri, 2016). Il est connu comme étant un processus délétère, conduisant au développement de différentes pathologies telles que le cancer, le vieillissement, les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives... (Pham-Huy *et al.*, 2008).

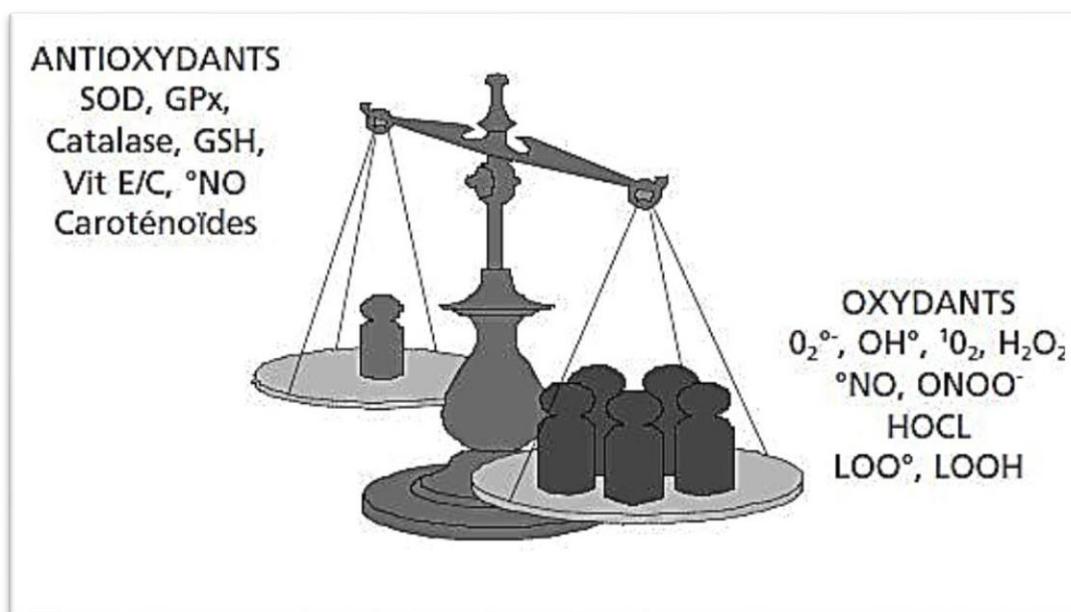


Figure 02 : Déséquilibre antioxydant /oxydant (Morena *et al.*, 2002).

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène ; **OH°** : Radical hydroxyle ; **HOCL** : Acide hypochloreux ; **LOOH** : Peroxyde lipidique ; **SOD** : Superoxyde dismutase ; **GSH** : Glutathion ; **¹O₂** : Anion superoxyde ; **NO°** : Monoxyde d'azote ; **ONOO⁻** : Anion peroxydrite ; **LOO°** : radical peroxyde ; **GPx** : Glutathion peroxydase ; **Vit E/C** : Vitamine E/C.

II.1.3. Activité antioxydante du miel

Le miel est une série de composants aux propriétés antioxydantes, ayant le pouvoir de supprimer, retarder ou empêcher les phénomènes d'oxydation et ses conséquences. Les antioxydants présents dans le miel sont à la fois enzymatiques tels que la catalase, la peroxydase et la glucose-oxydase et non-enzymatiques tels que les composés phénoliques, les caroténoïdes et les acides organiques à savoir l'acide ascorbique (Linkon *et al.*, 2015 ; Özcan et Al Juhaimi, 2016).

Selon **Del-Rio et al. (2021)** et **Otmani (2022)**, les antioxydants primaires ou anti-radicalaires (type1) tels que les composés phénoliques agissent comme inhibiteurs de la peroxydation lipidique en transférant de l'hydrogène (H^+) vers des radicaux peroxyloxy ($LOO\bullet$) afin de générer des radicaux plus stables ($LOOH$).

Genot et al. (2004) ont rapporté que les antioxydants secondaires ou préventifs (type 2) tels que les acides organiques et protéines, ont la capacité de chélater les ions métalliques réduisant ainsi l'effet pro-oxydant des ions de cuivre et de fer. Certains d'autres agissent comme piègeurs d'oxygène singulet (1O_2) et protègent contre les rayons UV, c'est le cas de β -carotène et le lycopène. L'acide ascorbique, quant à lui, a la capacité de piéger les radicaux hydroxyloxy, peroxyloxy et superoxyloxy.

Ouchemoukh (2012) a indiqué que les enzymes antioxydants peuvent intervenir par différents mécanismes. La catalase est impliquée dans la réaction de conversion du peroxyde d'hydrogène en oxygène et en eau. La superoxyde dismutase (SOD) catalyse la dismutation de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène tandis que la glutathion peroxydase réduit le peroxyde d'hydrogène et les hydroperoxydes lipidiques.

L'activité antioxydante du miel dépend essentiellement de son origine géographique et botanique et de la nature quantitative et qualitative des différents antioxydants qu'il contient (**Chua et al., 2013**). En effet, elle est directement liée à la teneur en composés phénoliques. Par conséquent, un miel foncé a une teneur plus élevée en ces composés et donc une plus grande capacité antioxydante (**Dzukan et al., 2018**).

II.2. Activité anti-brunissement enzymatique

II.2.1. Brunissement enzymatique

Le brunissement enzymatique est un phénomène qui peut avoir lieu chez les fruits et légumes, suite à un endommagement mécanique lors d'un traitement post récolte (épluchage et découpe) ou technologique (congélation-décongélation et irradiations) ou voir naturellement tel que les infections fongiques. Il est à l'origine de la formation des pigments bruns au niveau tissulaire des végétaux, souvent accompagnée d'une dégradation du goût et de l'odeur et par conséquent, une perte des valeurs nutritionnelles ainsi que des modifications fonctionnelles et organoleptiques (**Rigal, 2001**).

Le processus du brunissement enzymatique résulte de l'oxydation des composés phénoliques endogènes, catalysés par une enzyme nommée la polyphénoloxydase (PPO) en présence de l'oxygène moléculaire, aboutissant à la génération des quinones comme premiers produits de la réaction enzymatique. Ces produits se condensent suivant une réaction non enzymatique afin de générer des polymères bruns appelés mélanines. Une autre enzyme est également impliquée dans ce mécanisme mais à des degrés moindres, c'est la peroxydase (POD) (**Rigal, 2001**).

Afin d'initier cette réaction enzymatique, les composés phénoliques contenus dans les vacuoles se mettent en contact avec la PPO qui se trouve au niveau des parois, après que la décompartimentation cellulaire ait lieu (Figure 3) (**Rigal, 2001**).

Une variété de techniques physiques et/ou chimiques sont relancées pour prévenir le brunissement enzymatique, exploitant chacune un aspect biochimique différent. En général, les méthodes physiques reposent sur l'utilisation d'un traitement thermique (blanchiment), la prévention de l'exposition à l'oxygène (films d'emballage comestibles et immersion dans des solutions de sel et de sucre) et l'abaissement de la température (congélation et refroidissement). Les procédés chimiques impliquent l'addition d'agents réducteurs (sulfites), agents acidifiants (acide ascorbique et glutathion), ainsi que des agents chélateurs de cuivre tels que l'acide citrique. En effet, les traitements thermiques sont responsables de la perte des qualités organoleptiques du produit (**Rigal, 2001**). De plus, les divers produits chimiques sont toxiques et peuvent entraîner des pathologies mortelles. Par conséquent, les scientifiques se sont mis à la recherche de nouvelles alternatives naturelles à ces inhibiteurs, en utilisant des extraits de plantes médicinales ainsi que le miel, connu pour ses propriétés conservatrices et antioxydantes (**Sakuma et al., 1999 ; Chen et al., 2000**).

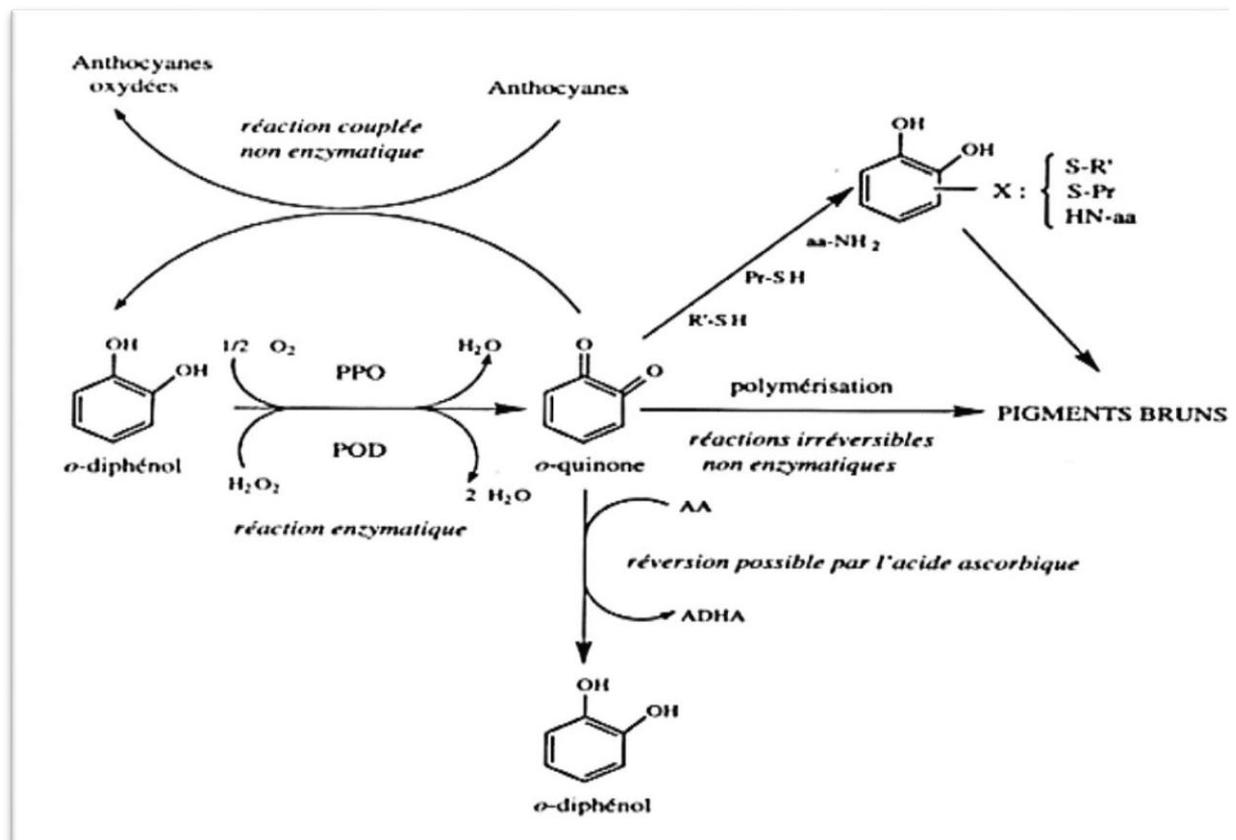


Figure 03: Réactions enzymatiques du brunissement (Macheix *et al.*, 1990).

PPO : Polyphénol oxydase ; POD : Peroxydase ; ADHA : Acide ascorbique ; AA : Acide ascorbique actif.

II.2.2. Enzymes impliquées dans le brunissement enzymatique

II.2.2.1. Polyphénol oxydase (PPO)

Les polyphénols oxydases sont des oxydoréductases qui catalysent les composés phénoliques endogènes en présence de l'oxygène moléculaire (Daas Amiour, 2017). Elles sont divisées en plusieurs sous-groupes :

- Les laccases, impliquées dans l'oxydation aussi bien d'*o*- que de *p*- diphénol, générant ainsi un radical semi-quinone. Cette réaction s'accompagne par la réduction de l'oxygène en eau (Reinhammar et Maimstrom, 1981).
- Les monophénoloxydases ou monooxygénases sont impliquées dans l'hydroxylation des monophénols en *o*-diphénols (Gouzi, 2015).
- Les catécholases ou catécholoxydases catalysent l'oxydation des substrats *o*-diphénoliques en *o*-quinones en présence d'oxygène (Lerman, 1953).

La PPO est une métaloenzyme qui possède deux atomes de cuivre. Sa masse moléculaire est comprise entre 12 et 400 KDa. Son site actif est hautement conservé et il est composé de deux atomes de cuivre coordonnés par 6 histidines et un résidu cystéine (**Mayer, 2006**).

II.2.2.2. Peroxydase (POD)

La peroxydase est une enzyme impliquée principalement dans le brunissement enzymatique des végétaux mais elle intervient également lors des attaques par les pathogènes. Elle est connue pour être résistante à la chaleur. C'est une enzyme à hème, contenant le groupe de la protoporphyrine ferrique IX comprenant un atome de fer au sein de son site actif (**Delannoy et al., 2004**).

La POD catalyse l'oxydation des substrats donneurs d'hydrogènes (composés phénoliques, acides ascorbiques...) en présence du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en le réduisant en molécules d'eau (H_2O), suivant un mécanisme binaire ping-pong. Suite à la formation du complexe enzyme avec le premier substrat (H_2O_2), le premier produit (H_2O) est libéré, puis le second substrat (composé phénolique) se lie à son tour à l'enzyme (**Daas Amiour, 2017**).

Les plantes sont pourvues des peroxydases de classe I et III (**Martinez, 1997**). Celles de classe III sont présentes au niveau des parois tandis que les peroxydases de classe I se localisent dans les mitochondries et les vacuoles (**Daas Amiour, 2017**).

II.2.3. Activité anti-brunissement enzymatique du miel

Le brunissement enzymatique recherché au cours de transformations technologiques de certains produits tels que le thé, le cidre, les raisins secs, les pruneaux ou les dattes, peut causer un problème important pour les fruits et les légumes. Les méthodes de prévention du brunissement ont fait l'objet de nombreux travaux, en raison des problèmes toxicologiques posés par l'emploi des sulfites (**Taylor et al., 1986**).

Plusieurs travaux ont montré que le miel est un agent d'anti-brunissement enzymatique :

Oszmianski et Lee (1990) ont déduit que le miel possède un pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique des tranches de pomme. Son efficacité a été attribuée à un peptide de 600 Da en se comportant comme un inhibiteur non-compétitif de la PPO en chélatant le cuivre essentiel au site actif de cette enzyme tout en formant des complexes stables.

Chen et al. (1998) ont démontré que l'addition de différents échantillons de miel à des broyats de pomme de terre entraîne une réduction de l'activité PPO environ 50 % et une diminution de l'indice de brunissement.

Selon **Chen et al. (2000)**, les miels ayant une teneur élevée en antioxydants tels que l'acide ascorbique et les flavonoïdes ont une meilleure capacité anti-brunissement.

De la Rosa et al. (2010) ont rapporté qu'un extrait de miel riche en flavonoïdes a la capacité de prévenir le brunissement enzymatique du jus de pomme frais. Il agit comme un inhibiteur non-compétitif de la PPO, présentant une affinité de liaison à la fois pour l'enzyme libre et pour l'enzyme complexé au substrat.

Chapitre III

Composition chimique de certains végétaux

Chapitre III : Composition chimique de certains végétaux

Certains végétaux ont fait l'objet de matériel d'étude dans ce mémoire. Par conséquent, leur composition chimique est donnée dans ce chapitre.

I.1. Aubergine

L'aubergine (*Solanum melongena L.*) est une plante dicotylédone de la famille des *Solanaceae* cultivée pour son légume-fruit. Le terme aubergine désigne la plante fruit. La production mondiale d'aubergine représente 54 millions de tonnes en 2021 tandis que la production nationale représente environ 37 % de l'approvisionnement du marché (Alla *et al.*, 2021).

L'aubergine se caractérise par sa forte teneur en eau et en fibres, mais elle présente une faible concentration en vitamines et en minéraux (Mandal, 2010).

Les aubergines renferment également les acides phénoliques (Mandal, 2010) à savoir les acides caféique et chlorogénique. Ce dernier est l'acide majoritaire dans les fruits d'aubergine et il possède les propriétés anticancéreuses, antimicrobiennes, antivirales et inhibe le LDL (lipoprotéine de faible densité) (Fenster, 2012). L'acide caféique est impliqué dans la prévention de l'oxydation des lipides grâce aux groupes hydroxyles phénoliques -OH qu'il contient (Marinova *et al.*, 2009).

Les fruits des aubergines frais contiennent une faible concentration d'acide ascorbique (vitamine C). Ainsi, la présence d'autres polyphénols est probablement responsable du pouvoir antioxydant des aubergines (Terry, 2011).

La pulpe d'aubergine contient plusieurs flavonols qui ont été identifiés tels que la quercétine-3-glucoside, la quercétine-3-rhamnoside et la myricétine-3-galactoside. Ces derniers sont présents sous forme de trace (Singh *et al.*, 2009).

Les anthocyanes qui sont responsables de la coloration des plantes, détiennent les propriétés antivirales, antiallergiques (Chatterjee *et al.*, 2013), anti-inflammatoires, antibactériennes (Li *et al.*, 2012) et antitumorales. Ils jouent également un rôle protecteur contre les maladies cardiovasculaires, inhibent la peroxydation lipidique et ont la capacité de piéger les radicaux libres (Kong *et al.*, 2003).

I.2. Pomme de terre

La pomme de terre ou patate est un tubercule comestible, produit par l'espèce *Solanum tuberosum*, appartenant à la famille des solanacées. Une production mondiale de pommes de terre record de 376,1 t en 2021. L'Algérie arrive en tête des pays producteurs (**Delaplace et al., 2008**).

Les pommes de terre renferment principalement des macronutriments, à savoir les glucides, dont le composant prédominant est l'amidon (**Noda et al., 2007**). Elles contiennent également des sucres, le sucrose étant le principal diholoside et le glucose et le fructose les deux principaux oses. Une concentration élevée en sucres confère aux produits frais une coloration noire et un goût amer (**Kumaret al., 2004**).

La pomme de terre présente une faible concentration en protéines et en lipides. Malgré que les quantités des protéines et des lipides sont négligeables dans le cadre du régime alimentaire mais ils contribuent aux qualités gustatives (**Woolfe, 1987**).

Elle contient des minéraux. Le potassium étant le plus abondant et il est impliqué dans le bon fonctionnement du système nerveux, la régulation de l'hypertension et la réduction du risque d'AVC. La pomme de terre possède également le phosphore, le fer et le zinc tandis que le calcium est présent en quantités infimes (**Palta, 1996**).

La vitamine C ainsi que d'autres vitamines hydrosolubles, telles que la thiamine et la vitamine B6, sont présentes en concentrations importantes. La vitamine liposoluble E se trouve à l'état de trace (**Bates, 1997**).

Parmi les antioxydants naturels contenus dans la pomme de terre, les caroténoïdes et les polyphénols. La concentration en caroténoïdes des tubercules de pomme de terre est liée à la couleur de la chaire. Ainsi, une chaire jaune possède des concentrations élevées en caroténoïdes totaux en raison de la présence de zéaxanthine. Contrairement à une chaire crème ayant des concentrations faibles, ceci est due à la présence de lutéine et de β -carotène (**Hartmann et Buning-Pfaue, 1998 ; Burgos et al., 2009**). L'acide chlorogénique est l'acide phénolique le plus abondant dans la pomme de terre. Les acide caféique et quinique sont présents en quantités plus faibles (**Andre et al., 2007**).

I.3. Pomme

La pomme est un fruit comestible, produit par un pommier et qui est souvent considérée comme un « fruit de santé » en raison de sa composition variée et son faible apport calorique. Les pommiers sont cultivés à travers le monde et représentent l'espèce la plus cultivée du genre *Malus*. Dans le monde, 87.236.221 tonnes de pommes sont produites par an (**Turk, 2010**).

Les pommes mûres sont riches en eau, représentant environ 85 % de leur contenu. Elles renferment 12 à 14 % de glucides qui se divisent en sucres monosaccharides (glucose, fructose), oligosaccharides (saccharose) et en polysaccharides tels que l'amidon qui se trouve en faible quantité ou totalement absent dans la pomme à maturité (**Turk, 2010**).

Les acides organiques de la pomme sont constitués en presque totalité par l'acide malique. Il est à l'origine du goût amer du fruit. L'acide citrique y existe également (**Persic et al., 2017**).

La pomme est riche en divers antioxydants, parmi lesquels l'acide ascorbique (vitamine C) qui se distingue comme l'un des plus puissants. En plus de cela, elle contient certaines autres vitamines dont les teneurs sont variables. De plus, la pomme est riche en oligoéléments tels que le potassium, le magnésium, le phosphore, le fer et le cuivre (**Turk, 2010**).

La teneur du fruit en composés phénoliques varie de 0,3 à 3 %. Celle-ci croît le long de la période de maturation et de conservation. Les polyphénols sont classés en acides phénoliques et en flavonoïdes. En effet, leur répartition est non homogène, la peau est plus riche en polyphénols que la chair. Parmi les acides phénoliques, il existe l'acide caféoylquinique est l'acide hydroxycinnamique, ce dernier étant le plus abondant. Les flavonoïdes sont répartis en trois catégories distinctes ; les flavan-3-ols, les dihydrochalcones et les flavonols (**Turk, 2010**).

I.4. Fraise

La fraise est un petit fruit rouge issu des fraisiers, espèces de plantes herbacées appartenant au genre *Fragaria* (famille des Rosacées), dont plusieurs variétés sont cultivées. La fraise est, en terme botanique, un faux fruit, les vrais fruits étant les petits akènes qui pointent à sa surface (**Nakro et al., 2020**).

Il se produit 136 kilos de fraises par seconde dans le monde, soit plus de 4,3 millions de tonnes de fraises par an. A noter que les principales wilayas productrices de la fraise en Algérie sont Skikda, Jijel et Tipaza (**Hummer et al., 2023**).

La teneur en eau dans la fraise mûre est estimée à 60,9 % (**Raj et al., 2022**). La teneur totale en sucres varie d'un cultivar à un autre. Elle renferme trois sucres essentiels, à savoir le fructose, le glucose et le saccharose (**Seeram, 2007**).

Les acides organiques présents sont les acides citrique et malique. Leur teneur totale ne dépasse généralement pas 3 %. Elle varie selon le cultivar, les conditions météorologiques et régionales. Ces acides sont à l'origine de l'acidité du fruit (**Seeram, 2007**).

La fraise est une source riche en vitamine C, un antioxydant important qui renforce le système immunitaire. De plus, elle renferme plusieurs composés phénoliques tels que les ellagitanins, des polyphénols transformés en acide ellagique, possédant des propriétés anticancéreuses ; les anthocyanes, des pigments hydrosolubles jouant le rôle d'un antioxydant ; Les flavonols, essentiellement la quercétine et le kaempférol ainsi que d'autres composés (**Seeram, 2007**).

Partie II

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

Le travail effectué a pour finalité la comparaison entre des miels locaux de la région de Bejaia en effectuant des analyses polliniques, physico-chimiques et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique sur des tranches de pommes de terre, d'aubergine et sur des jus de pomme et de fraise.

I. Echantillons

I.1. Echantillons de miel

La présente étude a porté sur cinq échantillons de miels locaux de l'année 2022, provenant de différentes régions de la wilaya de Bejaia (Akbou, Sidi Aich, Amizour, Bejaia ville et Aokas) (Tableau I).

Les échantillons sont conservés à température ambiante, à l'abri de la lumière et l'humidité. La figure 4 montre la photographie des miels analysés.

Tableau I : Caractéristiques des échantillons de miels analysés.

Echantillons	Consistance	Région de la collecte	Couleur
M1	Cristallisé	Akbou	Marron
M2	Cristallisé	Sidi Aich	Marron foncé
M3	Cristallisé	Amizour	Jaune
M4	Cristallisé	Bejaia ville	Marron foncé
M5	Semi-cristallisé	Aokas	Jaune clair



Figure 04 : Photo originale des miels analysés.

I.2. Echantillons de fruits et légumes

Des aubergines, des pommes de terre, des fraises et des pommes (Figure 5 et 6) sont achetés d'une supérette de la ville de Bejaia et utilisés dans le laboratoire pour l'étude de l'activité anti-brunissement enzymatique. Ces fruits et légumes possèdent presque le même poids.

Les aubergines et les pommes (Figure 5) sont nettoyées et coupées en tranches, tout en ayant un diamètre presque identique (environ 5 cm).



Figure 05 : Photos originales des aubergines et des pommes de terre analysées.

En revanche, les fraises et les pommes (Figure 6) sont utilisées sous forme d'un jus après avoir été bien lavées et nettoyées puis broyées indépendamment à l'aide d'un mixeur Moulinex jusqu'à l'obtention d'un jus.



Figure 06 : Photos originales des pommes et des fraises analysées.

Le choix de ce matériel végétal réside dans leur disponibilité au moment de la réalisation de ce travail et il est connu pour son brunissement rapide.

II. Analyses polliniques

L'analyse pollinique est une méthode scientifique efficace qui consiste à une identification qualitative et quantitative des grains de pollen présents dans le miel à l'aide d'un microscope, en se référant à une base de données. Cet examen donne des informations sur l'origine botanique et géographique du miel (**Louveaux *et al.*, 1978**).

L'analyse pollinique est réalisée selon la méthode de **Louveaux *et al.* (1978)**. Une solution de 25 % (m/v) est préparée, puis homogénéisée et centrifugée à 4500 tours / min pendant 10 min. Le surnageant obtenu est écarté, 10 ml d'eau distillée sont additionnés au culot, et une deuxième centrifugation est réalisée dans les mêmes conditions. Après récupération du culot un volume de 100 µl est étalé sur une lame en verre, celle-ci est séchée puis recouverte d'une lamelle. L'observation est effectuée à l'aide d'un microscope photonique au grossissement x 40. La banque de données numériques des grains de pollen du CETAM (Centre d'Etudes Techniques Apicoles de Moselle, France) est utilisée pour identifier les pollens présents dans les lames recouvertes.

III. Analyses physico-chimiques

III.1. Degré brix

Le degré brix désigne le taux de sucres (en g) contenus dans 100 g de miel refroidi à 20 °C (**Dailly, 2008**). Sa détermination est réalisée selon la méthode de réfractométrie décrite par **Bogdanov *et al.* (1997)**.

Afin d'effectuer la mesure, un réfractomètre Abbe est d'abord étalonné avec de l'eau distillée et quelques gouttes du miel liquide sont ensuite étalées en couche mince sur le prisme de l'appareil. La lecture est faite à travers l'oculaire du réfractomètre après réglage. La limite de séparation des deux zones claire et obscure apparaît dans le champ de vision. Cette ligne coupe deux échelles verticales graduées directement en pourcentage de brix et en indice de réfraction, respectivement.

III.2. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH mesure la concentration en ions hydrogène d'une solution à l'aide d'un pH-mètre. Celui-ci est constitué d'une sonde qui renferme deux électrodes, une électrode de référence et une électrode en verre indicatrice de pH, liée au pH de la solution (**Bogdanov *et al.*, 1997**).

Le pH est mesuré selon la méthode rapportée par **Bogdanov *et al.* (1997)**. L'électrode du pH-mètre est d'abord rincée par l'eau distillée, puis émergée dans la solution de miel préparée à 10 % (p/v). La valeur du pH est ensuite lue sur l'écran de l'appareil.

III.3. Couleur

La mesure de l'intensité de la couleur des miels est effectuée comme suit : une quantité de 1g est dissoute dans 4 ml d'eau distillée puis homogénéisée à l'aide d'un agitateur magnétique. La lecture de l'absorbance est faite à 450 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (Bogdanov *et al.*, 1997).

III.4. Dosage des protéines

Bradford (1976) a développé une méthode colorimétrique, basée sur l'absorbance du bleu de Coomassie G250. Ce dernier se fixe sur les groupements NH_3^+ des acides aminés (arginine, tyrosine, tryptophane, histidine et phénylalanine) constitutifs des protéines, donnant une coloration bleue au milieu réactionnel.

Dans des tubes à essai, un volume de 0,1 ml de solution de miel (50 %, v/v) est mélangé avec 5 ml de réactif de Bradford (le blanc contient 100 μl d'eau distillée au lieu de 100 μl de solution de miel) et incubés pendant 2 min. L'absorbance est lue à 595 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent de sérum albumine bovine (BSA) par 100 g de miel en se référant à la courbe d'étalonnage de BSA (Annexe 1, figure 1) (Azeredo *et al.*, 2003). ($y = 1,073x - 0,0027$; $R^2 = 0,9974$).

IV. Dosage des antioxydants

IV.1. Polyphénols

Le dosage des polyphénols a été déterminé selon la méthode colorimétrique utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, constitué de complexes d'acides phosphotungstiques ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et phosphomolybdiques ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$) de couleur jaune. Ce réactif est réduit, lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène où l'intensité de la couleur est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans le miel (Saffidine, 2015).

Le protocole utilisé est celui décrit par Naithani *et al.* (2006). Dans des tubes à essai, 100 μl de la solution de miel (0,1 g/ml), 100 μl du réactif de Folin-Ciocalteu (50 %, v/v) et 2 ml de la solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3 , 2 %) sont additionnés. Le blanc ne contenant pas la solution du miel, est préparé avec 100 μl d'eau distillée. L'absorbance est lue à 750 nm après 30 min à l'obscurité. Une courbe d'étalonnage d'acide gallique est réalisée en parallèle et les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100 grammes de miel (mg GAE/100g) (Annexe 1, figure 2) ($y = 2,605x + 0,0282$; $R^2 = 0,9975$).

IV.2. Flavonoïdes

La teneur en flavonoïde de miel est déterminée suivant la méthode établie par **Al et al. (2009)**. Des volumes de 300 µl de nitrite de sodium (5 %, m/v) et 4 ml d'eau distillée sont ajoutés à 1 ml de solution de miel (50 %, m/v). Après 5 min d'incubation, un volume de 300 µl de chlorure d'aluminium (10 %, m/v) est additionné. Le mélange obtenu est mis en contact avec 2 ml d'hydroxyde de sodium (1 M) après 6 min d'incubation. L'absorbance est mesurée à une longueur de 510 nm. La quercétine est utilisée comme standard de référence pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Les concentrations des flavonoïdes sont exprimées en mg équivalent de quercétine par 100 g d'échantillon de miel (Annexe 1, figure 3) ($y = 0,368x + 0,0014$; $R^2 = 0,9867$).

V. Activité antioxydante

V.1. Activité anti-radicalaire

V.1.1. Test du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

La molécule de DPPH est un radical stable de couleur violacée. Il est réduit lorsqu'il est en contact avec des antioxydants, suite à un transfert d'un atome d'hydrogène, induisant ainsi la formation de la forme non radicalaire DPPH₂. Cette réaction engendre une diminution de l'intensité de la couleur (**Ghnimi, 2015**).

L'activité antiradicalaire est déterminée selon la méthode décrite par **Meda et al. (2005)**. Un volume de 500 µl de chaque solution aqueuse de miel (2,5 %, m/v) est additionné à 1 ml de solution éthanolique de DPPH (6×10^{-5} M). Deux tubes, un pour le blanc et un autre pour le contrôle, sont préparés. Le blanc contient 1 ml d'éthanol tandis que le contrôle renferme 1 ml de la solution DPPH. Le mélange est incubé pendant 15 min, la lecture de l'absorbance est faite à 517 nm. Le pourcentage de réduction est donné selon la formule suivante :

$$\text{Activité anti-radicalaire (\%)} = [(A_C - A_E / A_C)] \times 100$$

A_C : Absorbance du contrôle.

A_E : Absorbance de l'échantillon.

V.2. Pouvoir réducteur

Le test du pouvoir réducteur des échantillons du miel consiste à la réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) sous l'action des antioxydants, dans un milieu acide et en présence de l'acide trichloracétique (TCA) et un agent chromogène (hexanocyanoferrate de potassium). La forme réduite donne une couleur verte dont l'intensité est proportionnelle au pouvoir réducteur (**Gülcin *et al.*, 2005**).

Le pouvoir réducteur est déterminé selon la méthode décrite par **Berreta *et al.* (2005)**. Un volume de 500 μl de la solution du miel (2,5 %, m/v) a été ajouté et homogénéisé avec un volume de 500 μl de tampon phosphate (0,2 M ; pH = 6,6) et 500 μl de l'hexanocyanoferrate de potassium (1 %, p/v). Le mélange a été incubé au bain marie à 50°C pendant 20 min, ensuite 500 μl de trichloroacetate (10 %, p/v) a été ajouté pour stopper la réaction. Un volume de 100 μl de chlorure ferrique (FeCl_3 , 1 %) est ajouté à un volume de 500 μl prélevé de ce mélange puis dilué avec 800 μl d'eau distillée. Après 10 min, la lecture de l'absorbance a été mesurée à 700 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par 100 g d'échantillon de miel (mg EAG/100 g) en se référant à la courbe standard d'acide gallique (Annexe 1, figure 4) ($y = 4,4225 x - 0,0011$; $R^2 = 0,9971$).

VI. Activités inhibitrices du brunissement enzymatique

VI.1. Couleur et unité de brunissement (UB)

L'unité de brunissement consiste à mesurer la variation de la couleur (DO) de la matière végétale dans le temps (nécessite un suivi régulier dans le temps). Il indique l'évolution du brunissement durant la période d'incubation (**Oszmianski et Lee, 1990**).

VI.1.1. Tranches

La capacité de miel à réduire le brunissement enzymatique est déterminé par une méthode rapportée par **Oszmianski et Lee (1990)**. Les tranches d'aubergine et de pomme de terre de 5 cm de diamètre sont préparées puis immergées dans une solution de miel (10 %, p/v) tandis que les tranches témoins sont plongées dans de l'eau distillée. Après 30 min, toutes les tranches sont essuyées et placées dans des boîtes de pétri. Les opérations sont réalisées à température ambiante et à 4 °C. Afin de mesurer l'absorbance, une masse de 1g des tranches traitées est pesée et un volume de 4 ml d'eau distillée est ajouté. Le mélange est centrifugé à 1200 tours pendant 5 min. La densité optique est faite à 420 nm durant la période de stockage. Les résultats sont exprimés en unité de brunissement qui représente 0,01 d'absorbance.

VI.1.2. Jus

Le protocole effectué est celui d'**Oszmianski et Lee (1990)**. Les pommes et les fraises sont lavées et nettoyées et les pépins de la pomme sont soigneusement retirés. Une quantité de 50 g de ces fruits est pesée puis broyée indépendamment à l'aide d'un mixeur Moulinex jusqu'à l'obtention d'un jus. Un volume de 100 µl de la solution de miel (10 %, p/v) est ajouté puis le tout est versé dans des tubes à essai. Le tube blanc contient l'extrait de jus et 100 µl d'eau distillée. Le mélange est centrifugé à 1200 tours pendant 5 min et le surnageant a été récolté et placé à nouveau dans des tubes à essai. L'observation s'effectue à 4 °C durant : t₀, t_{7j} et t_{30j}. Pour mesurer la densité optique à 420 nm, un volume de 1 ml du surnageant obtenu est mélangé avec 4 ml d'eau distillée puis homogénéisé. Les résultats sont exprimés en unité de brunissement.

VI.2. Indice de brunissement (IB)

L'indice de brunissement consiste à mesurer la variation de la couleur entre deux temps uniquement (le temps initial (T₀) et le temps final (T_f)) (**Supapvanich et al., 2011**).

L'indice de brunissement est déterminé selon la méthode décrite par **Supapvanich et al. (2011)**. Un gramme de légume traité avec la solution de miel est homogénéisé avec 50 ml d'éthanol à 65 % (v/v), puis agités à température ambiante pendant 1 heure. L'échantillon d'extraction est soumis à une centrifugation à 4500 rpm pendant 10 min. La densité optique est mesurée à 420 nm (DO₄₂₀) et l'indice de brunissement est exprimé en DO₄₂₀ pour 100 g de poids frais (DO₄₂₀/ 100 g PF).

VI.3. Dosage des enzymes du brunissement enzymatique

La polyphénoloxydase (PPO) et la peroxydase (POD) sont deux enzymes impliquées majoritairement dans le brunissement enzymatique des produits. Avant de doser leurs activités, une extraction enzymatique est réalisée pour l'analyse de la polyphénoloxydase (PPO) et de la peroxydase (POD) (**Daas Amiour, 2017**).

VI.3.1. Extraction enzymatique

Une quantité de 50 g de légumes est homogénéisée dans 100 ml de tampon de phosphate (0,1 M à pH 6,8) pré-réfrigéré (4 °C) puis 2 % (m/v) de Polyvinylpyrrolidone (PVP) est ajouté comme agent protecteur dans l'extraction de la PPO, en raison de sa capacité à éliminer les composés phénoliques de l'extrait enzymatique. La suspension est ensuite centrifugée à 7 000 rpm à 4 °C pendant 15 minutes. Le surnageant recueilli est centrifugé à nouveau à 7 000 rpm à 4 °C pendant 20 min. Le surnageant obtenu est stocké à 4 °C et il représente l'extrait enzymatique (**Ng et Wong, 2014**).

Des volumes égaux de jus et de tampon phosphate (0,05 M, pH 7) sont mélangés. La solution obtenue est centrifugée par la suite à 500 g, 4 °C pendant 10 min puis 2 % (m/v) de Polyvinylpyrrolidone (PVP) est ajouté. Une deuxième centrifugation est effectuée pour le surnageant (De la Rosa *et al.*, 2011).

VI.3.2. Activité de Polyphénol oxydase (PPO)

L'activité de la PPO est réalisée selon le protocole décrit par Baltacioglu *et al.* (2015). Le mélange réactionnel est composé de 0,4 ml d'extraits enzymatiques, de 2 ml de tampon phosphate (100 mM ; pH = 6,8) et de 1 ml de solution de catéchol (10 mM). L'activité enzymatique est mesurée rapidement à 410 nm au spectrophotomètre pendant 1 min à intervalle de 10s. L'activité de la PPO est exprimée en U g⁻¹ dans le cas des tranches et en U ml⁻¹ dans le cas des jus. U= unité enzymatique correspond à μmol/ min.

VI.3.3. Activité de Peroxydase (POD)

L'activité de la peroxydase (POD) est analysée suivant la méthode établie par Das *et al.* (2011). Le mélange réactionnel est préparé en mélangeant un volume de 0,4 ml d'extraits enzymatiques et de 2,6 ml de tampon phosphate (100 mM ; pH = 6,8) avec un volume de 0,56 ml de gaïacol (0,025 mol. L⁻¹) et 0,38 ml de H₂O₂ (0,5 mol. L⁻¹). L'activité enzymatique est mesurée par l'augmentation de l'absorbance à 470 nm. L'activité POD est exprimée en U g⁻¹ dans le cas des tranches et en U ml⁻¹ dans le cas des jus.

Les activités de PPO et POD sont données selon la formule suivante :

$$\mathbf{Act} = \frac{\mathbf{AA} \cdot \mathbf{V}_t}{\mathbf{\epsilon} \cdot \mathbf{At} \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{V}_e \cdot \mathbf{p}}$$

Act : Activité enzymatique en μmole/ min/ mg de protéines.

ε : Coefficient d'extinction linéique molaire en M.

AA : Différence de l'absorbance.

V_e : Volume total du mélange réactionnel en ml.

V_t : Volume de l'extrait enzymatique en ml.

L : Largeur de la cuve en cm.

P : Poids de l'échantillon (g) ou le volume (ml).

VII. Analyses statistiques

Trois essais sont effectués pour la plupart des tests. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart-type. Le programme Microsoft Office Excel 2007 est utilisé pour calculer les moyennes et les écart-types ainsi que pour tracer les histogrammes.

Le test ANOVA (analyse de la variance à un seul critère de classification) et la matrice de corrélation sont appliquées sur les résultats de cette étude à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1.2. Ces résultats sont classés par ordre décroissant : $a > b > c > d > e > f$.

L'analyse en composantes principales (ACP) est réalisée pour étudier, dans un espace de dimensions plus petites, la similitude entre les différents échantillons de miels ainsi que les liens existants entre les variables.

Partie III

Résultats et discussion

Résultats et Discussion

I. Analyses polliniques

La méliissopalynologie est une étude qualitative et quantitative des grains de pollen présents dans le miel, permettant l'identification de son origine botanique et géographique, sa classification et la détection des éventuelles fraudes ou la présence de sucre inverti (**Sabo et al., 2011**).

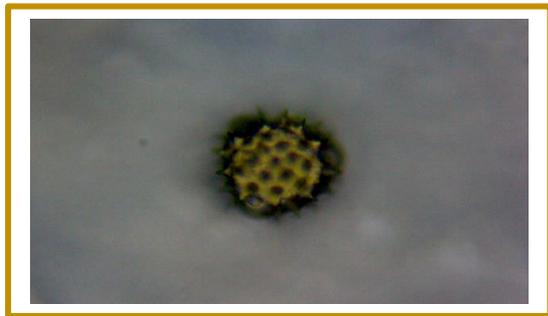
Un total de 13 familles de pollen est illustré dans le tableau II. Les résultats obtenus révèlent la présence de deux échantillons de miel monofloraux (les miels M3 et M4) de la famille de *Fabaceae* et *Rosaceae*, respectivement. Les pollens de ces familles sont dominants ($\geq 45\%$). En revanche, les échantillons M1, M2 et M5 sont des miels polyfloraux renfermant cinq types de pollen (*Fabaceae*, *Poacaceae*, *Fagaceae*, *Rosaceae* et *Tiliaceae*).

Fabaceae est le type de pollen le plus dominant dans les échantillons de miels analysés avec une fréquence de 26,4 %, indiquant la richesse de la région de Béjaïa en cette plante. Les familles *Rosaceae*, *Poacaceae* et *Fagaceae* sont classées en second ordre ayant un pourcentage de 16,4 %, 15,4 % et 15 % respectivement. Les neuf familles de miel restantes dont *Tiliaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae*, *Ericaceae*, *Ramnaceae*, *Rutaceae*, *Apecaceae*, *Bracecaceae* et *Myrtaceae* sont présentes en pourcentage faible (Figure 7).

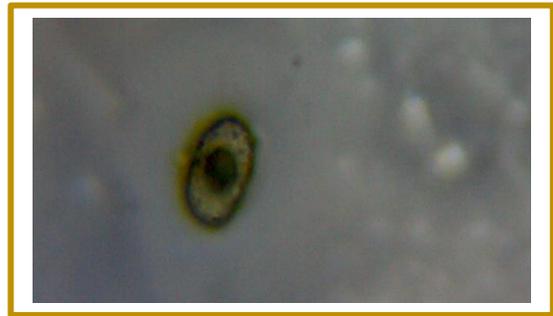
La variabilité de la teneur en pollen des miels pourraient être liée à la richesse botanique de la zone de récolte, aux conditions climatiques et à la distance séparant la ruche d'abeilles du champ de fleurs. La présence des miels polyfloraux peut indiquer l'absence de monocultures à grande échelle dans les lieux où s'effectue la récolte du miel (**Ouchemoukh et al., 2007 ; Makhloufi et al., 2010**).

Tableau II: Spectres polliniques et pourcentages de pollens des miels analysés.

Echantillons de miel	Pollens dominants ($\geq 45\%$)		Pollens d'accompagnements (16 – 44 %)		Pollens minoritaires (15 – 3 %)		Pollens très minoritaires (< 3 %)	
	Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)	Type de pollen	Fréquence (%)
M1	Absence	-	<i>Fabaceae</i> <i>Poacaceae</i>	35 18	<i>Tiliaceae</i> <i>Asteraceae</i> <i>Lamiaceae</i> <i>Fagaceae</i> <i>Rosaceae</i> <i>Ericaceae</i>	11 8 7 6 5 3	<i>Ramnaceae</i> <i>Rutaceae</i> <i>Apecaceae</i> <i>Bracicaceae</i>	2 2 2 1
M2	Absence	-	<i>Fagaceae</i> <i>Fabaceae</i> <i>Poacaceae</i>	30 25 20	<i>Ericaceae</i> <i>Asteraceae</i>	13 10	<i>Lamiaceae</i>	2
M3	<i>Fabaceae</i>	46	<i>Rosaceae</i>	26	<i>Poacaceae</i> <i>Fagaceae</i> <i>Asteraceae</i>	9 7 4	<i>Braceaceae</i> <i>Tiliaceae</i> <i>Myrtaceae</i> <i>Ericaceae</i>	2 2 2 2
M4	<i>Rosaceae</i>	45	<i>Poacaceae</i>	18	<i>Fabaceae</i> <i>Fagaceae</i> <i>Tiliaceae</i> <i>Asteraceae</i>	10 10 8 5	<i>Myrtaceae</i> <i>Asteraceae</i> <i>Ericaceae</i>	2 1 1
M5	Absence	-	<i>Fagaceae</i> <i>Tiliaceae</i> <i>Fabaceae</i> <i>Poacaceae</i>	22 20 16 12	<i>Rosaceae</i> <i>Asteraceae</i> <i>Apecaceae</i> <i>Myrtaceae</i> <i>Rutaceae</i>	6 6 6 4 4	<i>Lamiaceae</i> <i>Ramnaceae</i>	2 2



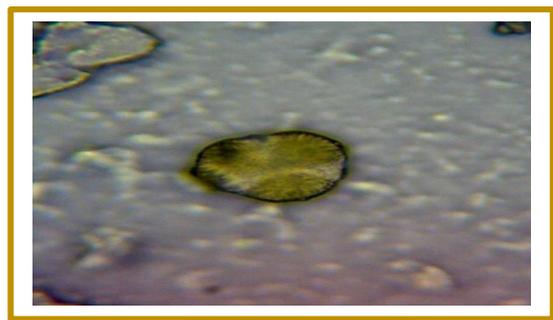
Asteraceae



Fagaceae



Poaceae



Tiliaceae

Figure 07: Photos originales de quelques grains de pollens des miels analysés.

II. Analyses physico-chimiques

II.1. Brix

Les glucides contenus dans le miel sont exprimés par le degré brix, indiquant la quantité de la matière sèche (g) présente dans 100 g de miel à 20 °C (Albu *et al.*, 2021).

Les valeurs du degré brix des échantillons de miel analysés varient de 79,33 (M4) à 80,83 % (M1). Les miels 1 et 3 se rapprochent et possèdent le brix le plus élevé (80,83 et 80,63 % respectivement), indiquant leur richesse en glucides. Les miels 4 et 2 sont les moins riches en glucides avec une valeur de 79,33 et 79,67 %, respectivement (Figure 8). Les résultats obtenus de ce paramètre pour les cinq miels analysés sont supérieurs à la limite minimale des miels de nectar (> 65 %) fixée par le **Codex alimentaire (2001)**.

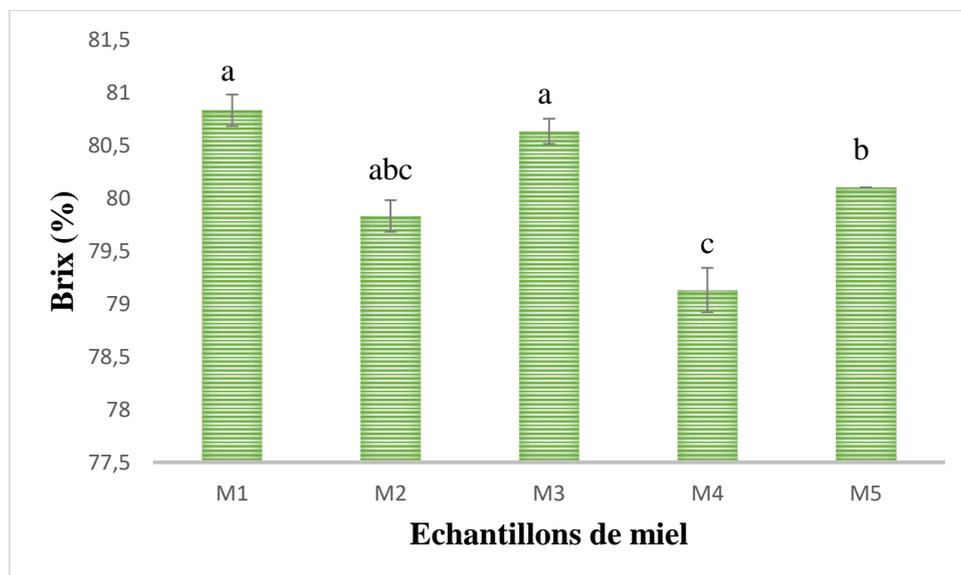


Figure 08: Brix des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

En comparaison avec des études antérieures, ces résultats sont proches à ceux obtenus par **Albu et al. (2021)** dans les miels romains (77,83 à 83,26 %), supérieurs aux valeurs rapportées par **Damasceno do Val et al. (2018)** dans les miels de Malaisie (61,8 à 76,1%) mais inférieurs aux résultats d'**Ayad et al. (2021)** dans les miels Algériens (81 à 84,5 %).

Le test ANOVA du degré de brix des miels étudiés révèle un seul groupe homogène qui contient les miels M1 et M3. En revanche, les autres échantillons (M2, M4 et M5) possèdent des brix qui sont significativement différents. Selon **Otmani et al. (2021)**, la teneur en sucres des miels s'avère être dépendante de l'origine botanique et géographique, de l'environnement et des conditions de stockage du miel.

II.2. Potentiel hydrogène (pH)

Ibrahim Khalil *et al.* (2014) indiquent que la plupart des miels sont acides, en raison de leur teneur en acides organiques qui contribuent à sa saveur et à l'inhibition de la croissance bactérienne. Les valeurs du pH des miels de nectar varient de 3,5 à 4,5 et celle du miellat de 4,5 à 5,5 (Bogdanov *et al.*, 1999). Les valeurs de pH des miels analysés oscillent entre 3,63 (M3) et 4,11 (M2) (Figure 9).

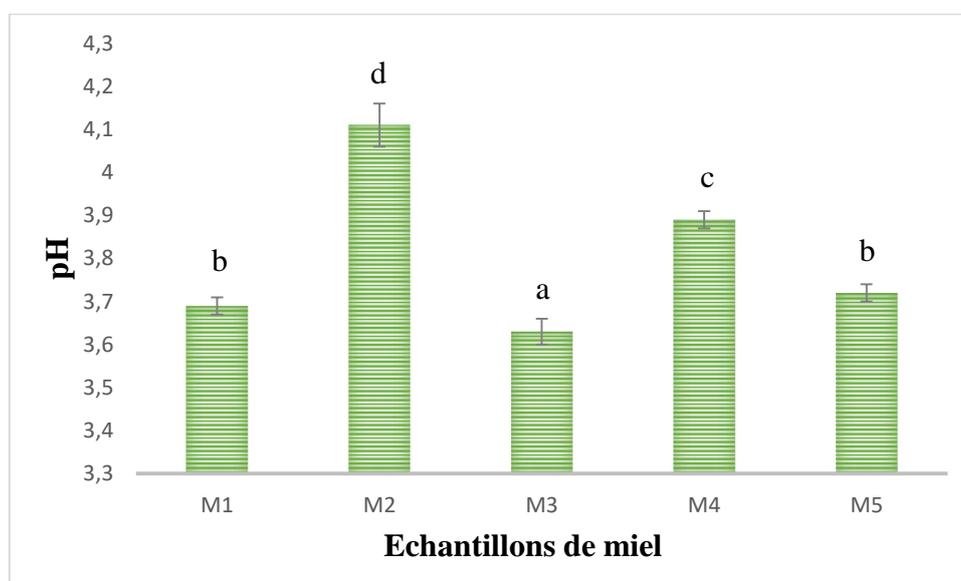


Figure 09: pH des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les valeurs obtenues indiquent que les cinq échantillons de miel proviennent du nectar. Les résultats sont dans l'intervalle rapporté par Machado *et al.* (2022) dans les miels de différentes sources botaniques de Portugal (3,2 à 4,4) et supérieures à celles des miels Brésiliens (3,21 et 3,62) (Ávila *et al.*, 2019). Le test ANOVA indique l'existence d'un seul groupe homogène formé des miels M1 et M5 ayant aucune différence significative tandis que les autres échantillons de miel ont des différences pour ce paramètre.

La variabilité du pH serait due à l'origine botanique, au sol ainsi qu'à la composition en acides organiques tel que l'acide gluconique et en ions inorganiques comme le phosphate (Nigussie *et al.*, 2012 ; Otmani, 2022).

II.3. Couleur

La couleur des miels est l'une des caractéristiques physiques les plus importantes car elle est en rapport avec l'origine florale ainsi qu'avec leur composition (pollen, pigments et minéraux). Un miel foncé est riche en composés phénoliques et possède un pouvoir antioxydant. Le vieillissement et le chauffage peuvent intensifier la couleur du miel (**Lequet, 2010 ; Pauliuc et al., 2022 ; Yildiz et al., 2022**).

Les résultats obtenus montrent que l'intensité de couleur des échantillons de miel analysés varie de 0,34 à 1,22 DO pour les miels M5 et M2, respectivement (Figure 10).

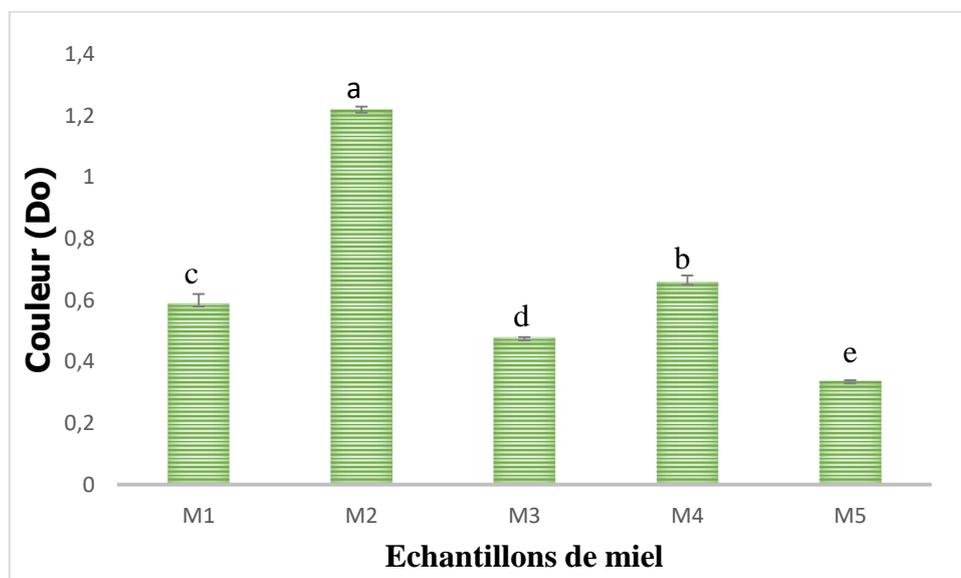


Figure 10: Couleur des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes. DO : densité optique.

Les valeurs enregistrées sont dans l'intervalle rapporté par **Amessis-Ouchemoukh et al. (2021)** dans les miels algériens (0,27 à 1,78 DO) ayant une couleur qui varie du jaune clair au marron foncé. Elles sont supérieures à celles d'**Imtara et al. (2018)** pour les miels Palestiniens qui sont caractérisés par une couleur relativement claire (0,07 et 0,23 DO). Ces différentes couleurs obtenues peuvent être expliquées par la variabilité de la composition chimique pour chaque miel (teneur en minéraux, en flavonoïdes et en caroténoïdes) (**Berreta et al., 2005 ; Moniruzzaman et al., 2013**).

La couleur des échantillons oscille du jaune clair (M5) jusqu'au marron très foncé (M2) et cela dépend de leur teneur en composés phénoliques, en caroténoïdes et en cendres. La température de stockage et la lumière peuvent également affecter leur coloration (**Moniruzzaman et al., 2013**).

Les miels polyfloraux M4 et M2 possèdent la densité optique la plus élevée (0,66 et 1,22 DO, respectivement). Les miels monofloraux M3 et M4 enregistrent les intensités suivantes : 0,48 et 0,59 DO, respectivement. L'intensité la plus faible est donnée par le miel jaune clair (M5) qui est de 0,34 DO. Cependant, le miel polyphloral M1 possède une intensité élevée mais il est moyennement riche en composés phénoliques. Il semble avoir subi une caramélisation, un vieillissement ou un chauffage. Les résultats des miels analysés sont significativement différents pour ce paramètre.

La couleur est un paramètre indicateur de richesse du miel en acides phénoliques, flavonoïdes, caroténoïdes et minéraux (**Pauliuc *et al.*, 2022**).

II.4. Protéines

La teneur du miel en protéines et en acides aminés est faible et représente environ 0,26 %. Il s'agit généralement de peptones, d'albumines et de d'enzymes. Ces substances proviennent soit d'une source végétale ou animale (sécrétions des abeilles ouvrières) (**Bonté et Desmoulière, 2013**).

Les miels analysés ont une teneur en protéines qui varie de 280,18 (M3) à 647,37 mg EBSA/ 100 g (M4) (Figure 11).

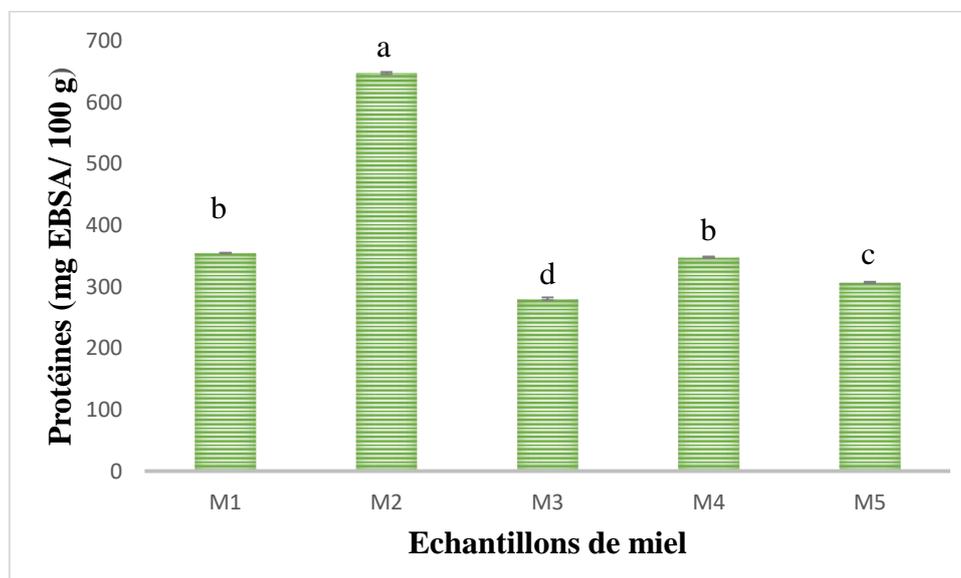


Figure 11: Teneur en protéines des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne \pm l'écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats obtenus sont supérieurs à ceux rapportés par **Tsavea et al. (2022)** dans les miels de Grèce et par **Amessis-Ouchemoukh et al. (2021)** dans les miels algériens (30,1 à 82,7 mg EBSA/ 100g et 35 à 137 mg EBSA/ 100 g, respectivement). Ils sont inférieurs aux résultats indiqués par **Zhang et al. (2021)** dans les miels de Zhejiang à différents stades de maturité (670 à 880 mg EBSA/ 100 g).

Les miels M1 et M4 ne présentent pas de différence significative. Le miel M2 est l'échantillon le plus riche en protéines. Ainsi, sa teneur est significativement différente de celles des autres échantillons. Ceci pourrait être dû à sa richesse en pollen et en enzymes ajoutés par l'abeille ouvrière. En effet, **Da Silva et al. (2016)** ont confirmé ces informations.

La variabilité de la teneur des miels en protéines dépend de l'origine botanique et géographique, des conditions de stockage, de la quantité des grains de pollen et des enzymes ajoutées par les abeilles (catalase, phosphatase, glucose-oxydase) (**Moniruzzaman et al., 2013 ; Rycha et al., 2022**).

III. Taux des antioxydants du miel

III.1. Polyphénols

Les polyphénols sont les composés responsables de l'activité antioxydante du miel (**Beretta et al., 2005 ; Shamsudin et al., 2022**). Le contenu phénolique total des miels analysés varie entre 61,86 (M5) à 162,69 mg EAG/ 100 g (M2) (Figure 12).

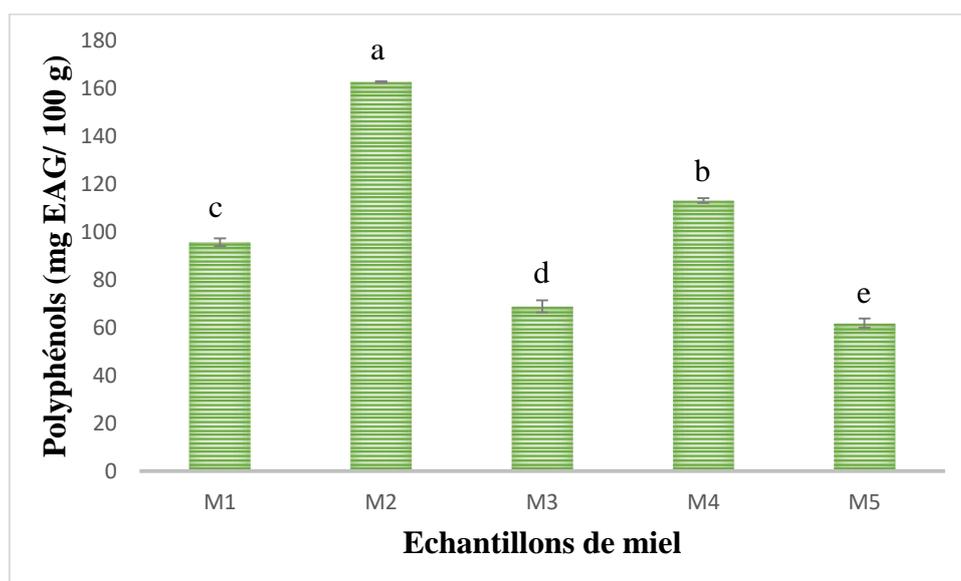


Figure 12 : Teneur en polyphénols des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en phénols totaux sont plus élevées que ceux rapportés par **Yayinie et al. (2022)** dans les miels d’Ethiopie (17,03 à 42,04 mg EAG / 100 g) tandis que les valeurs obtenus par **Necib et al. (2022)** dans deux types de miels algériens sont supérieures à nos résultats (314 à 394 mg EAG/ 100 g).

Les miels M4 et M2 sont les plus riches en ces composés (113,17 et 162,69 mg EGA/ 100 g), ce qui reflète sur leur coloration marron foncée. En revanche, les miels M5 et M3 possèdent une teneur faible en ces substances (61,86 et 68,89 mg EGA/ 100 g) et donc une couleur moins intense qui varie du jaune clair au jaune.

Selon **Rodríguez-Flores et al. (2015)** et **Shamsudin et al. (2022)**, la différence du taux en phénols totaux des échantillons de miel est due aux origines botanique et géographique, au climat et à la composition chimique de pollen.

III.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés phénoliques de faible poids moléculaire, représentant jusqu’à 50 % des polyphénols (**Wali et al., 2020**). Le taux des flavonoïdes des différents miels analysés est compris entre 35,14 (M5) et 90,40 mg QE/ 100 g (M2) (Figure 13).

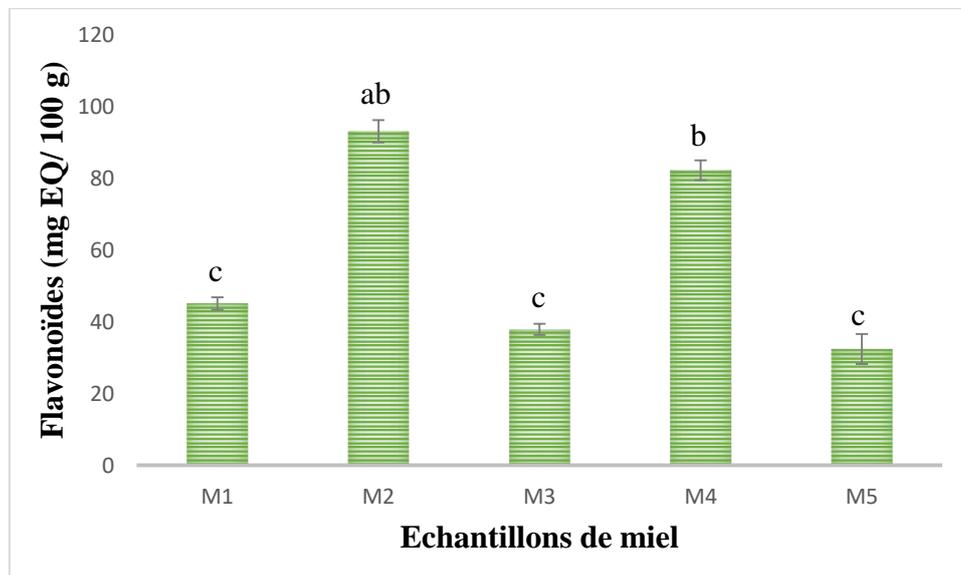


Figure 13: Teneur en flavonoïdes des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les résultats sont différents de ceux obtenus par **Ayad et al. (2021)** et **Shamsudin et al. (2022)** qui ont rapporté des teneurs allant de 7 à 20 mg EQ /100 g dans les miels Algériens et de 10,70 à 25,71 mg EQ/ 100g dans les miels de Malaisie, respectivement.

Ces valeurs sont également contenues dans l'intervalle rapporté par **Chirsanova et al. (2021)** des miels du Sud de la république de Moldavie (28,41 à 151,75 mg EQ/ 100 g).

Les miels M4 et M2 possèdent la teneur la plus élevée en flavonoïdes (85,87 et 90,40 mg EQ/ 100 g, respectivement) et forment un groupe homogène qui diffère significativement du groupe homogène formé par les miels M1, M3 et M5. Ce dernier possède la valeur la plus basse (35,14 mg EQ/ 100 mg).

La variabilité des concentrations en flavonoïdes des miels tels que les flavonols (quercétine, kaemferol...), les flavones (galangine, chrisine,...), les flavonones (isosakurametine, pinobanksin,...) et les isoflavonones (génistéine et diadzéine) dépend essentiellement de ses origines florale et géographique (**Sousa et al., 2016 ; Tahir et al., 2017**). Ces composés sont identifiés par **Ouchemoukh et al. (2017)** dans des miels Algériens.

IV. Activités antioxydantes du miel

IV.1. Activité anti-radicalaire par le DPPH

Les miels analysés ont la capacité de réduire le radical DPPH (Figure 14). Le pourcentage de réduction pour ces échantillons varie de 40,90 (M3) à 53,58 % (M2).

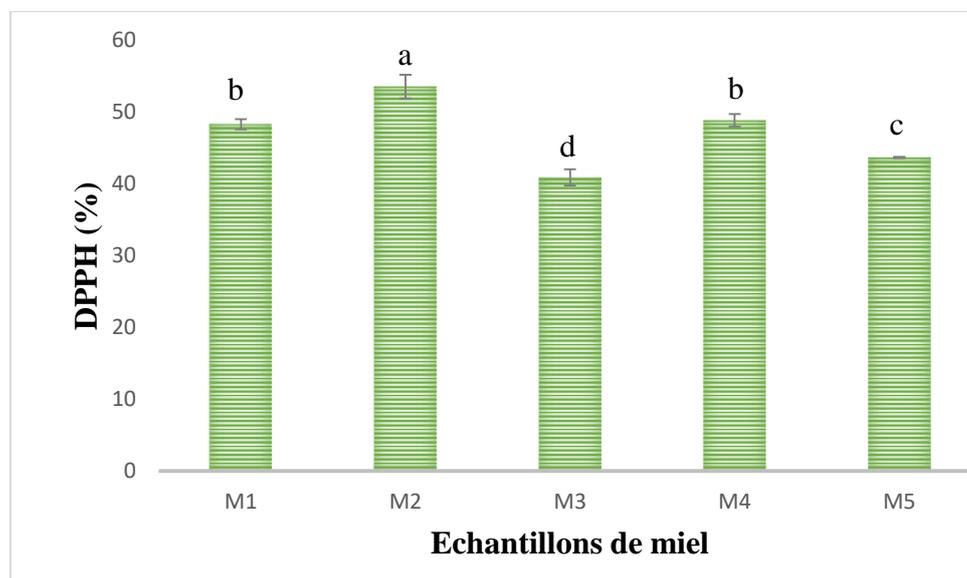


Figure 14: Pourcentage de réduction du radical DPPH par les miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

L'intervalle de valeurs enregistrées est différent de celui obtenu par **Cziple et al. (2022)** sur des miels polonais (15,23 à 20,71 %) et proche de celui rapporté par **Al et al. (2009)** dans les miels romains (35,80 à 64,83 %).

L'activité de piégeage des radicaux libres DPPH la plus élevée est identifiée pour le miel M2 avec un pourcentage d'inhibition de 53,58 %, ce qui est probablement dû à la présence d'antioxydants ayant un fort pouvoir réducteur tels que les composés phénoliques, les vitamines, les enzymes, les métaux à savoir le cuivre et le fer. Selon **El-Seedi et al. (2012)**, les acides caféique, férulique, sinapique, p-coumarique et cinnamique possèdent une grande capacité de don d'atome d'hydrogène pour une stabilisation ultérieure des radicaux. Le miel M3 quant à lui, représente l'activité inhibitrice la plus faible avec un pourcentage de 40,93 %. Les miels M1 et M4 ne présentent pas de différence significative pour ce paramètre.

Selon les travaux rapportés par **El-Seedi et al. (2012)** et **Tahir et al. (2017)**, l'origine botanique, la quantité du pollen ainsi que les concentrations élevées en acides hydroxycinnamiques sont des facteurs qui peuvent influencer la variabilité du pouvoir anti-radicalaire par le DPPH des miels.

IV.2. Pouvoir réducteur

Les cinq échantillons de miel analysés ont enregistré des valeurs comprises entre 309,25 (M5) à 633,92 (M2) mg EAG/ 100 g pour ce paramètre (Figure 15). Ils ont la capacité de céder un électron en réduisant de ce fait le fer ferrique (F^{+3}) en fer ferreux (F^{+2}) (**Ayad et al., 2021**).

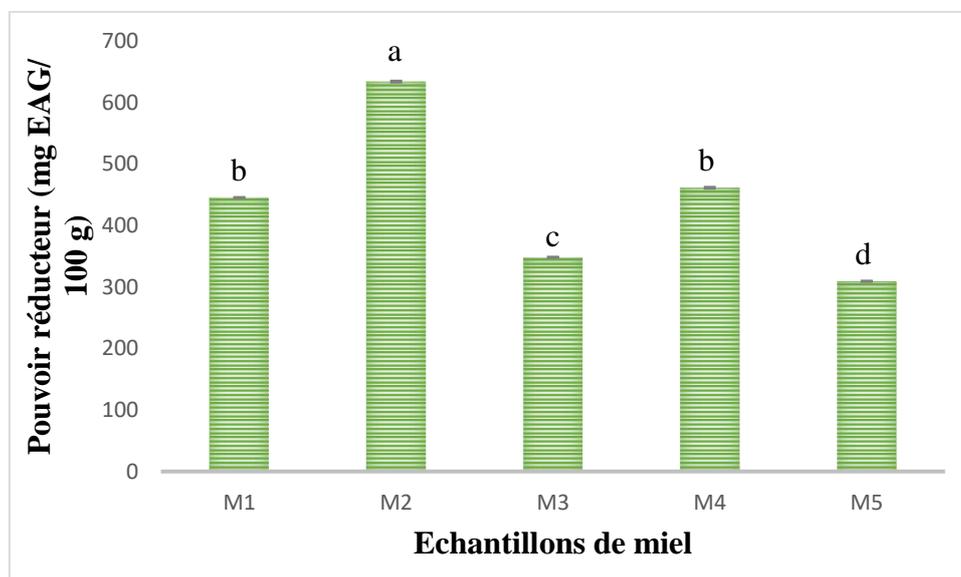


Figure 15 : Pouvoir réducteur des miels analysés.

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les barres verticales représentent les écarts types. Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes.

Les valeurs obtenues sont supérieures à celles indiquées par **Zhang et al. (2021)** (83 à 118 mg EAG / 100 g) et **Ayad et al. (2021)** (12,54 à 24,97 mg EAG/100 g) pour les miels de Chine et d'Algérie, respectivement.

Généralement, un miel foncé présente une riche composition en composés phénoliques et une activité antioxydante plus importante. Cela est démontré dans cette étude. En effet, le miel M2 de couleur marron foncé enregistre la meilleure capacité réductrice (633,92 mg EAG/ 100 g). En revanche le miel M5 de couleur jaune clair a le pouvoir réducteur le plus faible (309,25 mg EAG/ 100 g).

Les valeurs enregistrées pour ce pouvoir montrent l'existence d'un groupe homogène formé par les miels M1 et M2 tandis que les échantillons restants sont significativement différents avec une capacité réductrice différente. Ceci est probablement lié à leur composition quantitative et qualitative distincte en acides phénoliques, en flavonoïdes, et en vitamine C des miels.

V. Activités anti-brunissement enzymatiques du miel

V.1. Tranches d'aubergine

V.1.1. Couleur

Les tranches d'aubergine sont traitées avec les cinq échantillons de miel (10 %, m/v). Le changement de la couleur de leur surface est suivi à 4 °C durant 9 jours et à température ambiante (20 °C) pendant 4 jours (Figure 16).

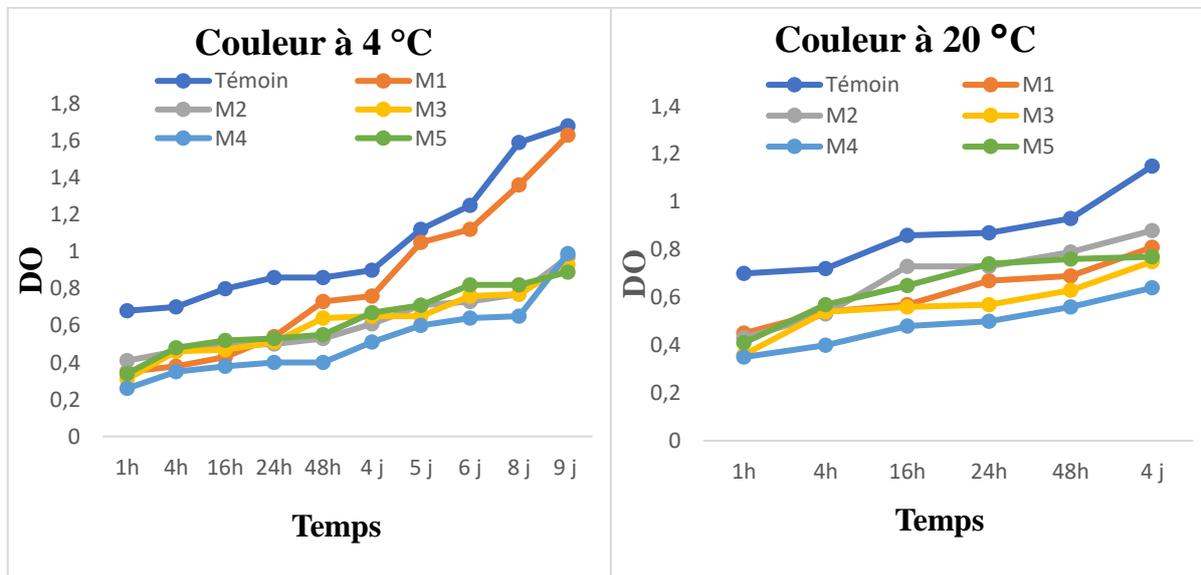


Figure 16 : Couleur des tranches d'aubergines traitées avec des solutions de miel (10%) et stockées à températures ambiante (20 °C) et 4 °C.

Lors de stockage à température basse, les tranches traitées avec le miel M4 enregistrent la densité optique la plus faible (de 0,29 après 1h jusqu'à 0,99 DO après 9j).

En revanche, celles qui sont préparées avec le miel polyfloral M1 montrent le plus faible pouvoir anti-brunissement avec une densité optique très élevée après le 4^{ème} jour (0,35 après 1h à 1,63 DO après 9j). Les tranches d'aubergine témoins notent des valeurs qui varient de 0,68 à 1,68 DO pendant 9 jours d'incubation.

A température ambiante (20 °C), toutes les valeurs de la densité optique obtenues ont augmenté par rapport à celles de température frigorifique (4 °C). Le miel *Rosaceae* M4 prouve toujours son pouvoir anti-brunissement à température ambiante car les tranches traitées par ce dernier enregistrent la densité optique la plus basse (0,35 à 1h jusqu'à 0,64 DO après 4 jours). Cependant, la valeur la plus élevée est constatée chez les aubergines enrobées du miel polyfloral M2 (0,43 à 1h jusqu'à 0,88 DO après 4j). Les valeurs obtenues pour les tranches témoins oscillent de 0,7 à 1,15 DO pendant 4 jours.

Le miel *Rosaceae* se présente avec le meilleur pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique de l'aubergine. En effet, sa teneur élevée en composés phénoliques et en protéines semblent contribuer à l'inhibition des enzymes du brunissement (PPO et POD). En revanche, bien que la composition du miel polyfloral M2 soit riche en antioxydants, ce miel n'a pas enregistré un effet anti-brunissement efficace. Cela suggère la présence d'interférents dans l'aubergine ayant interagit avec les composants du miel afin de réduire sa capacité inhibitrice. Les miels M3 et M5 montrent une inhibition du brunissement qui est probablement due au type et à la concentration d'antioxydants présents. L'effet anti-brunissement du miel M1 est détecté les 4 premiers jours du stockage à 4 °C puis il a diminué. Ce phénomène pourrait être lié à l'épuisement des composés antioxydants présents.

La variabilité du pouvoir anti-brunissement du miel dépend de la variété du légume et du miel utilisés, de sa composition et sa concentration en composés phénoliques et en composants peptidique ainsi que de la température et du pH (Yoruk et Marshall, 2003 ; Viunda *et al.*, 2008 ; Lim *et al.*, 2019). Un miel riche en antioxydants et en fractions peptidiques (600 Da) a la meilleure capacité inhibitrice du brunissement en agissant sur des enzymes responsables de ce phénomène (Oszmianski et Lee, 1990).

La température est un facteur important influençant le brunissement enzymatique. Les enzymes impliquées dans les réactions du brunissement sont sujettes à la destruction à des températures élevées (Lamerini, 2016). Cependant, les résultats de cette étude montrent que le stockage des tranches enrobées du miel à une température ambiante (20 °C) ne dénature pas les enzymes (PPO et POD) mais il favorise leur activité en induisant un brunissement prononcé.

En revanche, le stockage de ces tranches à 4 °C contribue à l'inhibition de leur brunissement par inactivation des enzymes impliquées dans ce phénomène.

Les figures 17 et 18 représentent le suivi temporel de l'évolution du brunissement enzymatique des tranches d'aubergine traitées par la solution de miel M4 (10 %) à 4 °C et à température ambiante (20 °C).

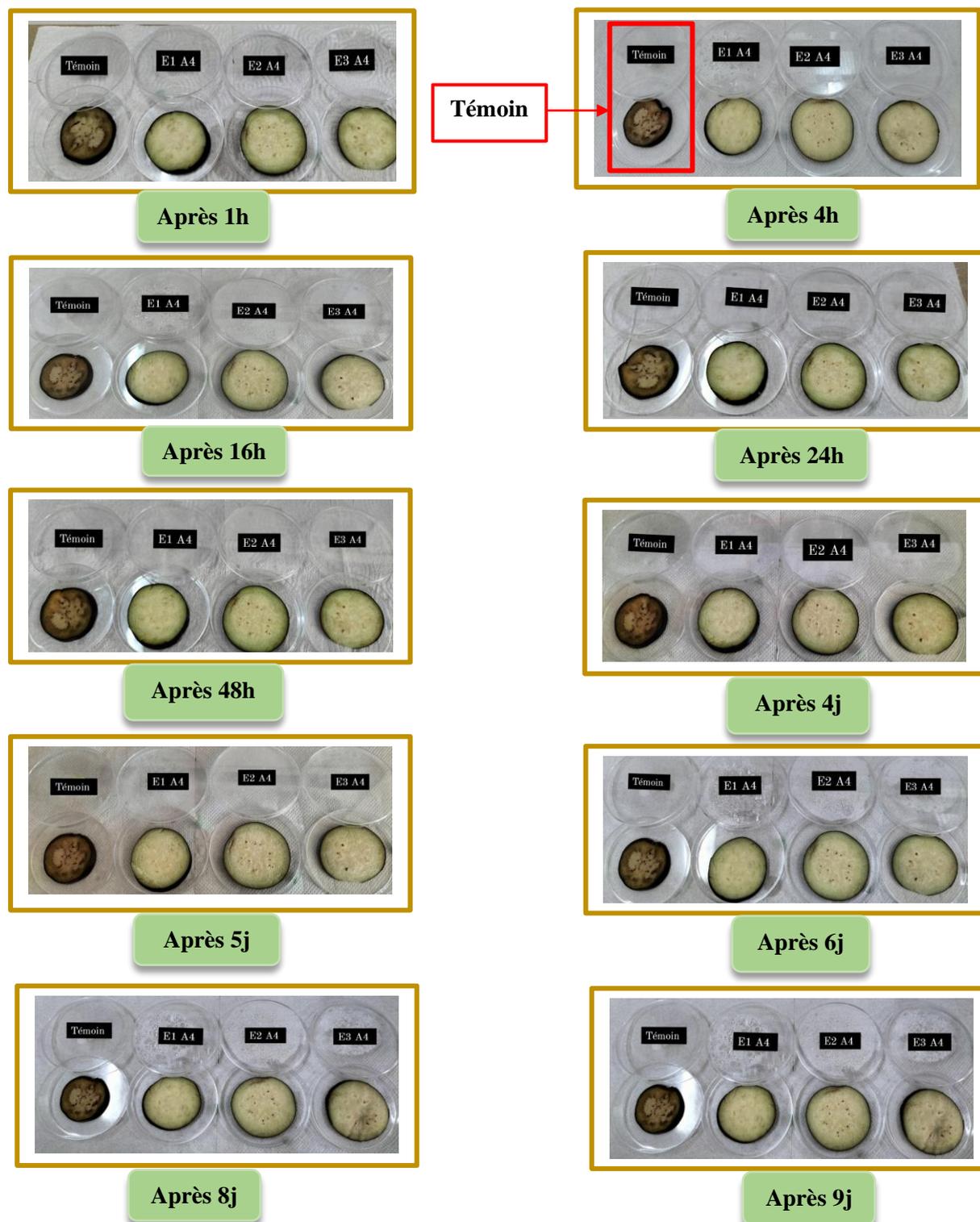


Figure 17: Photos originales de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M4 sur les tranches d'aubergine à 4 °C.

E : Essai. A : Aubergine.

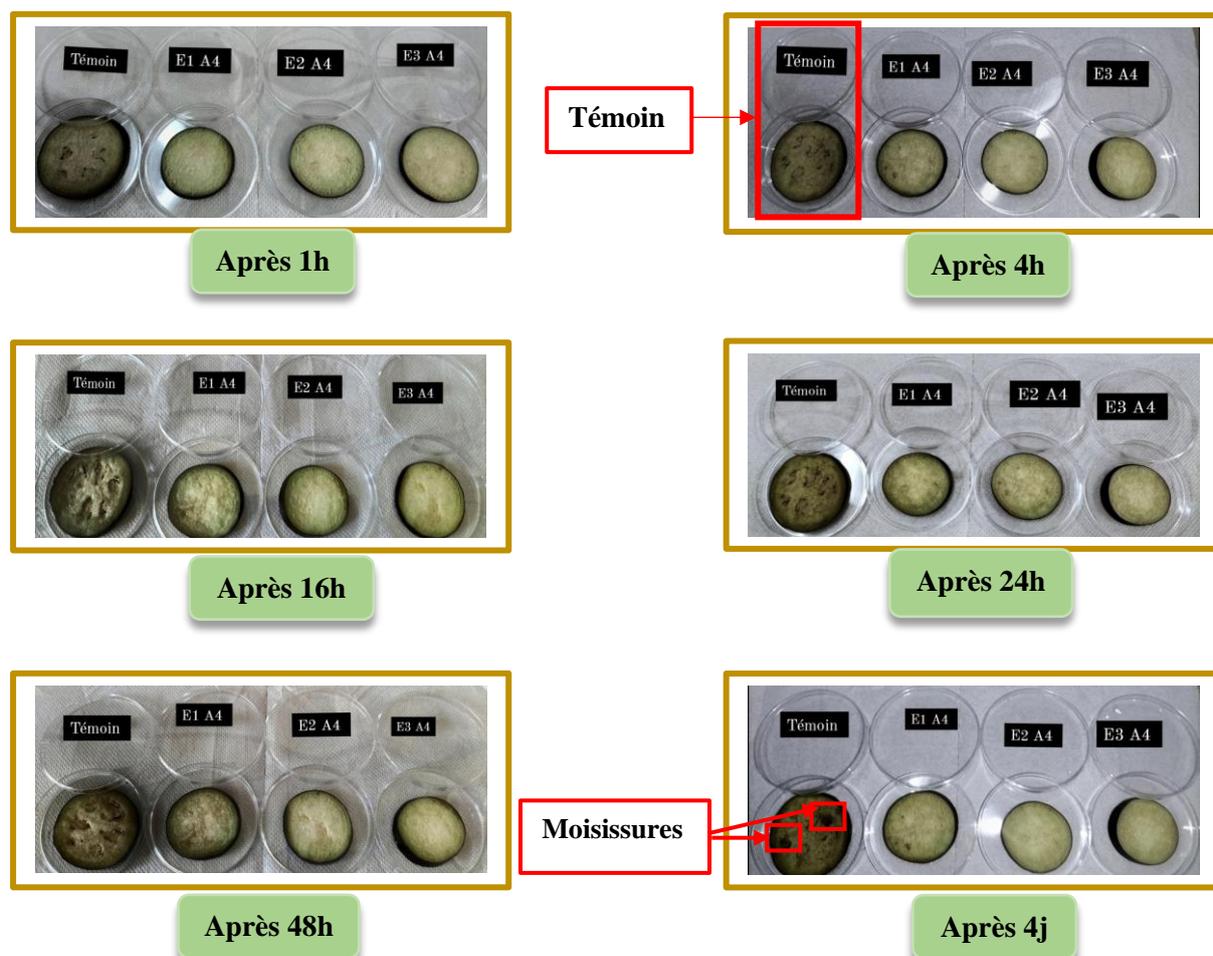


Figure 18 : Photos originales de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M4 sur les tranches d'aubergine à température ambiante (20 °C).

E : Essai. A : Aubergine.

Dans la figure 17, le brunissement enzymatique (couleur marron des tranches d'aubergine) apparaît à la première heure d'incubation à température 4 °C dans les tranches témoins. Après 8 jours d'incubation, il y a une apparition légère du brunissement sur la tranche d'aubergine traitée par le miel M4 (tranche d'aubergine à droite).

La figure 18 montre bien que le miel M4 possède une bonne activité anti-brunissement enzymatique. Une variation très légère de la couleur des tranches d'aubergine est observée au bout de 48 h à 20 °C. Au quatrième jour, il y a apparition de moisissures sur la tranche d'aubergine témoin par rapport aux tranches d'aubergine imbibées de miel M4.

Le brunissement enzymatique constaté sur les côtés de l'aubergine suggère la concentration de l'enzyme PPO à ces endroits (Moon *et al.*, 2020).

V.1.2. Unité de brunissement (UB)

Il existe une relation entre la DO enregistrée par l'échantillon et son unité de brunissement. Une unité de brunissement est égale à 0,01 d'absorbance (Oszmianski et Lee, 1990). L'unité de brunissement des tranches d'aubergine traitées par les cinq solutions du miel est déterminée à deux températures (ambiante et 4 °C) (Figure 19).

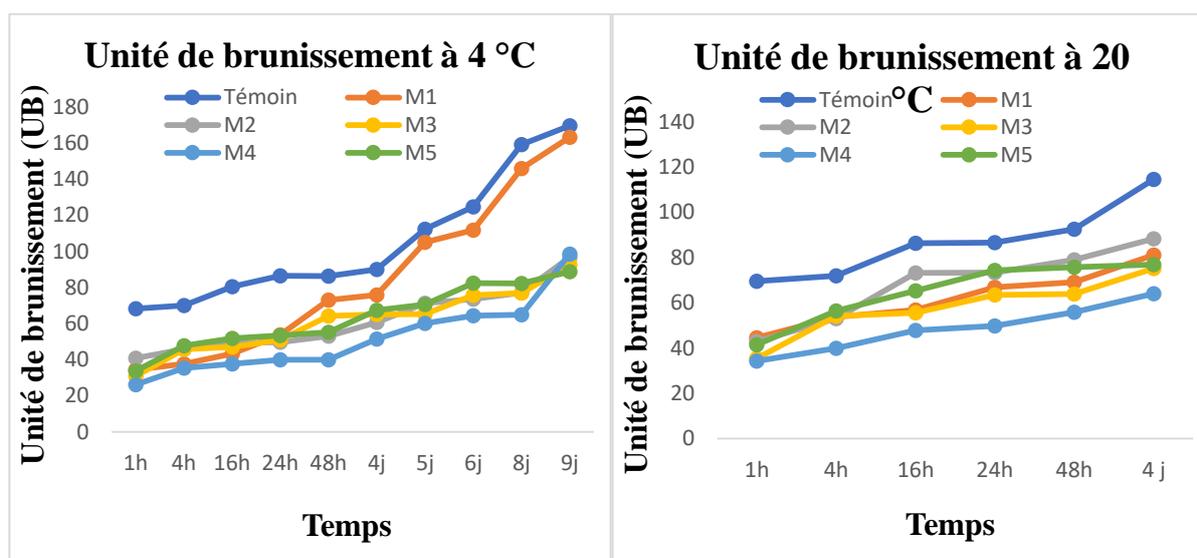


Figure 19: Unité de brunissement des tranches d'aubergines traitées avec des solutions de miel (10 %) et stockées à température ambiante et 4 °C.

Les résultats indiquent que les échantillons témoins possèdent des unités de brunissement supérieures à celles des échantillons traités par les miels.

A température 4 °C, l'unité de brunissement la plus faible est enregistrée dans les coupes d'aubergines enrobées de la solution de miel M4 (26,13 après 1h jusqu'à 98,53 UB après 9j). Par contre, les tranches traitées par le miel polyfloral M1 possèdent les unités les plus élevées, elles ont enregistré des valeurs qui varient entre 34,53 à 70,1 de la première heure au 4^{ème} jour d'incubation et de 105 à 163,3 UB du 5^{ème} au 9^{ème} jour. L'unité de brunissement des tranches émergées dans l'eau distillée varient de 68,33 à 1h jusqu'à 169,57 UB après 9j.

Des valeurs plus élevées de l'unité de brunissement des échantillons traités sont enregistrées à température ambiante durant 4 jours de stockage. Cependant, la valeur la plus élevée est obtenue par les aubergines enrobées du miel M2 (42,9 après 1h à 88,3 UB après 4j) et la plus faible est notée par le miel M4 (34,27 après 1h à 64,07 après 4j). L'unité de brunissement des tranches témoins varie de 69,6 après 1h à 114,53 UB après 4j.

V.1.3. Indice de brunissement (IB)

Les cinq échantillons de miel ont contribué à réduire le taux de brunissement des aubergines. Les résultats obtenus à 4 °C sont inférieurs à ceux enregistrés à température ambiante (Figure 20).

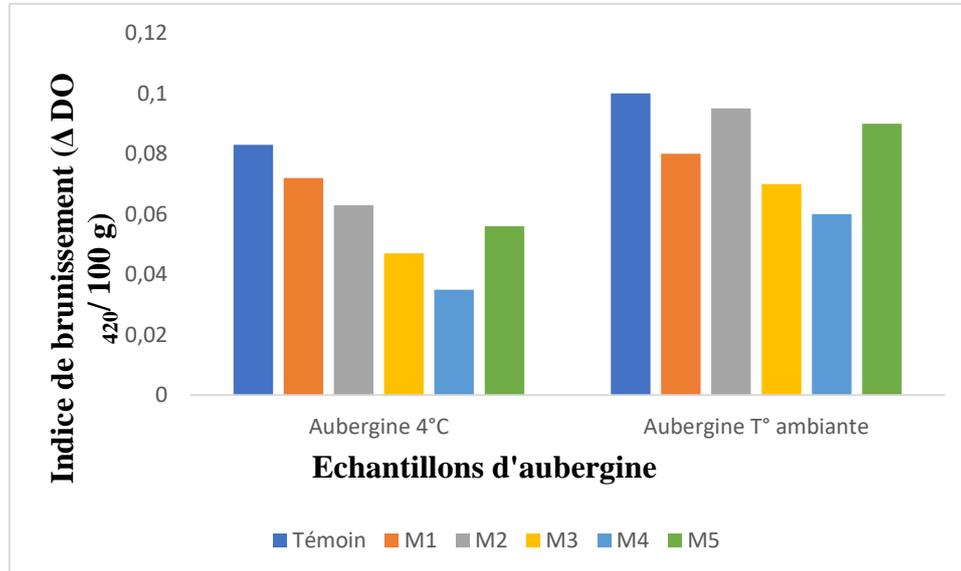


Figure 20: Indice de brunissement des tranches d'aubergine traitées avec les solutions de miel (10 %) à 4 °C et à T° ambiante (20 °C).

D'après la figure 20, les aubergines non traitées montrent l'indice de brunissement le plus élevé de tous les échantillons. Cependant, les tranches traitées avec le miel *Rosaceae* M4 possèdent l'indice de brunissement le plus faible à deux températures (0,035 DO/ 100 g à 4 °C et 0,06 DO/ 100 g à T° ambiante) ayant ainsi le taux de brunissement le plus bas et le meilleur pouvoir anti-brunissement.

A température 4 °C, les tranches auxquelles le miel M1 est ajouté possèdent l'indice de brunissement le plus élevé (0,072 DO/ 100 g) et ont notamment enregistré à température ambiante la valeur suivante : 0,08 DO/ 100 g. Par contre, le miel M2 indique le taux de brunissement le plus élevé à température ambiante (0,095 DO/ 100 g). Les tranches d'aubergine émergées dans l'eau distillée enregistrent 0,085 DO/ 100 à 4 °C et 0,1 DO/ 100 g à 20 °C.

La variabilité du pouvoir anti-brunissement du miel dépend de la variété du légume et du miel utilisées, de sa composition et sa concentration en composés phénoliques et en composants peptidiques ainsi que de la température et le pH (Yoruk et Marshall, 2003 ; Viunda *et al.*, 2008 ; Lim *et al.*, 2019).

V.1.4. Activité enzymatique de la PPO

La polyphénol oxydase est connue pour être l'enzyme la plus impliquée dans le brunissement des fruits et légumes (Liu *et al.*, 2019). L'activité enzymatique de la PPO des tranches d'aubergines traitées par les solutions de miel à 10 % subi une inhibition durant la période de stockage à 4 °C et à température ambiante (Figure 21).

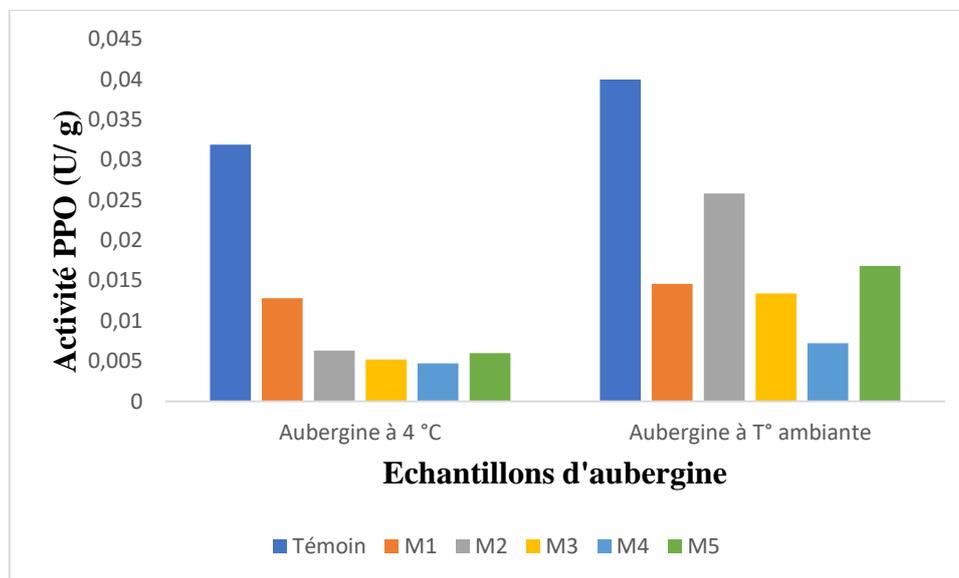


Figure 21: Activité enzymatique de l'enzyme Polyphénol oxydase (PPO) des tranches d'aubergines traitées par les échantillons de miel à 4 °C et à T° ambiante (20 °C).

Les résultats obtenus à température basse (4 °C) indiquent que la plus faible activité est observée dans le cas des tranches traitées par le miel M4, prouvant ainsi sa forte capacité inhibitrice de l'enzyme PPO ($0,004 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$). Les tranches traitées par le miel d'Akbou M1 montrent le maximum d'activité enzymatique de la PPO ($0,01 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) après les tranches témoins. Ceci indique que le miel M1 est doté d'une faible capacité inhibitrice.

Par comparaison aux valeurs obtenues à température ambiante, les taux d'activité enzymatique de la PPO des échantillons d'aubergine traitées par les solutions du miel ont augmenté. L'activité de la PPO des tranches traitées par le miel de Bejaia M4 est la plus faible ($0,007 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$). Le miel de Sidi Aich M2 n'a pas parfaitement contribué à l'inhibition de la PPO car l'activité enzymatique de celle-ci est élevée ($0,02 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$). Les tranches témoins ont enregistré l'activité enzymatique la plus élevée d'où leur brunissement rapide.

V.1.5. Activité enzymatique de la POD

La peroxydase (POD) est une autre enzyme responsable du brunissement enzymatique. Les solutions de miel ont réduit l'activité de la POD des aubergines coupées (figure 22).

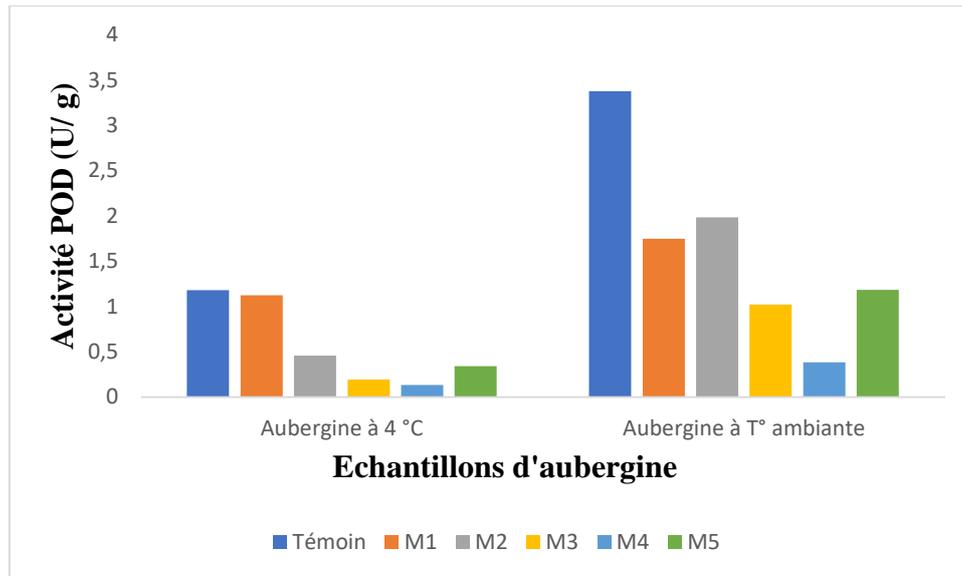


Figure 22: Activité enzymatique de l'enzyme peroxydase (POD) des tranches d'aubergines traitées par les échantillons de miel à 4 °C et à T° ambiante (20 °C).

Des fluctuations plus prononcées sont observées en mesurant le taux de l'activité enzymatique de la POD pour les aubergines stockées aux deux températures.

Les résultats obtenus montrent que le miel M4 est l'échantillon ayant la meilleure capacité inhibitrice de la POD des aubergines stockées à deux températures (4 °C et 20 °C) en enregistrant les valeurs suivantes : 0,13 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ et 0,38 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, respectivement. Le miel M1 montre la capacité inhibitrice la plus faible de l'enzyme (1,12 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ à 4 °C et 1,98 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ à température ambiante). Le taux de l'activité enzymatique des tranches témoins est de 1,18 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ et de 3,37 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ à 4 et à 20 °C, respectivement.

Le trempage des tranches dans les solutions de miel à 10 % a inhibé l'activité de la PPO et celle de la POD.

Wen et al. (2017) ont indiqué que les propriétés d'inhibition du brunissement enzymatique par le miel dépendent majoritairement de sa composition en substances bioactives telles que les peptides et les flavonoïdes, ce qui explique la meilleure activité inhibitrice de PPO et POD pour le miel M4 possédant un taux élevé en composés phénoliques et en protéines par rapport aux autres échantillons.

Il a été rapporté par **De la Rosa et al. (2011)** que les flavonoïdes sont des inhibiteurs non compétitifs présentant une affinité de liaison à la fois pour les enzymes libre et complexé au substrat.

De plus, la différence de concentration du peptide 600 Da d'un miel à autre peut jouer un rôle dans le ralentissement du brunissement enzymatique par la formation d'un complexe stable entre le cuivre de l'enzyme PPO et le peptide (**Oszmianski et Lee, 1990**).

D'autres facteurs contribuent à l'efficacité de l'anti-brunissement enzymatique du miel à savoir la température, le pH et la composition du légume. En effet, le pouvoir inhibiteur faible du miel M2 malgré sa forte teneur en composés phénoliques est probablement lié à la présence des interférents dans l'aubergine ce qui empêche les antioxydants d'agir.

La combinaison miel-basse température montre une activité anti-PPO plus grande par rapport à la combinaison miel-température élevée. Par conséquent, l'utilisation de températures basses ainsi que l'ajout du miel est une autre forme d'inhibition de l'enzyme afin de retarder et réduire le brunissement enzymatique.

V.2. Tranches de pomme de terre

V.2.1. Couleur

Les tranches de pomme de terre enrobées par les solutions de miel à 10 % ont subi un suivi de la coloration de leur surface pendant 9 jours à 4 °C et durant 4 jours à température ambiante (20 °C) (Figure 23).

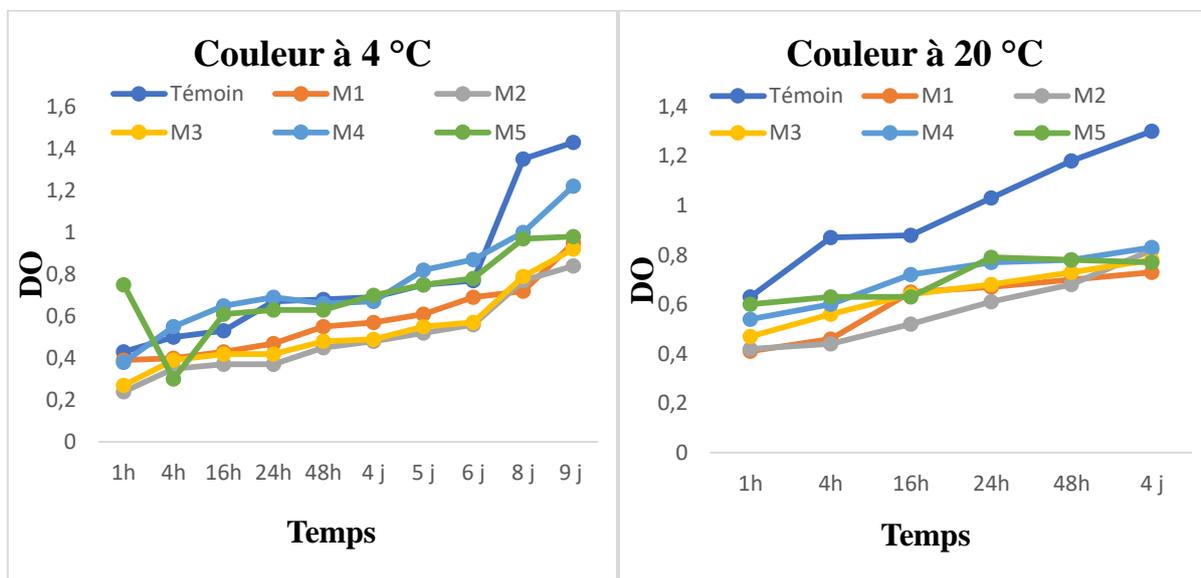


Figure 23 : Couleur des tranches de pomme de terre traitées avec des solutions de miel (10 %) et stockées à 4 °C et à température ambiante (20 °C).

Les résultats obtenus varient de 0,24 à 1,43 DO à 4 °C pendant 9 jours et de 0,41 à 1,30 DO à 20 °C durant 4 jours. Les tranches enrobées du miel marron foncé M2 montrent la densité optique la plus faible (0,24 après 1h à 0,84 DO après 9j) à 4 °C. A température 20 °C, elles

enregistrent des valeurs allant de 0,42 après 1h à 0,82 DO après 48h mais elles ont augmenté jusqu'à 0,82 DO après 4 jours. Ceci est probablement dû à l'épuisement des antioxydants inhibiteurs du brunissement. Le miel M4 possède le pouvoir inhibiteur le plus faible en enregistrant les valeurs suivantes à 4 et 20 °C, respectivement : 0,38 après 1h à 1,22 DO après 9^{ème} jour et 0,54 à 0,85 DO, de la 1^{ère} heure au 4^{ème} jour de stockage. Les tranches témoins indiquent des valeurs qui oscillent de 0,43 à 1,43 DO pendant 9 jours de stockage à 4 °C et de 0,63 après 1h à 1,3 DO après 4 jours à 20 °C. Par conséquent, les tranches témoins se brunissent rapidement par rapport aux échantillons traités par le miel.

Les figures 24 et 25 représentent le suivi temporel de l'évolution du brunissement enzymatique des tranches de pomme de terre traitées par la solution de miel M2 (10 %) à 4 °C et à température ambiante (20 °C).

Dans la figure 24, le brunissement est aperçu au bout de 16h sur les tranches témoins de la pomme de terre stockées à 4 °C. Une variation légère de la coloration est détectée après 9 jours de conservation sur la surface de la tranche situé à côté du témoin et traitée par le miel M2. A température ambiante (figure 25), le brunissement est apparu dans les tranches témoins après seulement 4h d'incubation tandis qu'il est constaté au bout de 16h dans les tranches enrobées de la solution du miel M2. Au 4^{ème} jour de stockage, la coloration brune est devenue plus intense. Celle-ci est observée au milieu des tranches de pomme de terre.

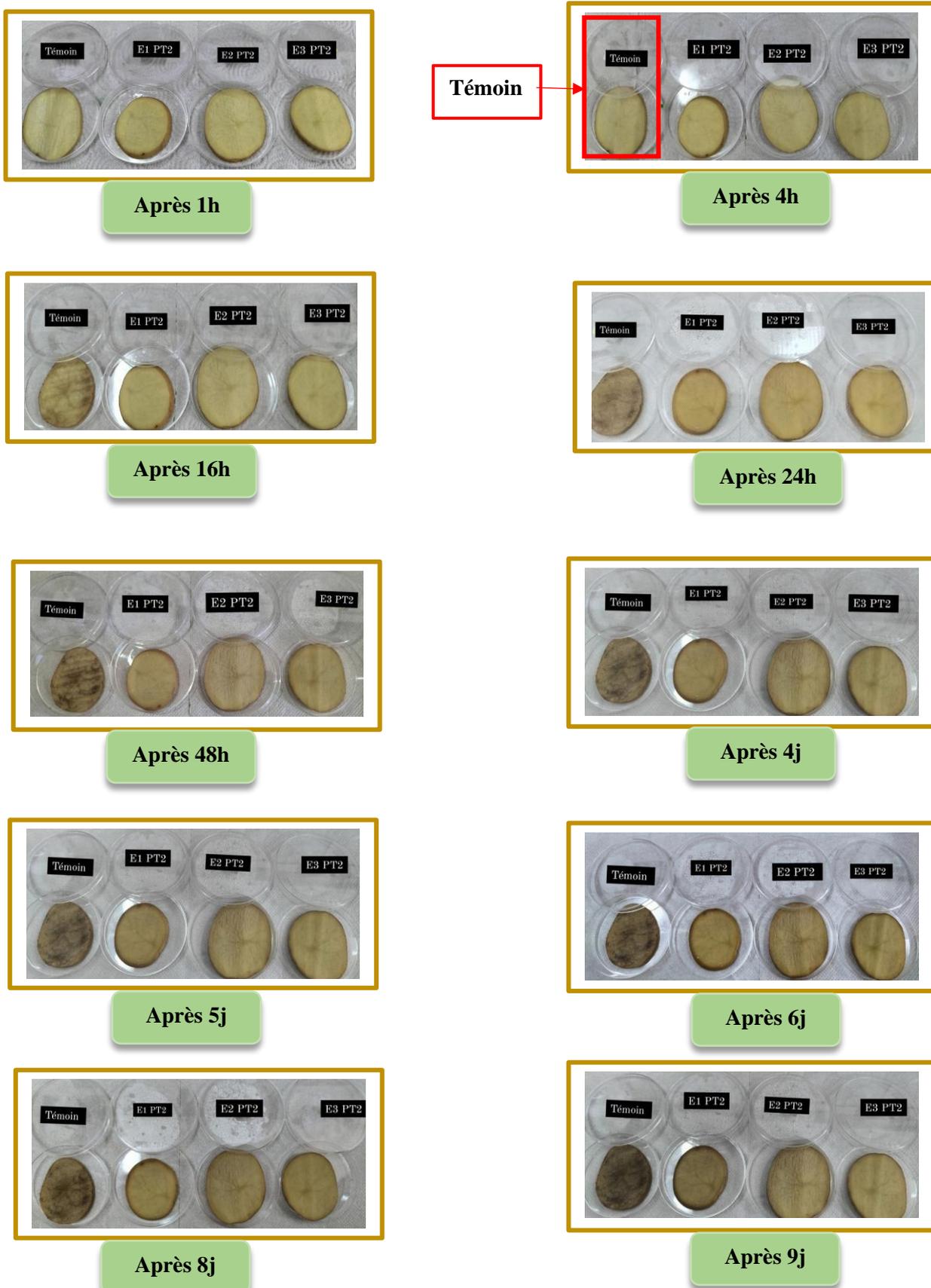


Figure 24 : Photos originales de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M2 sur les tranches de pomme de terre à 4 °C.

E : Essai. PT : Pomme de terre.

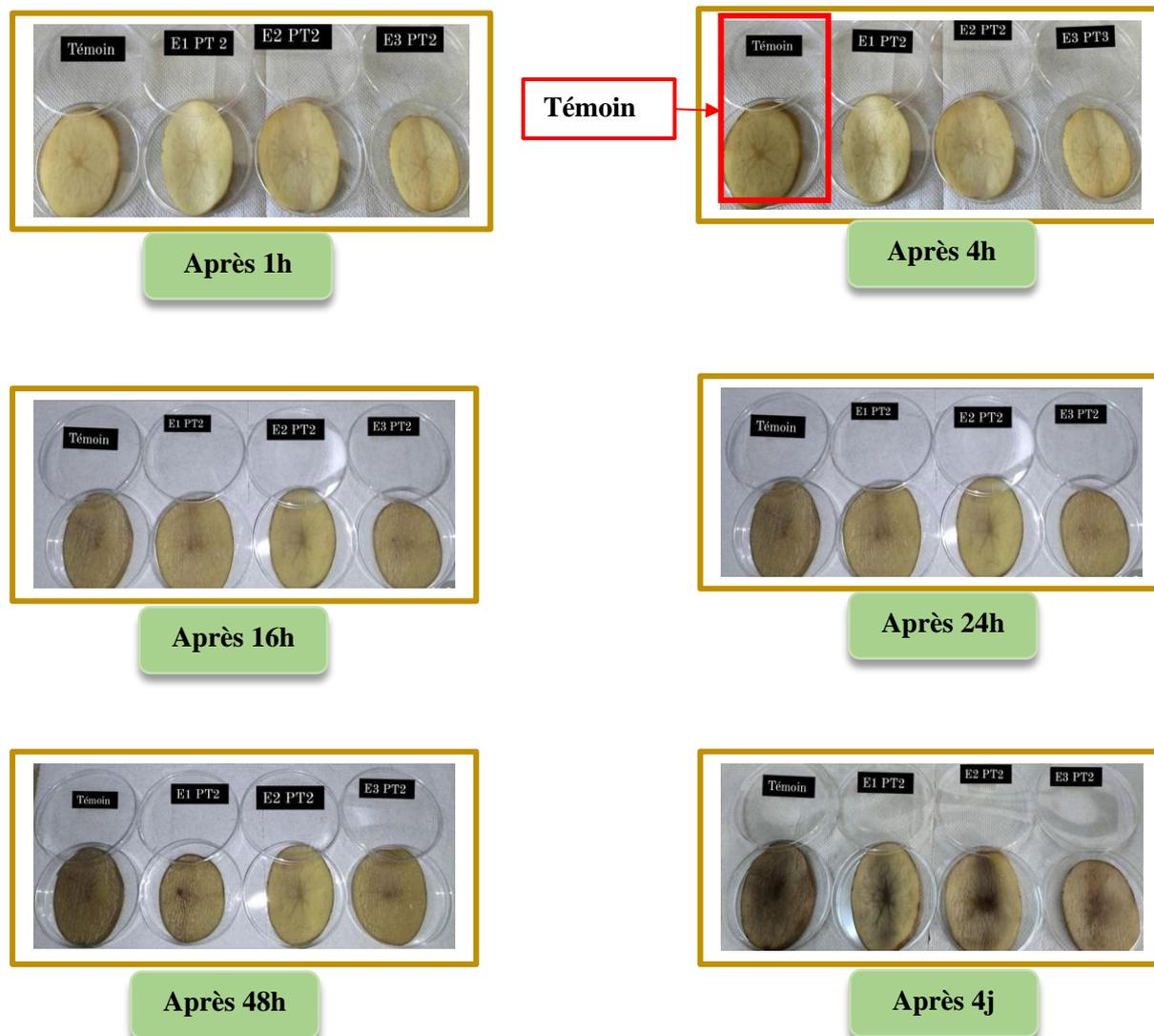


Figure 25: Photos originales de l'activité anti-brunissement enzymatique du miel M2 sur les tranches de pomme de terre à température ambiante.

E : Essai. **PT :** Pomme de terre.

V.2.2. Unité de brunissement (UB)

Les valeurs de l'unité de brunissement obtenues à température ambiante (20 °C) sont supérieures à celles enregistrées à température frigorifique (4 °C) et oscillent de 24,3 à 143,34 UB à 4 °C pendant 9 jours et de 42,1 à 130,02 UB à température ambiante durant 4 jours (Figure 26).

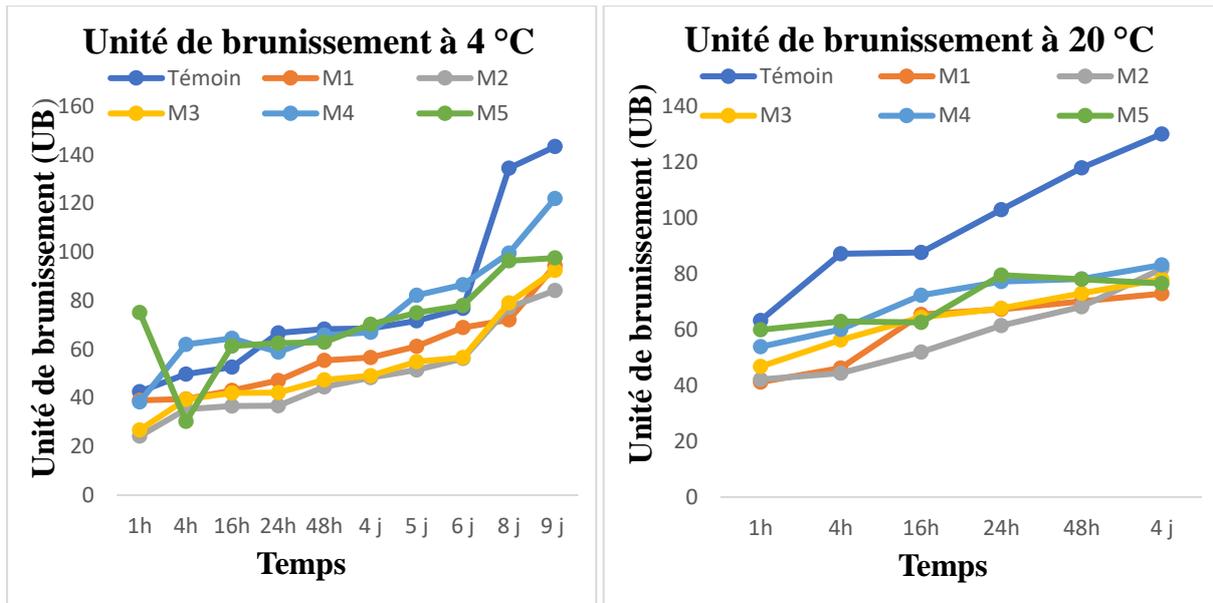


Figure 26 : Unité de brunissement des tranches de pomme de terre traitées avec des solutions de miel (10%) et stockées à température ambiante (20 °C) et 4 °C.

La figure montre que toutes les solutions de miel possèdent un pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique.

A température 4 °C, le brunissement le moins prononcé est constaté dans les pommes de terre traitées par le miel polyfloral M2, en notant des valeurs qui oscillent de 24,3 après 1h à 84,2 après 9j. L'unité de brunissement de l'échantillon traité par le miel monofloral M4 est la plus élevée (53,8 après 1h à 83,1 UB après 9j). Les valeurs des tranches témoins varient de 42,63 à 143,43 UB durant la période de stockage.

A température ambiante, le miel M2 de couleur marron foncée a la meilleure capacité anti-brunissement en enregistrant des valeurs allant de 42,1 après 1h à 68,17 UB 48h puis jusqu'à 84,2 UB après 4 jours de conservation. Cependant, les valeurs de l'unité de brunissement des coupes de pommes de terre, auxquelles le miel *Rosaceae* M4 est ajouté, varient de 53,8 après 1h à 83,1 UB après 4j. Les tranches témoins enregistrent des unités de brunissement allant de 63,23 à 130,02 UB.

V.2.3. Indice de brunissement (IB)

Le taux de brunissement des tranches de pomme de terre enrobées de solutions de miel (10 %) est mesuré suivant la méthode de détermination de l'indice de brunissement à deux températures, ambiante (20 °C) et frigorifique (4 °C) (Figure 27).

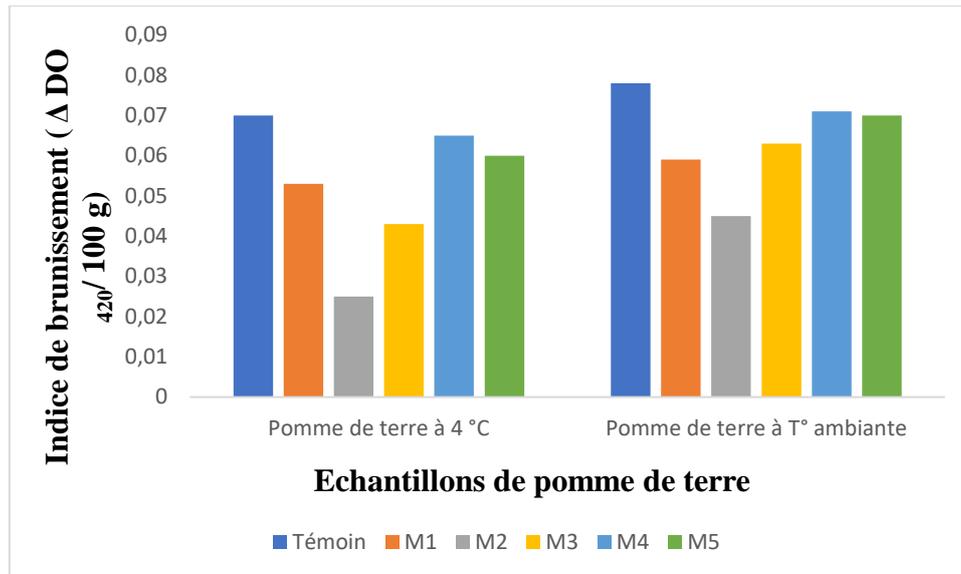


Figure 27 : Indice de brunissement des tranches de pomme de terre traitées avec les solutions du miel (10 %) à 4 °C et à T° ambiante.

Les miels utilisés retardent le brunissement des tranches de pomme de terre mais des fluctuations plus prononcées sont observées chez les tranches stockées à température ambiante par rapport à celles conservées à 4 °C. Le miel M2 enregistre le taux de brunissement le plus faible à deux températures (0,02/ 100 g à 4 °C et 0,04/ 100 g à 20 °C), en raison peut être de sa forte concentration en composés phénoliques et en protéines. L'indice de brunissement le plus élevé dans les tranches traitées est détecté dans celles préparées avec le miel M4 en enregistrant les valeurs suivantes : 0,06/ 100 g à 4 °C et 0,07/ 100 g à 20 °C. Les tranches préparées dans l'eau distillée possèdent le taux de brunissement le plus élevé à deux températures 0,07/ 100 g à 4 °C et 0,078/ 100 g à 20 °C.

Les cinq échantillons de miel possèdent un pouvoir inhibiteur des enzymes de brunissement (PPO et POD). **Viunda-Martos et al. (2008)** ont rapporté que le miel contient des substances susceptibles d'inhiber ces deux enzymes, notamment les flavonoïdes et les peptides de poids moléculaire faible, en réduisant l'oxygène impliqué dans la réaction de brunissement ou en se liant au site actif de l'enzyme induisant son inactivation. En effet, le miel marron foncé M2 est riche en composés phénoliques et en protéines d'où sa forte capacité inhibitrice pour les enzymes de brunissement.

Les miels M3, M1 et M5 montrent leur pouvoir anti-brunissement à des degrés différents. **Lemerini (2016)** et **Lim et al. (2019)** ont indiqué que la variabilité du pouvoir anti-brunissement du miel dépend essentiellement du type et de la teneur variable en antioxydants, ainsi que de son acidité et la présence de certains interférents dans le légume empêchant son effet inhibiteur du brunissement enzymatique.

Le brunissement des tranches traitées par le miel M5 est maximal après une heure d'incubation puis subit une diminution. Cela peut suggérer que la forte activité de la PPO est inhibée par le miel M5 qui a agit en réduisant les o-quinones formés en polyphénols originaires. Le miel M4 a une faible capacité d'inhibition du brunissement malgré sa bonne teneur en antioxydants, ceci pourrait être lié à la présence des interférents dans la pomme de terre ainsi qu'à la couleur brune foncée du miel. **Chen et al. (2000)** et **Gacche et al. (2009)** ont confirmé ces informations sur certains végétaux.

V.2.4. Activité enzymatique de la PPO

L'activité enzymatique de la PPO des échantillons de pommes de terre traitées par les miels a subi une diminution durant la période de stockage à deux températures par rapport aux échantillons témoins (Figure 28). Elle varie entre 0,02 à 0,07 $\mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$ à température 4 °C et de 0,045 à 0,078 $\mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$ à température ambiante (20 °C).

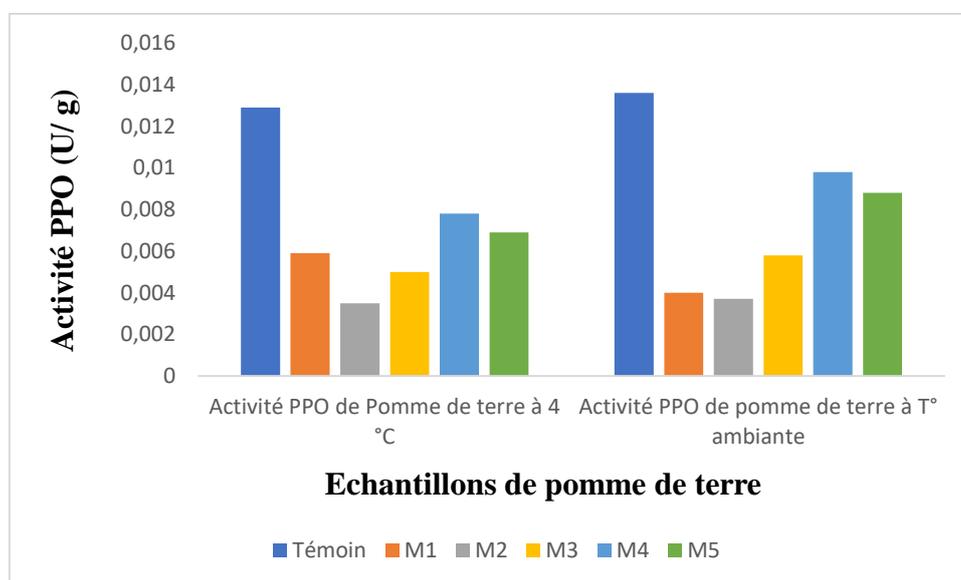


Figure 28 : Activité enzymatique de l'enzyme Polyphénol oxydase (PPO) des tranches de pomme de terre traitées par les échantillons de miel (10 %) à 4 °C et à T° ambiante (20 °C).

Les résultats obtenus indiquent que les valeurs de l'activité enzymatique à 4 °C sont inférieurs à ceux notés à 20 °C.

L'échantillon traité par le miel M2 possède l'activité de la PPO la plus faible ($0,003 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$ à 4°C et $0,009 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$ à 20°C) tandis que le maximum de cette activité est enregistré par la pomme de terre préparée avec le miel M4 à deux températures, basse et ambiante ($0,007 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$ et $0,015 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$). Les pommes de terre enrobées des miels M3, M1 et M5 montrent une activité enzymatique variable. En revanche, le taux d'activité des tranches témoins est de $0,12$ et $0,14 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$ à 4°C et 20°C , respectivement.

V.2.5. Activité enzymatique de la POD

Les cinq solutions de miel ont réduit l'activité enzymatique de la POD des échantillons de pomme de terre à température basse et ambiante (Figure 29). Cette activité varie entre $0,39$ à $1,37 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$ à deux températures.

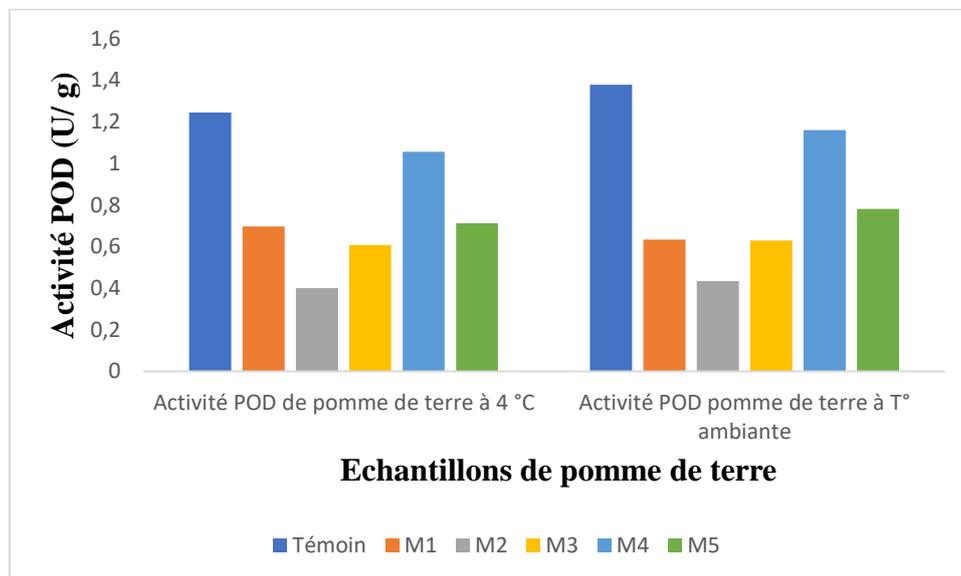


Figure 29 : Activité enzymatique de l'enzyme peroxydase (POD) des tranches de pomme de terre traitées par les échantillons de miel à 4°C et à T° ambiante.

D'après la figure ci-dessus, le taux de l'activité enzymatique à 4°C est faible par rapport à celui obtenu à température ambiante.

Lors de stockage à basse température, la plus haute valeur est déterminée chez les tranches de pomme de terre traitées par le miel M2 ($0,39 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$) tandis que la plus faible valeur est enregistrée dans les tranches enrobées par le miel *Rosaceae* M4 ($1,05 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$) après l'échantillon témoin ($1,24 \mu\text{mol. min}^{-1}.\text{g}^{-1}$).

Dans le cas de stockage à température ambiante, la valeur la plus faible valeur de l'activité enzymatique de la POD est enregistrée par l'échantillon traité par le miel M2 ($0,43 \mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$) tandis que la valeur la plus élevée est obtenue par l'échantillon de pomme de terre enrobé du miel M4 ($1,15 \mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$). L'échantillon témoin possède l'activité enzymatique la plus haute ($1,37 \mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$).

Les miels M2 et M4 sont les plus riches en composés phénoliques et en protéines, ce qui expliquerait la diminution de l'activité des enzymes PPO et POD inhibée par M2. En revanche, le miel M4 semble ne pas avoir parfaitement inhibé les deux enzymes peut être en raison de la présence des interférents dans la pomme de terre. Les différents taux de l'activité enzymatiques des PPO et POD des tranches traitées s'expliquent par la composition variable des miels (antioxydants et peptides) et du légume utilisés ainsi que la température.

Les miels retardent le brunissement en inhibant les enzymes impliquées dans la réaction du brunissement enzymatique par différents mécanismes. Des flavonoïdes interagissent à la fois avec l'enzyme libre et complexé à son substrat, induisant l'inhibition de la PPO (**De la Rosa *et al.*, 2011**). De plus, la différence de la teneur en peptides de faible poids moléculaire (600 Da) ralentit le brunissement enzymatique par la formation d'un complexe stable entre le cuivre de l'enzyme PPO et le peptide (**Oszmianski et Lee, 1990**).

La température est un autre facteur important à prendre en compte. La combinaison miel-basse température est une forme d'inhibition des enzymes qui ont montré une faible activité à température frigorifique, en diminuant l'énergie des molécules de l'enzyme.

V.3. Jus de pomme et de fraise

V.3.1. Unité de brunissement (UB)

Les solutions de miels (10 %) ajoutés aux jus de pomme et de fraise ont pu retarder leur brunissement pendant un mois à température basse ($4 \text{ }^\circ\text{C}$). L'unité de brunissement varie de 19,13 à 31,87 UB pour le jus de pomme et entre 13,17 à 27,50 UB de t_0 à t 30 jours (Tableau III).

Tableau III : Unité de brunissement des jus de pomme et de fraise traités par les solutions de miel (10 %) durant un mois de stockage à 4 °C.

Temps	Jus de pomme			Jus de fraise		
	t ₀	t 7j	t 30j	t ₀	t 7j	t 30j
Témoin	15,23	28,47	31,87	13,17	17,50	27,50
M1	21,10	22,30	23,47	19,23	22,37	23,87
M2	24,23	26,47	29,10	23,93	24,20	26,30
M3	19,13	20,50	21,90	19,14	20,98	22,17
M4	24,20	24,78	26,33	23,23	24,33	25,50
M5	21,64	21,53	24,90	21,10	23,30	24,43

Les résultats obtenus montrent que le miel M3 a le meilleur pouvoir anti-brunissement de jus de pomme et de fraise en enregistrant l'unité de brunissement la plus basse (19,13 à 21,90 UB et 19,13 à 22,17 UB, respectivement de t₀ jusqu'à 30 jours). L'unité de brunissement la plus élevée est observée dans les jus traités par le miel M2 (24,23 à 26,33 UB pour le jus de pomme et 23,93 à 26,30 UB pour le jus de fraise pendant 30 jours d'incubation).

La nature acide du miel peut perturber les conditions de pH optimales requises pour l'activité des enzymes responsables du brunissement (PPO et POD), en modifiant le degré d'ionisation des groupements fonctionnels, ou la formation du complexe enzyme-substrat ou le maintien de la structure tridimensionnelle de l'enzyme, inhibant ainsi le brunissement enzymatique (**Lemerini, 2016**). En effet, le miel M3 semble avoir la plus forte capacité inhibitrice du brunissement des jus de pomme et de fraise suite à son acidité élevée, contrairement au miel M2 qui possède une acidité basse et donc un pouvoir inhibiteur bas et donc une unité de brunissement élevée.

De plus, le type et la concentration en antioxydants et en peptide de 600 Da d'un miel à autre ainsi que la composition chimique du fruit peut jouer un rôle dans le ralentissement du brunissement enzymatique (**Oszmianski et Lee, 1990 ; Chen et al., 2000**).

Les figures 30 et 31 représentent le suivi temporel de l'évolution du brunissement enzymatique des jus de pomme et de fraise traités avec les solutions de miel à 10 %.

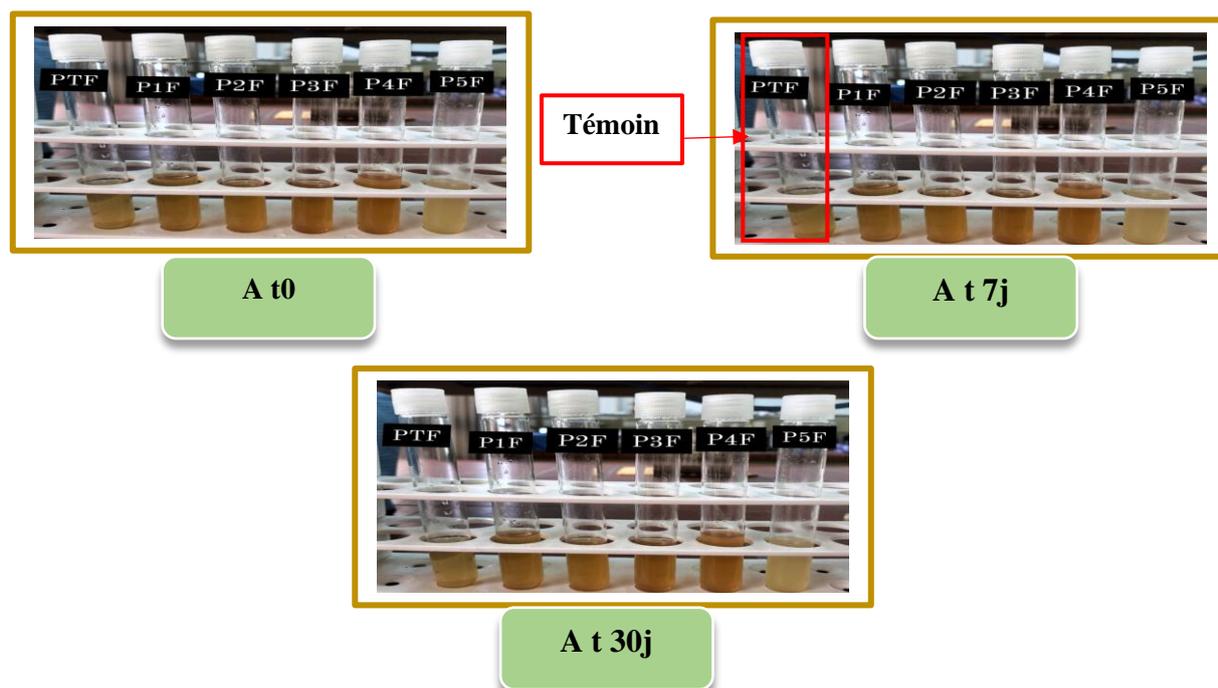


Figure 30 : Photographies des jus de pomme traités par les solutions de miel durant un mois de stockage à 4 °C.

P : Pomme. T : Témoin.

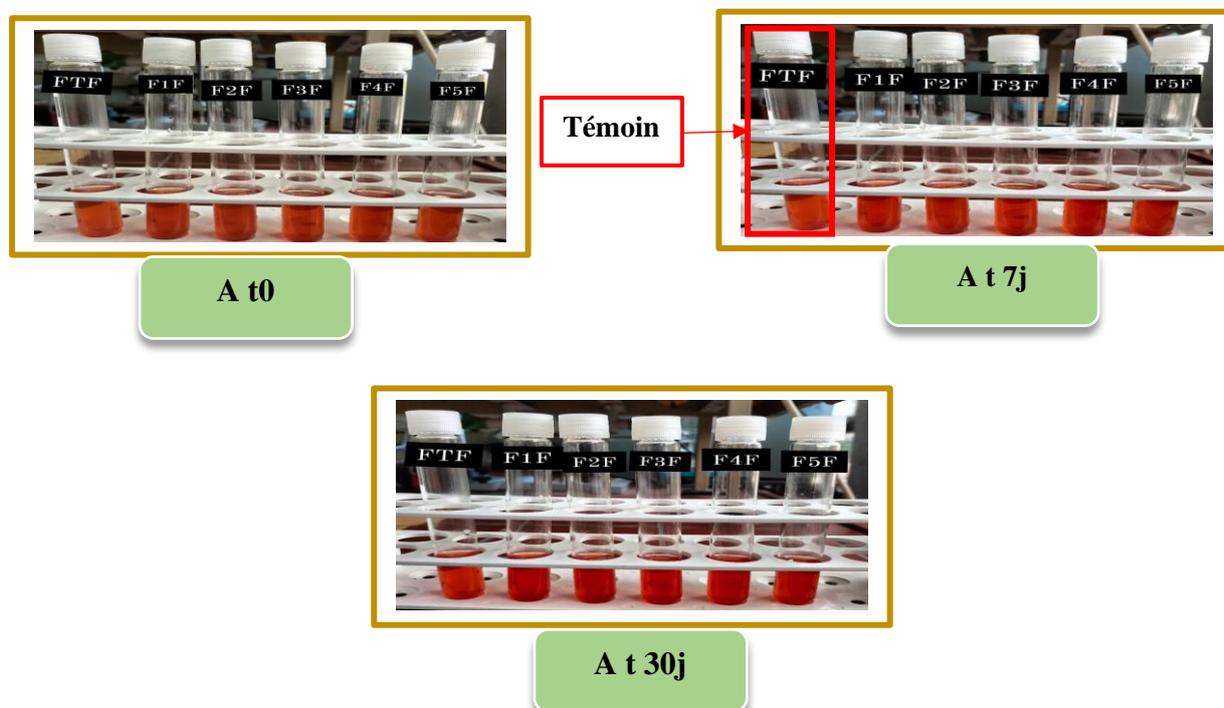


Figure 31 : Photos originales des jus de fraise traités par les solutions de miel durant un mois de stockage à 4 °C.

F : Fraise. T : Témoin.

Dans la figure 30, la variation de la couleur des jus de pomme à t0 n'est pas due au brunissement mais à l'ajout des solutions de miel, sachant que la couleur de celles-ci varie du jaune clair au marron foncé. L'augmentation de l'intensité de la coloration n'est constatée qu'au bout d'un mois de conservation. Cette augmentation est très légère.

Dans le jus de fraise (figure 31), aucune variation de couleur n'est constatée car le jus de fraise est de couleur rouge. Par conséquent, le brunissement enzymatique peut être invisible à l'œil nu dans le cas de certains jus.

V.3.2 Brix des jus de pomme et de fraise

La pomme et la fraise ont une teneur faible en sucres, celle-ci est corrélée avec le taux de glucide présent dans le jus de ces deux fruits. Le brix des jus de pomme et de fraise, auxquels les solutions de miel sont ajoutées, est plus élevé que celui des échantillons témoins (Tableau IV). Le miel a augmenté le taux des sucres présents dans les jus durant un mois de stockage.

Tableau IV : Brix (%) des jus de pomme et de fraise traités par les solutions de miel (10 %) durant un mois de conservation.

Temps	Jus de pomme			Jus de fraise		
	t0	t 7j	t 30j	t0	t 7j	t 30j
Témoin	4,67	3,27	2,73	4,50	3,67	3,27
M1	7,62	7,56	7,45	7,64	7,53	7,23
M2	9,25	9,1	9,0	8,33	8,18	7,97
M3	7,42	7,35	7,24	7,13	7,06	6,98
M4	8,25	8,17	8,09	8,13	8,00	7,89
M5	7,85	7,78	7,6	7,91	9,80	7,65

Les résultats représentés dans le tableau IV indiquent que le brix des deux jus traités par le miel M3 varie de 7,42 à 7,24 % dans le jus de pomme et de 7,13 à 6,98 % dans le jus de fraise de t0 jusqu'à un mois de conservation. Les jus de pomme et de fraise traités par le miel M2 ont enregistré durant 30 jours de conservation les valeurs suivantes : 9,25 à 9,0 % et 8,33 à 7,97 %, respectivement. Les valeurs du brix des jus témoin oscillent entre 4,67 à 2,73 % et 4,50 à 3,27 % pendant un mois pour les jus de pomme et de fraise respectivement.

La baisse des valeurs de brix pourrait probablement être causé par les activités métaboliques microbiennes ayant entraîné la conversion des sucres en acides organiques (Belhaj *et al.*, 2016).

Cependant, cette baisse est rapidement constatée dans les jus témoins par rapport aux jus préparés avec les solutions de miel. Par conséquent, le miel s'avère être un bon conservateur des jus frais grâce à ses propriétés antimicrobiennes. Par ailleurs, une légère baisse est seulement observé durant les premiers 7 jours de conservation, sachant que la bonne durée de conservation des jus non pasteurisés est d'une semaine.

V.3.3 pH des jus de pomme et de fraise

Dans l'ensemble, les valeurs de pH ont diminué pour tous les échantillons de jus (pomme et fraise) au cours de 30 jours de conservation (Tableau V). Les valeurs de pH des deux jus préparés avec les cinq solutions de miel sont inférieures à celles des jus témoins préparés avec l'eau distillée.

Tableau V: pH des jus de pomme et de fraise traités par les solutions de miel (10 %) durant un mois de conservation.

Temps	Jus de pomme			Jus de fraise		
	t ₀	t 7j	t 30j	t ₀	t 7j	t 30j
Témoin	4,08	4,07	4,01	3,86	3,77	3,6
M1	3,27	3,23	3,17	3,44	3,38	3,34
M2	3,7	3,36	3,29	3,56	3,52	3,49
M3	3,25	3,22	3,15	3,42	3,39	3,31
M4	3,3	3,27	3,22	3,52	3,49	3,43
M5	3,29	3,25	3,18	3,48	3,44	3,38

Les jus traités par le miel M3 enregistrent les valeurs de pH les plus faible. Elles varient de 3,25 à 3,15 pour le jus de pomme et de 3,42 à 3,31 pour le jus de fraise. Les jus de pomme et de fraise préparés avec le miel M2 enregistrent les valeurs suivantes, respectivement : 3,7 à 3,29 et 3,56 à 3,49 durant 30 jours de conservation. Les plus hausses valeurs sont enregistrées par les jus de pomme témoins (4,08 à 4,01) et les jus de fraise témoins (3,86 à 3,6).

La diminution du pH est probablement due à la présence de bactéries qui agissait sur les sucres en les transformant en acides organiques. L'acidité du miel est un facteur responsable de cette baisse, un pH faible du miel peut contribuer au changement de niveau de pH des jus de pomme et de fraise en les rendant plus acides.

V.2.4. Activité enzymatique de la PPO des jus de pomme et de fraise

Les valeurs de l'activité enzymatique de la PPO varient de 0,007 à 0,0032 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ et de 0,001 à 0,0034 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ dans les jus de pomme et fraise traités, respectivement (Figure 32).

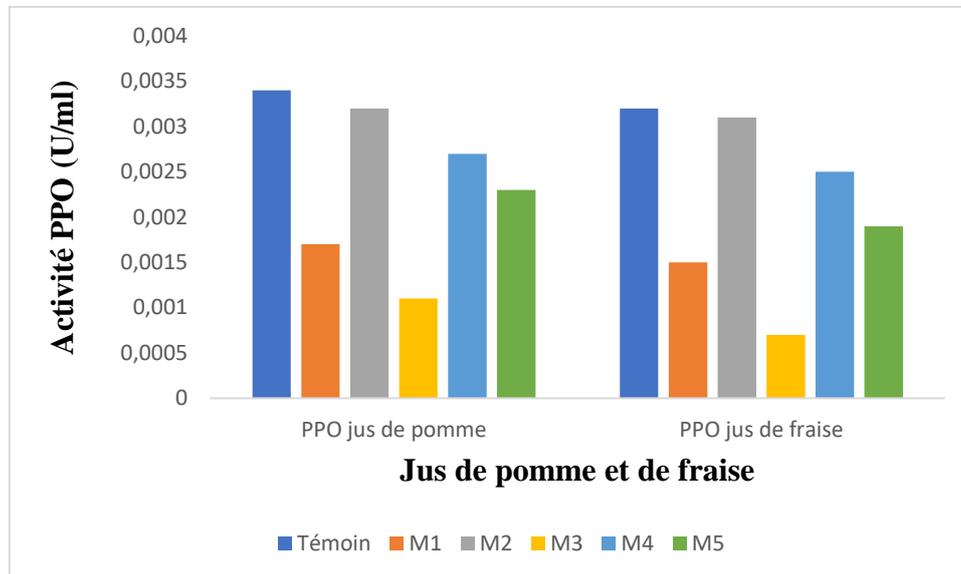


Figure 32: Activité enzymatique de l'enzyme Polyphénol oxydase (PPO) des jus frais de pomme et de fraise traités par les échantillons de miel (10 %).

L'activité enzymatique des jus frais et traités (pomme et fraise) est inférieure à celle des jus témoins. La plus basse valeur de l'activité de la PPO est observée dans les deux jus traités avec le miel M3 (0,0011 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ pour le jus de pomme et 0,0007 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ pour le jus de fraise). Les jus de pomme et de fraise préparés avec les miels M2 enregistrent les valeurs les plus élevées de l'activité enzymatique (0,0031 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ et 0,0032 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$, respectivement). Les jus témoins possèdent les valeurs suivantes : 0,0034 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ pour jus de pomme et 0,0032 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ pour jus de fraise.

V.2.5. Activité enzymatique de la POD des jus de pomme et fraise

Le taux de l'activité enzymatique des jus témoins de pomme et de fraise est supérieur à celui des jus traités par les solutions de miel (10 %) (Figure 33). Les valeurs obtenues varient de 0,0745 à 0,1962 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ pour les jus de pomme et de 0,444 à 0,1518 $\mu\text{mol. min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ pour les jus de fraise.

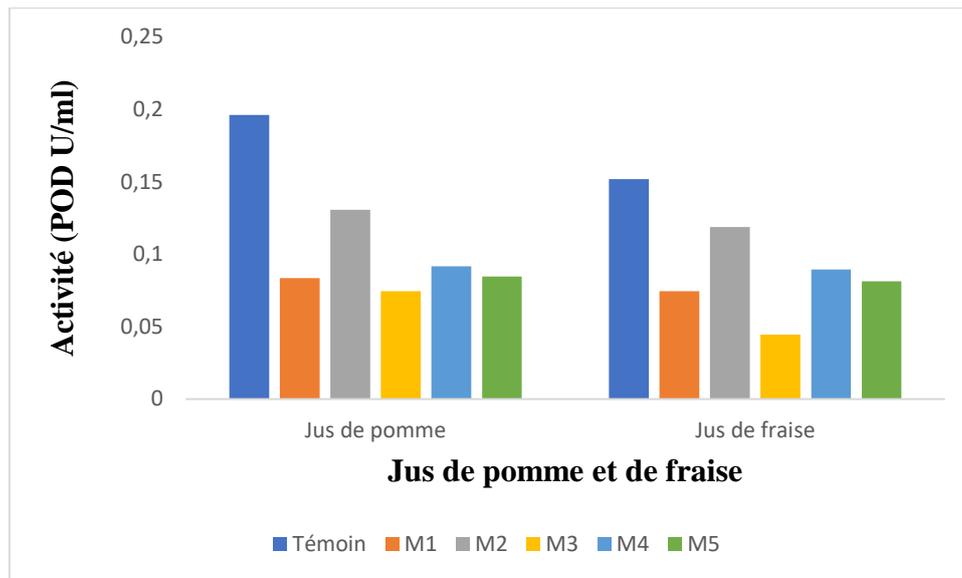


Figure 33: Activité enzymatique de l'enzyme peroxydase (POD) des jus frais de pomme et de fraise traités par les échantillons de miel.

Pour le jus de pomme, les échantillons traités par le miel M3 ont le taux d'activité de POD le plus bas avec une valeur de $0,0745 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$. L'activité enzymatique la plus élevée est constatée dans le jus préparé avec le miel M2 ayant la valeur suivante : $0,1304 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$. Les jus de pomme témoin ont enregistré $0,1962 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$ de l'activité de la POD.

Dans le cas de jus de fraise, la valeur la plus basse est enregistrée dans les jus préparés avec le miel M3 ($0,0444 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$). En revanche, l'activité enzymatique la plus haute est obtenue dans le jus auquel le miel M2 est additionné ($0,1187 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$). Le taux de l'activité de la POD des jus témoin est de $0,1518 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{ml}^{-1}$.

Les résultats obtenus montrent que le miel M3 possède un meilleur pouvoir inhibiteur des deux enzymes PPO et POD des jus de pomme et de fraise. En revanche, le taux d'inhibition de PPO et de POD par le miel M2 est relativement faible comparant aux autres échantillons de miel.

D'après **Yoruk et Marshal. (2003)**, le pH est un facteur important pouvant influencer l'activité des enzymes en induisant des modifications dans l'ionisation de certains groupements fonctionnels, notamment une dénaturation de la protéine empêchant la conformation appropriée au site actif. En effet, le pH optimal de la pomme varie de 3,4 à 4 et celui de la fraise entre 5 à 7, l'ajout du miel qui est de nature acide modifie les conditions environnementales en réduisant le niveau de pH et empêchant ainsi l'activité enzymatique des PPO et POD. Dans cette étude, le pH des jus de pomme et de fraise traités par les différentes solutions de miel est acide, ce qui

expliquerait la réduction de l'activité des enzymes PPO et POD inhibant ainsi le brunissement. Les miels M3, M1, M5, M4 et M2 sont classés du plus acide au moins acide, respectivement, ce qui peut corrélérer avec le degré d'inhibition des deux enzymes PPO et POD dans les deux jus de pomme et de fraise.

VII. Corrélations

VII.1. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques, molécules antioxydantes et activité antioxydante

Les analyses statistiques indiquent que la couleur et le pH du miel présentent une corrélation très hautement significative avec les molécules antioxydantes et les protéines ainsi qu'avec les activités antioxydantes (tests DPPH et pouvoir réducteur). De plus, les taux de polyphénol, de flavonoïdes et de protéines sont également très hautement corrélés avec l'activité antioxydante (tableaux VI et VII). Les résultats obtenus pour cette activité antioxydante présente une corrélation significative avec le taux en flavonoïdes et en polyphénols des miels analysés. Les miels M2 et M4 de couleur foncée présentent les teneurs les plus élevées en polyphénols, flavonoïdes et protéines, ainsi que les meilleures activités antioxydantes (test DPPH et pouvoir réducteur). Ces résultats enregistrés confirment les corrélations obtenues par **Ayad et al. (2021)** et **Amessiss-Ouchemoukh et al. (2021)**.

VII.2. Corrélations entre les paramètres physico-chimiques et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique

VII.2.1. Tranches d'aubergine et de pomme de terre

Les matrices de corrélation (tableaux VI et VII) révèlent l'existence d'une corrélation hautement significative entre la couleur du miel et l'unité de brunissement, l'indice de brunissement et la couleur des tranches d'aubergine aux deux températures d'une part, et une corrélation significative de la couleur avec les mêmes paramètres préalablement cités dans le cas des tranches de pomme de terre, d'une autre part. Ceci indique que plus la couleur est foncée plus l'unité et l'indice de brunissement sont grands, ce qui signifie l'existence du brunissement enzymatique. Le taux de protéines et les deux activités antioxydantes, à savoir le DPPH et le pouvoir réducteur, montrent une corrélation négative et significative avec les unités de brunissement, les indices de brunissement, la couleur des tranches de légumes et les activités des PPO et POD aux deux températures (ambiante et 4 °C).

Selon **Oszmianski et Lee (1990)**, une protéine de 600 Da de miel a le pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique. A température basse une corrélation hautement significative est constatée entre la couleur des légumes et l'indice et l'unité de brunissement ainsi que les activités enzymatique (PPO et POD). A température ambiante, également, il y a eu une corrélation très significative entre la couleur des légumes et l'indice et l'unité de brunissement ainsi que les activités enzymatique (PPO et POD). En effet, les miels M2 et M4 riches en molécules antioxydantes et en protéines possèdent le pouvoir inhibiteur du brunissement le plus efficace dans les tranches de pomme de terre et d'aubergine, respectivement.

La couleur des tranches analysées est corrélée avec leurs unités et indice de brunissement et les taux d'activité des enzymes impliquées.

Tableau VI: Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des tranches d'aubergine à température ambiante et à 4 °C.

	pH	Couleur	Brix	TP	TF	Prot	DPPH	PR	C Aub 1h 4°	C Aub 9j 4°	C Aub 1h amb	C Aub 5j amb	UB Aub 1h 4°	UB Aub 9j 4°	UB Aub 1h amb	UB Aub 5j amb	IB Aub t0 4°	IB Aub tf 4°	IB Aub t0 amb	IB Aub tf amb	PPO Aub amb	PPO Aub 4°	POD Aub 4°	POD Aub amb
pH	1,00																							
Couleur	0,48	1,00																						
Brix	-0,62	0,01	1,00																					
TP	0,73**	0,83** *	-0,34	1,00																				
TF	0,68**	0,74	-0,45	0,94***	1,00																			
Prot	0,73**	0,85** *	-0,12	0,79***	0,66**	1,00																		
DPPH	0,79***	0,80** *	-0,35	0,86***	0,85***	0,87***	1,00																	
PR	0,60*	0,93** *	-0,25	0,93***	0,86***	0,77***	0,84***	1,00																
C Aub 1h 4°	0,30	0,56	0,34	0,35	0,24	-0,61*	-0,44	-0,39	1,00															
C Aub 9j 4°	0,11	0,69**	0,16	0,52*	0,45	-0,57*	-0,53*	-0,60*	0,07	1,00														
C Aub 1h amb	0,02	0,48	0,57*	0,09	-0,04	-0,53*	0,26	0,21	0,76**	0,30	1,00													
C Aub 5j amb	0,28	0,58*	0,32	0,31	0,25	-0,60*	0,49	0,38	0,52*	0,48	0,86** *	1,00												
UB Aub 1h 4°	0,30	0,56*	0,34	0,35	0,24	-0,61*	0,44	0,39	1,00*	0,07	0,86** *	0,96** *	1,00											
UB Aub 9j 4°	0,12	0,68**	0,15	0,52*	0,45	-0,57*	-0,52*	-0,60*	0,16	1,00** *	0,30	0,10	0,08	1,00										
UB Aub 1h amb	0,02	0,48*	0,57*	0,09	-0,04	-0,53*	0,26	0,21	0,91** *	0,30	1,00* *	0,86** *	0,86** *	0,30	1,00									
UB Aub 5j amb	0,17	0,63*	0,37	0,34	0,29	-0,71**	0,44	0,43	0,64*	0,45	0,82** *	0,96** *	0,91** *	0,15	0,82** *	1,00								
IB Aub t0 4°	-0,35	0,72**	-0,13	-0,50	-0,40	-0,74**	-0,69**	-0,61*	0,55*	0,55*	-	0,66**	-0,57*	-0,55*	-0,75**	-	1,00							
IB Aub tf 4°	-0,07	0,68**	0,55*	0,33	0,22	-0,53*	0,27	0,42	0,71**	0,86** *	0,76**	0,72**	0,71**	0,46	0,76**	0,77** **	-0,51	1,00						
IB Aub t0 amb	-0,35	0,72**	-0,13	-0,50	-0,40	-0,74**	-0,69**	-0,61*	0,75**	0,41	0,66**	0,57*	-0,55*	-0,75**	-	0,52*	1,00*	-0,51	1,00					
IB Aub tf amb	0,22	0,04	-0,03	0,03	0,12	-0,11	0,16	0,00	0,58*	0,58*	0,27	0,59*	0,58*	-0,50	0,27	0,47	0,13	0,23	0,13	1,00				
PPO Aub amb	0,39	0,29	0,11	0,14	0,09	-0,46	-0,34	0,16	0,88** *	0,76**	0,69**	0,88** *	0,88** *	-0,30	0,69**	0,79** **	-0,30	0,42	-0,30	0,76* *	1,00			
PPO Aub 4°	0,01	0,49	0,57*	0,12	0,00	-0,52*	-0,28	0,23	0,88** *	0,89** *	0,98** *	0,88** *	0,88** *	0,30	0,98** *	0,84** **	-0,68**	0,79***	-0,68**	0,32	0,70**	1,00		
POD Aub 4°	0,01	0,49	0,57*	0,12	0,00	-0,52*	-0,28	0,23	0,98** *	0,91** *	0,98** *	0,88** *	0,88** *	0,30	0,98** *	0,84** **	-0,68**	0,79***	-0,68**	0,32	0,70**	1,00	1,00	
POD Aub amb	0,30	0,49	0,33	0,32	0,22	-0,64*	0,46	0,39	0,98** *	0,87** *	0,88** *	0,98** *	0,98** *	0,10	0,88** *	0,93** **	-0,57	0,74**	-0,57*	0,58	0,90***	0,90***	0,90***	1,00

Chiffre de couleur rouge : corrélation. ***: Corrélation très hautement significative. **: Corrélation très significative. *: Corrélation significative.

TP : teneur en polyphénols, TF : Teneur en flavonoïdes, Prot : Protéines, PR : pouvoir réducteur, C : couleur, UB Aub : Unité de brunissement aubergine, IB Aub : Indice de brunissement aubergine.

Tableau VII: Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des tranches de pomme de terre à température ambiante et à 4 °C.

	pH	Couleur	Brix	TP	TF	Prot	DPPH	PR	C PT 1h 4°C	C PT 9j 4°C	C PT 1H amb	C PT 4j amb	UB PT 1h 4°C	UB PT 9j 4°C	UB PT 1h amb	UB PT 4j amb	IB PT T0 4°C	IB PT Tf 4°C	IB PT t0 amb	IB PT tf amb	PPO PT 4°C	PPO PT amb	POD PT 4°C	POD PT amb	
pH	1,00																								
Couleur	0,48	1,00																							
Brix	-0,62	0,01	1,00																						
TP	0,73**	0,83** *	-0,34	1,00																					
TF	0,68**	0,74	-0,45	0,94***	1,00																				
Prot	0,73**	0,85** *	-0,12	0,79***	0,66**	1,00																			
DPPH	0,79***	0,80** *	-0,35	0,86***	0,85***	0,87***	1,00																		
PR	0,60*	0,93** *	-0,25	0,93***	0,86***	0,77***	0,84***	1,00																	
C PT 1h 4°C	-0,11	0,56*	0,08	-0,49	-0,48	-0,11	-0,15	-0,51	1,00																
C PT 9j 4°C	-0,57*	0,68*	0,83** *	-0,11	-0,19	-0,01	-0,20	0,05	0,15	1,00															
C PT 1H amb	-0,06	0,76** *	-0,56*	-0,43	-0,31	-0,54	-0,33	-0,59*	0,35	0,75**	1,00														
C PT 4j amb	0,72**	0,71** *	-0,74** *	-0,54*	-0,61*	-0,31	-0,46	0,41	0,28	0,73**	0,26	1,00													
UB PT 1h 4°C	-0,30	0,59*	0,17	-0,61*	-0,60*	-0,30	-0,35	-0,67**	0,94** *	0,45	0,39	0,38	1,00												
UB PT 9j 4°C	-0,01	0,69**	-0,34	-0,22	-0,21	-0,26	-0,15	-0,35	0,62*	0,85** *	0,59*	0,53*	0,67**	1,00											
UB PT 1h amb	-0,06	0,76** *	-0,56*	-0,43	-0,31	-0,54*	-0,33	-0,59*	0,46	0,48	1,00	0,26	0,39	0,59**	1,00										
UB PT 4j amb	-0,59*	0,66**	-0,70** *	-0,56*	-0,64*	-0,16	-0,39	-0,41	0,39	0,56*	0,30	0,90** *	0,56*	0,10	0,30	1,00									
IB PT T0 4°C	-0,24	0,58*	0,47	-0,28	-0,26	-0,18	-0,16	-0,31	0,82** *	0,31	0,66**	0,32	-0,07	-0,04	0,66**	0,42	1,00								
IB PT Tf 4°C	-0,09	0,61**	-0,11	-0,06	-0,04	-0,09	-0,00	-0,15	0,53*	0,76** *	0,20	0,54*	0,60*	0,87** *	0,20	0,85** **	0,44	1,00							
IB PT t0 amb	-0,24	0,52*	0,47	-0,28	-0,26	-0,18	-0,16	-0,31	0,15	0,51*	0,66**	0,39	0,07	-0,04	0,66**	0,51*	1,00	0,44	1,00						
IB PT tf amb	-0,21	0,55*	-0,23	-0,21	-0,07	-0,45	-0,24	-0,39	0,29	0,45	0,52*	0,62*	0,43	0,77** *	0,52*	0,88** **	0,23	0,80***	0,49	1,00					
PPO PT 4°C	-0,01	-0,49	-0,35	-0,25	-0,22	-0,26	-0,14	-0,36	0,64*	0,59*	0,59*	0,58*	0,69**	0,98** *	0,59*	0,32	0,68*	0,88***	0,42	0,79** **	1,00				
PPO PT amb	-0,11	-0,49	-0,45	-0,37	-0,29	-0,54*	-0,36	-0,49	0,39	0,72**	0,69**	0,79** *	0,49	0,88** *	0,79** *	0,76** **	0,72***	0,69*	0,79***	0,84** **	0,90***	1,00			
POD PT 4°C	-0,01	-0,49	-0,35	-0,25	-0,22	-0,26	-0,14	-0,36	0,64*	0,59*	0,59*	0,68**	0,69**	0,98** *	0,59*	0,10	0,52*	0,88***	0,38	0,79** **	1,00	0,90***	1,00		
POD PT amb	-0,01	-0,49	-0,35	-0,25	-0,22	-0,26	-0,14	-0,36	0,64	0,71** *	0,65**	0,56*	0,69**	0,98** *	0,59*	0,71** **	0,58*	0,88***	0,67*	0,79** **	1,00	0,90***	1,00	1,00	

Chiffre de couleur rouge : corrélation. ***: Corrélation très hautement significative. **: Corrélation très significative. * Corrélation significative.

TP : teneur en polyphénols, TF : Teneur en flavonoïdes, Prot : Protéines, PR : pouvoir réducteur, C : couleur, UB PT : Unité de brunissement de pomme de terre, IB PT : Indice de brunissement de pomme de terre

VII.2.2. Jus de pomme et de fraise

La matrice de corrélation (tableaux VIII et IX) indique que la couleur du miel enregistre une corrélation hautement significative avec les unités de brunissement des jus. Une corrélation très hautement significative existe entre le pH du miel et les molécules antioxydantes, les activités antioxydantes, les protéines, les unités de brunissement ainsi que le pH et le brix des jus. Les polyphénols, les flavonoïdes, les protéines et tests d'activité antioxydante montrent une corrélation négative et très hautement significative avec l'unité de brunissement des jus et les activités des deux enzymes PPO et POD. Ceci confirme que plus les miels sont riches en antioxydants et protéines, plus l'activité enzymatique est inhibée. Également, Une corrélation négative est très hautement significative existe entre le pH des jus et leurs brix et entre le brix et les unités de brunissement et les activités de PPO et POD. En revanche, le pH des jus et leurs unités de brunissement sont fortement corrélés à l'activité enzymatique. Par conséquent, plus l'unité de brunissement est grande, plus l'activité enzymatique est grande, ce qui signifie le faible pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique du miel.

Les jus auxquels les cinq miels sont ajoutés ont un brix relativement élevé mais un pH bas. Ce dernier favorise l'inhibition des enzymes PPO et POD et le retardement du brunissement des jus.

Tableau VIII : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique du jus de pomme.

	pH	Couleur	Brix	TP	TF	Pro	DPPH	PR	UB J.P t0	UB J.P t 7j	UB J.P t30j	pH J.P t0	pH J.P 7j	pH J.P 30j	brix J.P t0	brix J.P 7j	brix J.P 30j	PPO J.P	POD J.P
pH	1,00																		
Couleur	0,48	1,00																	
Brix	-0,62*	0,01	1,00																
TP	0,73**	0,83***	0,34	1,00															
TF	0,68**	0,74**	0,45	0,94***	1,00														
Pro	0,73**	0,85***	0,12	0,79***	0,66**	1,00													
DPPH	0,79***	0,80***	0,35	0,86***	0,85***	0,87***	1,00												
PR	0,60*	0,93***	0,25	0,93***	0,86***	0,77***	0,84***	1,00											
UB J.P t0	0,93***	0,52*	-0,38	-0,67**	-0,68**	-0,67**	-0,78***	0,53*	1,00										
UB J.P 7j	0,88***	0,58*	-0,36	-0,64*	-0,64**	-0,57*	-0,71**	0,50*	0,87***	1,00									
UB J.P 30j	0,73**	0,69**	-0,30	-0,61*	-0,52*	-0,67**	-0,69**	0,64**	0,61*	0,65*	1,00								
pH J.P t0	0,66**	0,09	-0,62*	0,36	0,38	0,17	0,42	0,18	0,82***	0,64**	0,52*	1,00							
pH J.P 7j	0,56*	0,26	-0,59*	0,16	0,26	0,00	0,28	0,01	0,61*	0,75**	0,69*	0,87***	1,00						
pH J.P 30j	0,60*	0,31	-0,56*	0,15	0,28	0,30	0,43	0,50	0,49	0,63**	0,72***	0,36	0,56*	1,00					
brix J.P t0	0,52*	0,35	0,62*	0,22	0,15	0,42	0,47	0,24	-0,54*	-0,55*	-0,57*	-0,79***	-0,63**	-0,61**	1,00				
brix J.P 7j	0,85***	0,26	0,64*	0,25	0,24	0,29	0,42	0,40	-0,80***	-0,91***	-0,62**	-0,74***	-0,65**	-0,68**	0,36	1,00			
brix J.P 30j	0,76***	0,04	0,54*	0,38	0,37	0,39	0,31	0,15	-0,83***	-0,80***	-0,64**	-0,80***	-0,71**	-0,63**	0,40	0,67**	1,00		
PPO J.P	0,98***	0,49	-0,66**	-0,73**	-0,71**	-0,72**	-0,84**	-0,62*	0,96***	0,90***	0,74**	0,69**	0,61**	0,61**	-0,55*	-0,84***	-0,78***	1,00	
POD J.P	0,93***	0,42	-0,62*	-0,67**	-0,68**	-0,67**	-0,78***	-0,53*	0,96***	0,90***	0,74**	0,69**	0,61**	0,61**	-0,55*	-0,84***	-0,78***	1,00	1,00

Chiffre de couleur rouge : corrélation. ***: Corrélation très hautement significative. **: Corrélation très significative. *: Corrélation significative.

TP : Taux des polyphénols. **TF** : Taux des flavonoïdes. **Prot** : Protéines. **DPPH** : 2,2-diphinol-1-picrylhydrazyl. **PR** : Pouvoir réducteur. **UB J.P** : Unité de brunissement de jus de pomme. **pH J.P** : pH jus de pomme. **Brix J.P** : Brix de jus de pomme. **PPO** : Polyphénol oxydase. **POD** : Peroxydase.

Tableau IX : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques, les antioxydants et les activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique du jus de fraise.

	pH	Couleur	Brix	TP	TF	Pro	DPPH	PR	UB J.F t0	UB J.F 7j	UB J.F 30j	pH J.F t0	pH J.F 7j	pH J.F 30j	brix J.F t0	brix J.F 7j	brix J.F 30j	PPO J.F	POD J.F	
pH	1,00																			
Couleur	0,48	1,00																		
Brix	-0,62*	0,01	1,00																	
TP	0,73**	0,83***	-0,34	1,00																
TF	0,68**	0,74**	-0,45	0,94***	1,00															
Pro	0,73**	0,85***	-0,12	0,79***	0,66**	1,00														
DPPH	0,79***	0,80***	-0,35	0,86***	0,85***	0,87***	1,00													
PR	0,60*	0,93***	-0,25	0,93***	0,86***	0,77***	0,84***	1,00												
UB J.F t0	0,80***	0,76**	-0,62	-	0,86***	0,82***	0,83***	0,91***	1,00											
UB J.F 7j	0,75**	0,84***	-0,58	-	0,89***	0,87***	0,85***	-0,91***	0,92***	1,00										
UB J.F 30j	0,71**	0,84***	-0,30	-	0,98***	0,93***	0,78***	-0,86***	0,91***	0,91**	1,00									
pH J.F t0	0,74**	0,43	-	0,32	0,30	0,00	0,18	0,51	0,70*	0,73**	0,62*	1,00								
pH J.F 7j	0,49	0,38	-	0,29	0,32	0,12	0,24	0,36	0,50	0,57*	0,41	0,79**	1,00							
pH J.F 30j	0,57**	0,42	-	0,28	0,12	0,31	0,34	0,47	0,51	0,60*	0,48	0,75**	0,94***	1,00						
brix J.F t0	-	0,49	0,65**	0,36	0,22	0,20	0,22	0,31	-	-	-	-	-	-0,59*	1,00					
brix J.F 7j	-	0,47	0,67**	0,12	0,18	0,16	0,34	0,20	0,80***	0,76***	0,70**	0,75**	0,52*	-	0,98***	1,00				
brix J.F 30j	-	0,48	0,66**	0,28	0,29	0,13	0,24	0,12	0,78***	-0,76**	0,70**	0,81**	-0,60*	-	0,99***	0,99***	1,00			
PPO J.F	0,98***	0,49	-	-0,73**	0,71**	-0,72**	-0,84***	-0,62*	0,79***	0,77***	0,71**	0,79**	-0,57*	-	0,99***	0,99***	0,99***	1,00		
POD J.F	0,98***	0,49	-	-0,73**	-0,71**	-0,72**	-0,84***	-0,62*	0,81***	0,78***	0,71**	0,82**	0,58*	0,65**	0,99***	0,98***	0,99***	1,00	1,00	
			0,66**												-	-	-			
			0,66**												0,99***	0,98***	0,99***			

Chiffre de couleur rouge : corrélation. ***: Corrélation très hautement significative. **: Corrélation très significative. *: Corrélation significative.

TP : Taux des polyphénols. **TF :** Taux des flavonoïdes. **Prot :** Protéines. **DPPH :** 2,2-diphinol-1-picrylhydrazyl. **PR :** Pouvoir réducteur. **UB J.F :** Unité de brunissement de jus de fraise. **pH J.F :** pH jus de fraise. **Brix J.F :** Brix jus de fraise. **PPO :** Polyphénol oxydase. **POD :** Peroxydase.

VIII. ACP des paramètres physico-chimiques, antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique

D'après **Otmani et al. (2021)**, l'analyse en composantes principales (ACP) est définie en tant qu'un moyen de réduction de dimension d'information obtenue dans une grande base de données en un certain nombre de variable appelées « Composantes principales (CP) ». L'ACP est réalisée dans le but de préciser et de caractériser les similitudes entre les miels analysés et les relations entre les variables étudiées dans un espace bidimensionnel.

VIII.1. Tranches d'aubergine et de pomme de terre

Le cercle de corrélation (Figure 34) montre deux composantes principales (CP1 et CP2) qui représentent 76,03 % de la variation totale et qui sont exploitées dans l'interprétation des données. La CP1 exprime 50,44 % des données et elle représente dans la partie positive le brix, l'unité et l'indice de brunissement, les activités de la PPO et la POD aux deux températures pour les aubergines tandis que la couleur, le pH, les composés phénoliques, les protéines, DPPH et le Pouvoir réducteur, l'unité de brunissement et les PPO et POD des pommes de terre traitées à deux températures sont présentés dans la partie négative. Cependant, la CP2 explique 26,38 % des données et elle représente l'unité et l'indice de brunissement et les PPO et POD des aubergines et pommes de terre traitées à deux températures dans la partie positive. Par contre dans la partie négative, elle contient les paramètres physico-chimiques (couleur, pH, brix et protéines) des miels analysés, les antioxydants, les activités antioxydantes ainsi que l'unité et l'indice de brunissement des aubergines traitées à 4 et 20 °C. Suite au regroupement observé dans le cercle de corrélation, ce dernier montre qu'il y a des corrélations étroites entre la couleur, les composés phénoliques, les activités antioxydantes, l'unité et l'indice de brunissement et les activités enzymatiques des aubergines et les pommes de terre.

La discrimination par CP1 montre trois groupes d'échantillons de miels (figure 35). Le premier groupe, situé au centre de la partie positive, représente les miels M1, M3 et M5. Ces miels montrent une similitude en termes d'unité et d'indice de brunissement. Le deuxième groupe, localisé à droite de la partie négative, représente le miel M2 qui enregistre les meilleurs teneurs en paramètres physico-chimiques, en protéines, en composés phénoliques et activités antioxydantes. Le dernier groupe, situé à la gauche de la partie négative, représente le miel M4 qui est caractérisé par l'unité et l'indice de brunissement ainsi que l'activité enzymatique des pommes de terre traitées à 4 et 20 °C.

Les résultats de l'ACP illustrent une différence significative entre les miels analysés en termes des paramètres physico-chimiques, teneurs en antioxydants, activités antioxydantes et enzymatiques. Le cercle de corrélation confirme les corrélations obtenues dans cette étude. En effet, des corrélations très hautement significatives sont enregistrées entre couleur, les protéines, les tests DPPH et pouvoir réducteur et entre l'unité et l'indice de brunissement ainsi que les activités enzymatiques. Ceci est traduit par le rapprochement très fort de ces paramètres.

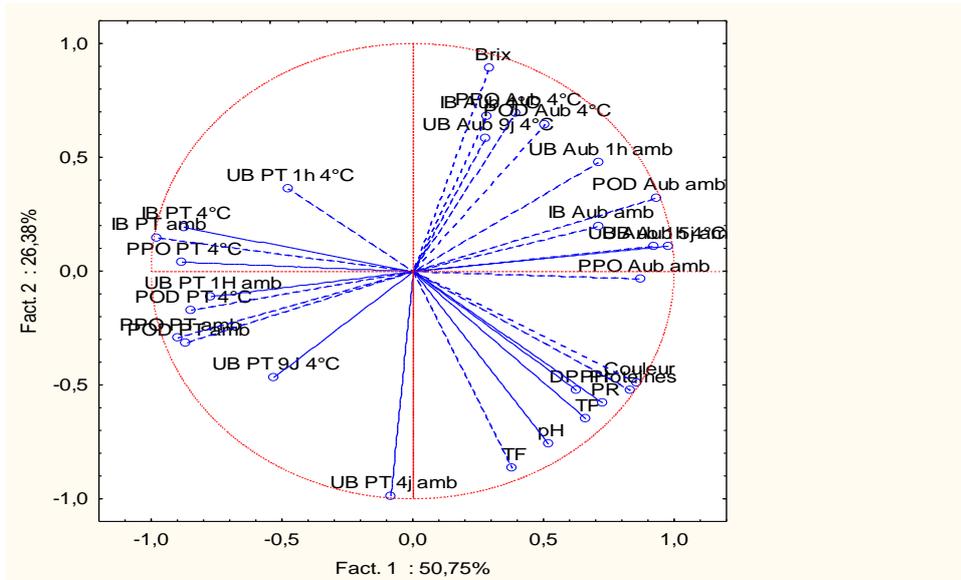


Figure 34 : Cercle de corrélation des paramètres physico-chimiques, antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des échantillons de miels analysés sur les tranches de légumes (Aubergine et pomme de terre).

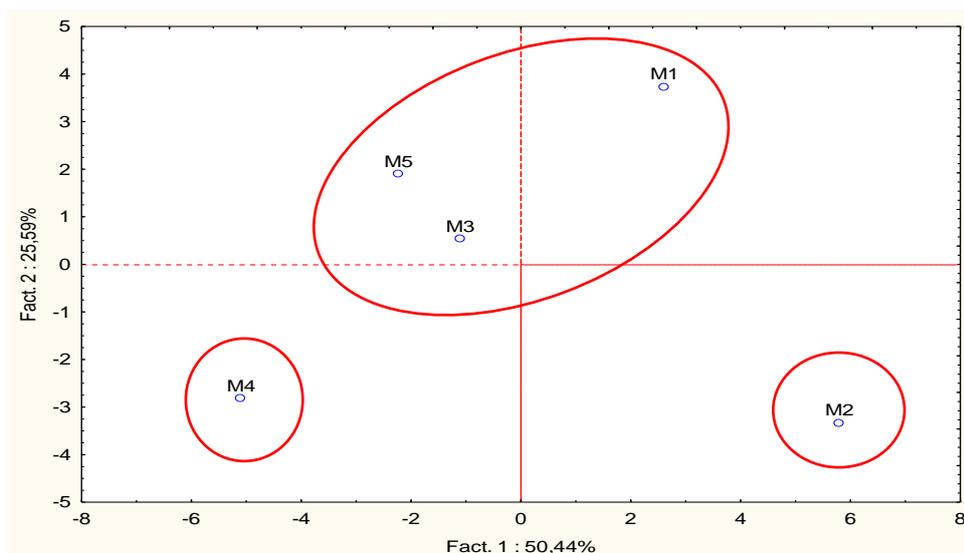


Figure 35: ACP des paramètres physico-chimiques, teneurs en antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des miels analysés sur les tranches de légumes (Aubergine et pomme de terre).

VIII.2. Jus de pomme et de fraise

Le cercle de corrélation (Figure 36) indique la présence de deux composantes principales CP1 et CP2 qui représentent 94,21 % de la variation totale. La CP1 explique 80,68 % des données et représente dans la partie positive les paramètres physico-chimiques, les antioxydants, les activités antioxydantes, le pH, le Brix, l'unité de brunissement et les activités enzymatiques du jus de pomme tandis que la partie négative contient l'unité de brunissement, le pH, le brix ainsi que les activités enzymatiques du jus de fraise. La CP2 exprime 13,53 % de la variation totale qui représente les paramètres physico-chimiques des miels, les antioxydants, les activités antioxydantes, les paramètres physico-chimiques des jus, leur unité de brunissement ainsi que leur activité enzymatique dans la partie négative tandis que sa partie positive est représentée uniquement par le brix de miel. Le cercle de corrélation montre des corrélations étroites observé entre la couleur, les protéines, les composés phénoliques, les activités antioxydantes, les paramètres physico-chimiques des jus, leur unité de brunissement et leur activité enzymatique.

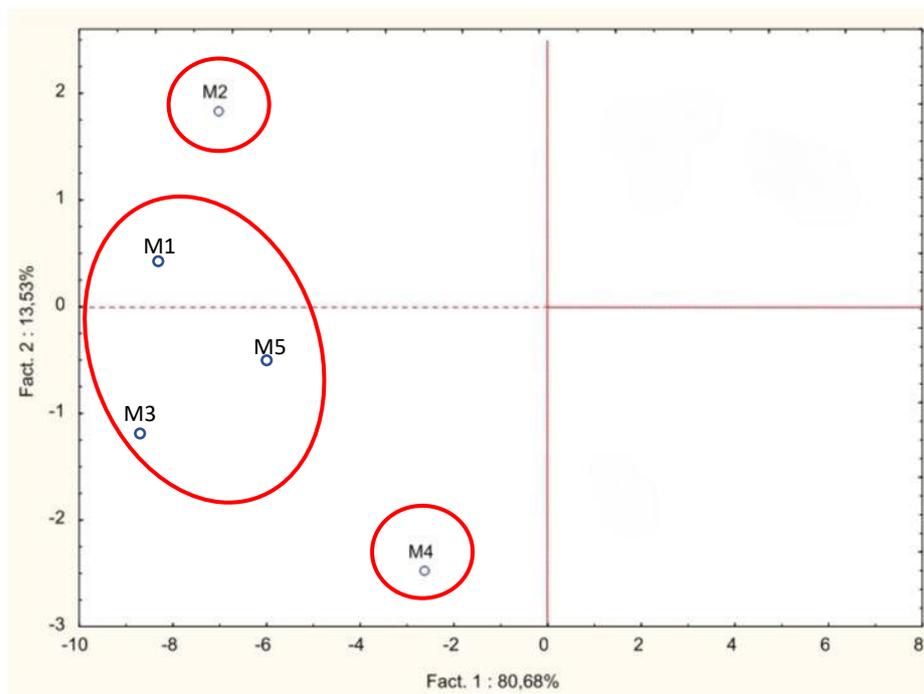


Figure 37 : ACP des paramètres physico-chimiques, teneurs en antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique des miels analysés sur les jus de pomme et de fraise.

Conclusion

Conclusion

Le travail réalisé est polarisé sur l'évaluation de la qualité de cinq miels de Bejaia, en étudiant leurs origines botaniques, leurs propriétés physicochimiques ainsi que leurs activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique de quelques légumes (aubergine et pomme de terre) et jus (pomme et fraise).

L'analyse pollinique montre que deux échantillons de miel M3 et M4 sont monofloraux avec dominance de deux types de pollen (*Fabaceae* et *Rosaceae*, respectivement) tandis que les trois miels restants sont avérés être polyfloraux.

L'étude physicochimique révèle que la couleur, le pH et le brix des miels varient de 0,34 à 1,22 DO ; de 3,63 à 4,11 et de 79,33 à 80,83 %, respectivement.

Les valeurs de la teneur en protéines, en polyphénols et en flavonoïdes oscillent de 280,19 à 647,37 mg EBSA/ 100 g ; de 61,86 à 162,69 mg EAG/ 100 g et de 35,14 à 90,40 mg EQ/ 100g, respectivement. L'étude de l'activité antioxydante est réalisée en établissant deux tests à savoir le test de réduction du DPPH (40,90 à 53,58 %) et celui du pouvoir réducteur (309,25 à 633,92 mg EQ/ 100g).

Afin de déterminer l'effet anti-brunissement des miels sur les tranches d'aubergine et de pomme de terre fraîchement coupées, plusieurs paramètres sont suivis tels que la couleur de surface des tranches, l'unité et l'indice de brunissement et le taux d'activité enzymatique des polyphénol oxydase (PPO) et peroxydase (POD) à température ambiante et à 4 °C. Les résultats indiquent que les miels les plus riches en molécules antioxydantes et en protéines (M2 et M4) ont retardé le brunissement dans les tranches d'aubergine et de pomme de terre, respectivement.

Dans le cas des jus de pomme et de fraise, l'unité de brunissement, le pH et le brix ont été suivi durant un mois de stockage. Le taux d'activité enzymatique des PPO et POD a été également déterminé. Le miel 3 *Fabaceae* possède le meilleur pouvoir inhibiteur du brunissement enzymatique suite à son pH acide. De différentes corrélations (très hautement et hautement significatives) ont été observées entre les paramètres physicochimiques, antioxydants et activités antioxydante et anti-brunissement enzymatique. En outre, il convient de noter que les résultats de cette étude peuvent varier en fonction des types du miel utilisés, des fruits et légumes spécifiques et des conditions de pH et de température.

Pour l'approfondissement et la continuité de ce travail, il est préférable :

- D'étudier le pouvoir anti-brunissement du miel sur d'autres produits alimentaires tels que les viandes.
- De comparer le miel à d'autres agents et produits inhibiteurs du brunissement enzymatique tels que les acides ascorbique et citrique.
- De réaliser une HPLC (Chromatographie en phase liquide à haute performance) afin d'identifier et de quantifier les composés phénoliques du miel.
- D'intégrer et de combiner des substances inhibitrices du brunissement dans des produits d'emballage pour empêcher ce processus.
- D'encourager la production commerciale des produits alimentaires peu transformés en les mélangeant avec du miel.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Achouri, M.Y., Selka, M.A., Chenafa, A., Brahim, S., Messafeur, M.A., Toumi, H. (2019). Teneur en 5-hydroxyméthylfurfural (HMF) dans les miels du Nord-Ouest de l'Algérie. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 31, 100-105.

Achouri, M.Y., Selka, M.A., Sidi Yakoub, M.N. (2021). Physical methods used in the characterization and quality control of honey: a general review. *Algerian journal of pharmacy*, 4, 8-14.

Al, M.L., Daniel, D., Moise, A., Bobis, O., Laslo, L., Bogdanov, S. (2009). Physico-chemical and bioactive properties of different floral origin honeys from Romania. *Food Chemistry*, 112, 863-867.

Alla, T.K., Bomisso, L.E., Tuo, S., Dick, E.A. (2021). Effet de la fertilisation organique à base de banane plantain et de fiente de poulet sur les paramètres agronomiques et la rentabilité financière de l'aubergine N'dora (*Solanum melongena L.*) en côte d'ivoire. *Afrique Science*, 18 (6), 25-28.

Albu, A., Radu-Rusu, G.G., Pop, I.M., Frunza, G., Nacu, G. (2021). Quality Assessment of Raw Honey Issued from Eastern Romania. *Agriculture*, 11, 1-17.

Aljadi, A.M., Kamaruddin, M.Y. (2004). Evaluation of the phenolic contents and antioxidant capacities of two Malaysian floral honeys. *Food Chemistry*, 85 (4), 513-518.

Amessis-Ouchemoukh, N., Maouche, N., Otmani, A., Terrab, A., Madani, K., Ouchemoukh, S. (2021). Evaluation of Algerian's honey in terms of quality physicochemical analysis and their antioxidant powers. *Mediterranean journal of nutrition and metabolism*, 14, 305-324.

Andre, C.M., Oufir, M., Guignard, C., Hoffmann, L., Hausman, J.F., Evers, D., Larondelle, Y. (2007). Antioxidant profiling of native Andean potato tubers (*Solanum tuberosum L.*) reveals cultivars with high levels of β - Carotene, α -Tocopherol, chlorogenic acid, and petanin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 10839-10849.

Arnold, M., Gramza-Michalowska, A. (2022). Enzymatic browning in apple products and its inhibition treatments : A comprehensive review. *Food Science and Food Safety*, 21, 5038-5076.

Aubert, S., Daunay, M.C., Pochard, E. (1989). Saponosides stéroïdiques de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) I. Interet alimentaire, méthodologie d'analyse, localisation dans le fruit. *Agronomie*, 9 (7), 641-651.

Ávila, S., Hornung, P.S., Teixeira, G.L., Malunga, L.N., Apea-Bah, F.B., Beux, M.R., Beta, T., Ribani, R.H. (2019). Bioactive compounds and biological properties of Brazilian stingless bee honey have a strong relationship with the pollen floral origin. *Food Research International*, 123, 1-10.

Ayad, R., Amessis-Ouchemoukh, N., Ouchemoukh, S., Madani, K., Boulekbache-Makhlouf, L. (2021). Pollen profiles, physicochemical characteristics, and antioxidant activities of two honey samples from Jijel city (Algeria). *Food Technology*, 45 (2), 147-167.

Azeredo, L.C., Azeredo, M.A.A., Souza, S.R., Dutra, V.M.L. (2003). Protein contents and physicochemical properties in honey samples of *Apis mellifera* of different floral origins. *Food Chemistry*, 80 (2), 249-254.

Baloš, Z.M., Jakšić, S., Popov, N., Mihaljev, Z., Pelić, D.L. (2019). Comparative study of water content in honey produced in different years. *Archives of Veterinary Medicine*, 12 (1), 43-53.

Baltacioglu, H., Bayindirli, A., Severcan, M., Severcan, F. (2015). Effect of thermal treatment on secondary structure and conformational change of mushroom polyphenol oxidase (PPO) as food quality related enzyme : A FTIR study. *Food Chemistry*, 187, 263-269.

Bates., C.J. (1997). Bioavailability of vitamin C. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51, 28-33.

Belhaj, O., Abbadi, EL., Ouchebani, T. (2016). Contribution à l'étude de l'activité antibactérienne du miel naturel d'origine marocaine. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 4 (3), 12-22.

Beretta, G., Granata, P., Ferrero, M., Orioli, M., Maffei-Faciano, R. (2005). Standardization of antioxidant properties of honey by a combination of spectrophotometric and two-Dimensional High-Resolution Nuclear Magnetic Resonance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (15), 8495-8501.

Bogdanov, S. (1999). Stockage, Cristallisation et liquéfaction du miel. *Centre Suisse de Recherche Apicole*, 6, 1-5.

Bogdanov, S., Lüllman, C., Martin, P., Von-Der, W., Russmann, H., Vorwohl, G., Persano-Oddo, L., Sabatini, A.G., Marcazzan, G.L., Piro, R., Flamini, C., Morlot, M., Heritier, J., Borneck, R., Marioleas, P., Tsigouri, A., Kerkvliet, J., Ortiz, A., Ivanov, T., Darcy, B., Mossel, B., Vit, P. (1999). Honey quality and international regulatory standards : review by the international honey commission. *Bee World*, 80 (2), 61–69.

Bogdanov, S., Martin, P., Lullman, C., Borneck, R., Flamini, C.H., Marlot, M., Heritier, J., Ortiz, O., Ivano, T.Z. (1997). Harmonised methods of the European Honey commission. *Apidologie*, 28, 1-59.

Bogdanov, S., Ruoff, K., Persano, O.L. (2004). Physico-chemical methods for characterisation of unifloral honeys. *Apidologie*, 35 (1), 4-17.

Bonté, F., & Desmoulière, A. (2013). Le miel : origine et composition. *Actualités Pharmaceutiques*, 52, 18–21.

Bradford., M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.

Burgos, G., Amoros, W., Morote, M., Stangoulis, J., Bonierbale, M. (2007). Iron and Zinc Concentration of native Andean potato varieties from a human nutrition perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 668-675.

Chen, L., Mehta, A., Berenbaum, M., & Engeseth, N. (1998). The potential use of honey as an inhibitor of enzymatic browning. *Presented at Annual Meeting Institute of Food Technologists*, 29, 12-26.

- Chen, L., Mehta, A., Berenbaum, M., Zangerl, A.R., & Engeseth, N.J. (2000).** Honeys from different floral sources as inhibitors of enzymatic browning in fruits and vegetables homogenates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4997-5000.
- Chirsanova, A., Capcanari, T., Boistean, A., Siminiuc, R. (2021).** Physicochemical profile of four type of honey from the south of the republic of Moldova. *Food and Nutrition Science*, 12, 874-888.
- Chua, L.S., Rahman, N.L.A., Adnan, N.A., Tan, T.T.E. (2013).** Antioxydant activity of three honey samples in relation with their biochemical components. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2013, 1-8.
- Codex alimentaire. (2001).** Revised codex standard for honey. Codex standard 12-1981, Revue, 1 (1987). 12, 1-10.
- Commission Européenne. (2002).** Directive 2001/110/EC du 20 décembre 2001 relative au miel. *Journal Officiel des Communautés Européennes*, 10, 47–52.
- Cziple, S., Filep, R., Balažoyà, E., Szentgyörgyi, H., Balázs, V.L., Kocsis, M., Purger, D., Papp, N., Farkas, A. (2022).** Antioxidant Capacity Determination of Hungarian-, Slovak-, and Polish-Origin Goldenrod Honeys. *Plants*, 11 (6), 792.
- Daas Amiour, S. (2017).** Mise en évidence du brunissement enzymatique post récolte des dattes Deglet Nour et Ghars. Thèse Doctorat, Biochimie : Université de Batna 2, p. 169.
- Dailly, H. (2008).** Le réfractomètre, un outil essentiel. *Abeille et cie*, 122, 30-32.
- Damasceno do Vale, M.A., Gomes, F.A., Cunha dos Santos, B.R., Ferriera, J.B. (2018).** Honey Quality of *Melipona sp.* bees in Acre, Brazil. *Acta Agronomica*, 67 (2), 60836.
- Das, M.K., Sharma, R.S., Mishra, V. (2011).** A novel cationic peroxidase (VanPrx) from a hemi-parasitic plant (*Viscum angulatum*) of Western Ghats (India): purification, characterization and kinetic properties. *Journal of Molecular Catalysis B : Enzymatic*, 71, 63-70.
- Da-Silva, P.M., Gauche, C., Gonzaga, L.V., Costa, A.C.O., Fett, R. (2016).** Honey : Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309-323.

De la Rosa, L.A., Alvarez-Parrilla, E., Moyers-Montoya, E., Villegas-Ochoa, M., Ayala-Zavala, J.F., Hernández, J., Ruiz-Cruz, S., González-Aguilar, G.A. (2010). Mechanism for inhibition of apple juice enzymatic browning by Palo Fierro (desert ironweed) honey extract and other natural compounds. *Food Science and Technology*, 44, 269-276.

Delaplace, P., Fauconnier, M.L., Dujardin, P. (2008). Méthodes de mesure de l'âge physiologique des tubercules semences de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 12 (2), 171-184.

Del-Río, G.I., López-Ibáñez, S., Magadán-Corpas, P., Fernández-Calleja, L., Pérez-Valero, A., Tuñón-Granda, M., Miguélez, E.M., Villar, C.J., Lombó, F. (2021). Terpenoids and Polyphenols as Natural Antioxidant Agents in Food Preservation. *Antioxidants*, 10 (8), 1264.

Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjmi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compound. *Food Chemistry*, 97, 654-660.

Doukani, K., Tabak, S., Derriche, A., Hacini, Z. (2014). Physicochemical and phytochemical study of some types of Algerian honeys. *Revue Ecologie-Environnement*, 10, 37-49.

Draiaia, R. (2016). Caractérisation physicochimique et appellation botanique des miels algériens (Cas des ruches langstroth). Thèse Doctorat, Biochimie appliquée : Université Badji Mokhtar – Annaba, p. 279.

Dżugan, M., Tomczyk, M., Sowa, P., Grabek-Lejko, D. (2018). Antioxydant Activity as Biomarker of Honey Variety. *Molecules*, 23, 1-14.

El-Seedi, H. R., El-Said, A. M. A., Khalifa, S. A. M., Göransson, U., Bohlin, L., Borg-Karlson, A. K., Verpoorte, R. (2012). Biosynthesis, natural sources, dietary intake, pharmacokinetic properties, and biological activities of hydroxycinnamic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 10877-10895.

Fenster, M. S. (2012). Eating well, Living better : The grassroots gourmet guide to good health and great food. *Rowman and Littlefield Publishers*, p. 132.

Gacche, R.N., Shinde, B.T., Dhole, N.A., Pund, M.M., Jadhav, A.D. (2008). Evaluation of floral honey for inhibition of polyphenol oxidase-mediated browning, antioxidant and antimicrobial activities. *Journal of Food Biochemistry*, 33, 693-706.

Galhardo, D., Garcia, R.C., Schneider, C.R., Braga, G.C., Chambo, E.D., Franca, D.L. B., Stöher, S.M. (2020). Physicochemical, bioactive properties and antioxidant of *Apis mellifera* honey from western Parana, southern Brazil. *Food science and technology*, 41 (1), 247-253.

Genot, C., Eymard, S., Viau, M. (2004). Comment protéger les acides gras polyinsaturés à longues chaînes oméga 3 vis-à-vis de l'oxydation, Oléagineux, corps gras, lipides, *Food Chemistry*, 11 (2), 133-141.

Ghnimi, W. (2015). Etude phytochimique des extraits de deux Euphorbiacées : *Ricinus communis* et *Jatropha curcas*. Evaluation de leur propriété anti-oxydante et de leur action inhibitrice sur l'activité de l'acétylcholinestérase. Thèse Doctorat, Chimie : Université de Lorraine, p. 225.

Gouzi, H. (2015). Extraction et caractérisation biochimique des polyphénols oxydases de champignons et leur application en biocatalyse supportée. Thèse Doctorat, Chimie et Physique des Matériaux : Université Pierre et Marie Curie, p. 141.

Gülcin, İ., Alici, H.A., Cesur, M. (2005). Determination of *in Vitro* Antioxidant and Radical Scavenging Activities of Propofol. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 53 (3), 281-285.

Hartmann, R., Buning-Pfaue, H. (1998). NIR determination of potato constituents. *Potato Research*, 41, 327-334.

Ibrahim Khalil, Md., Moniruzzaman, M., Boukraâ, L., Benhanifia, M., Asiful Islam, Md., Nazmul Islam, Md., Siti Amrah, S., Hua Gan, S. (2012). Physicochemical and Antioxidant Properties of Algerian Honey. *Molecules*, 17, 11199-11215.

Ibrahimu, H., Hajdari, A. (2020). Phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Kosovo. *Journal of Apicultural Resaerch*, 59 (4), 452-457.

- Imtara, H., Elamine, Y., Lyoussi, B. (2018).** Physicochemical characterization and antioxidant activity of Palestinian honey samples. *Food Science and Nutrition*, 6 (8), 2056-2065.
- Keke, A., Cinkmanis, I. (2019).** Determination of organic acids in honey samples from Latvian market by high-performance liquid chromatography. *Research For Rural Development*, 1, 229-233.
- Khalil, N., Bishr, M., Desouky, S., Salama, O. (2020).** *Ammi visnaga L.*, a potential medicinal plant : A review. *Molecules*, 25 (2), 1-18.
- Komosinska-Vassev, K., Olczyk, P., Kafmierczak, J., Mencner, L., Olczyk, K. (2015).** Bee Pollen: Chemical Composition and Therapeutic Application. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 10, 1-6.
- Kong, J.M., Chia, L.S., Goh, N.K., Chia, T.F., Brouillard, R. (2003).** Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry*, 64, 923–933.
- Kumar, D., Singh, B.P., Kumar, P. (2004).** An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. *Annals of Applied Biology*, 145, 247-56.
- Lachman, J., Kolihovala, D., Miholova, D., Košata, J., Titera, D., Kult, K. (2006).** Analysis of minority honey components : Possible use for the evaluation of honey quality. *Food chemistry*, 101, 973-979.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C.G., Bacandritsos, N., Sabatini, A.G. (2004).** Composition, thermal and rheological behaviour of selected Greek honeys. *Journal of Food Engineering*, 64 (1), 9-21.
- Le Roux, E., Sarni-Manchado, P., Le Guernevé, C., Lozano, Y., Cheynier, V. (1998).** Phenolic composition of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp and mechanism of browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (12), 5995-6002.
- Lemerini, W. (2016).** Contribution à l'étude de l'effet de quelques colorants azoïques alimentaires sur l'activité de la carboxylestérase porcine. Thèse Doctorat, Substances naturelles, activités biologiques et synthèse : Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen, p. 133.

Lequet, L. (2010). Du nectar à un miel de qualité : contrôles analytiques du miel et conseils pratiques à l'intention de l'apiculteur amateur. Thèse Doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1, p. 194.

Lerman, L.S. (1953). A biochemically specific method for enzyme isolation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 39, 232-236.

Li, H., Deng, Z., Zhu, H., Hu, C., Liu, R., Young, J.C., Tsao, R. (2012). Highly pigmented vegetables: Anthocyanin compositions and their role in antioxidant activities. *Food Research International*, 46, 250–259.

Lim, D.C.C., Abu Bakar, M.F., Madjidi, M. (2019). Nutritional composition of stingless bee honey from different botanical origins. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*, 269, 1-5.

Linkon, K.M.R., Prodhan, U.K., Hakim, M.A., & Md-Abdul Alim, M.A. (2015). Study on the physicochemical and antioxidant properties of nigella honey. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4 (2), 137-140.

Liu, X., Wang, T., Lu, Y., Yang, Q., Li, Y., Deng, X., Liu, Y., Du, X., Qiao, L., Zheng, J. (2019). Effect of high oxygen pretreatment of whole tuber on anti-browning of fresh-cut potato slices during storage. *Food chemistry*, 301, 125287.

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods : Impact on human health. *Pharmacogn*, 4, 118-126.

Louveaux, J., Maurizio, A. & Vorwohl, G. (1978). Methods of melissopalynology. *Bee World*, 59, 139-157.

Machado, A.M., Tomás, A., Russo-Almeida, P., Duarte, A., Antunes, M., Vilas-Boas, M., Miguel, M.G., Figueredo, A.C. (2022). Quality assessment of Portuguese monofloral honeys, Physicochemical parameters as tools in botanical source differentiation. *Food Research International*, 157, 111362.

Macheix, J.J., Fleuriet, A., Billot, J. (1990). Fruit phenolics. **CRC Press, Boca Roton.** In : les polyphénols en agroalimentaire. Lavoisier –Paris : Sarni-Manchado, p 378.

- Makhloufi, C., Kerkvliet, J.D., D'albore, G.R., Choukri, A., & Samar, R. (2010).** Characterization of Algerian honeys by palynological and physico-chemical methods. *Apidologie*, 41(5), 509–521.
- Mandal, S. (2010).** Induction of phenolics, lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena L.*) roots in response to elicitors. *African Journal of Biotechnology*, 9 (47), 8038-8047.
- Marinova, E.M., Toneva, A., Yanishlieva, N. (2009).** Comparison of the antioxidative properties of caffeic and chlorogenic acids. *Food Chemistry*, 114, 1498-1502.
- Martinez, M.V., Whitaker, J.R. (1997).** The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trend in Food Science & Technology*, 6, 195-200.
- Mattila, P., Hellstrom, J. (2006).** Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 152-160.
- Mayer, A.M. (2006).** Polyphenol oxidases in plants and fungi : going place ? A review. *Phytochemistry*, 67(21), 2318-2331.
- Meda, A., Lamien, C.E., Romito, M., Millogo, J., Nacoulma, O.G. (2005).** Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Food Chemistry*, 91(3), 571-577.
- Mohdaly, A.A.A., Mahmoud, A.A., Roby, M.H.H., Smetanska, I., Ramadan, M.F. (2015).** Phenolic extract from propolis and bee pollen : composition, antioxydant and antibacterial activities. *Food Biochemistry*, 39, 538-547.
- Moniruzzaman, M., Sulaiman, S.A., Md-Ibrahim-Khalil, M.I., Gan, S.H. (2013).** Evaluation of physicochemical and antioxidant properties of sourwood and other Malaysian honeys : a comparison with manuka honey. *Chemistry Central Journal*, 7, 138-150.
- Moon, K.M., Kwon, E., Lee, B., Kim, C.Y. (2020).** Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules*, 25, 2754.

- Morena, M., Martin-Mateo, M., Cristol, J.P., Canaud, B. (2002).** Stress oxydant, hémoincompatibilité et complications de la dialyse au long cours. *Néphrologie*, 23 (5), 201-208.
- Nafea, E.A., Zidan, E.W., Asmaa, M.F., Sehata, I.A.A. (2013).** Determination of organic acids in Saudian Bee honey types. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 5 (2), 117-120.
- Nair, S. (2014).** Identification des plantes mellifères et analyses physicochimiques des miels Algériens. Thèse Doctorat, Biochimie : Université d'Oran, p. 134.
- Naithani, V., Nair, S., Kakkar, P. (2006).** Decline in antioxydant capacity if Indian herbal teas during storage and its relation phenolic content. *Food Research Interational*, 39, 176-181.
- Nakro, A., Khouali, C., Bamouh, A. (2020).** Effet de l'équilibre de potassium-azote en fertigation sur la productivité de la qualité de fraise. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 8(3), 272-278.
- Necib, A., Kefti, L., Draiaia, R., Mohamadi, N., Rezig, S. (2021).** Evaluation pf polyphenols, vitamin C content and Antioxydant activity of two types of Algerian honey. *Turkish Journal of Agriculture*, 10 (12), 2539-2544.
- Ng, A.W., Wong, C.W. (2014).** Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from round brinjal (*S. melongena* var. depressum). *International Food Research Journal*, 22 (2), 826–831.
- Nigussie, K., Subramanian, P.A., Mebrahtu, G. (2012).** Physicochemical Analysis of Tigray Honey : An Attempt to Determine Major Quality Markers of Honey. *Chemical Society of Ethiopia*, 26, 127-133.
- Noda, T., Kottearachchi, S.N., Tsuda, S., Mory, M., Takigawa, S., Matsuura-Endo, C., Kim, S.J., Hashimoto, N., Yamauchi, H. (2007).** Starch phosphorus content in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and its effect on other starch properties. *Carbohydrate Polymers*, 68, 793-796.
- Noichri, Y. (2016).** Structure et dynamique de systèmes vivants (SDSV). Thèse Doctorat, Sciences de la vie et de la santé : Université de Paris Sud, p. 88.

Oroian, M., Ropciuc, S. (2017). Honey authentication based on physicochemical parameters and phenolic compounds. *Computers and Electronics in Agriculture*, 138, 148–156.

Oszmianski, J., Lee, C.Y. (1990). Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by honey. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 38, 1892-1895.

Otmani, A. (2022). Paramètres physicochimiques, profils polliniques et phénoliques et propriétés antioxydantes, antibactériennes, anti-inflammatoires et inhibitrices d'enzymes de miels d'Algérie. Thèse Doctorat, Biochimie appliqué et Biotechnologie : Université Abderrahmane Mira de Bejaia, p. 177.

Otmani, A., Amessis-Ouchemoukh, N., Birinci, C., Yahiaoui, S., Kolayli, S., Shantal Rodríguez-Flores, M., Escuredo, O., Carmen-Seijo, M., Ouchemoukh, S. (2021). Phenolic compounds and antioxidant and antibacterial activities of Algerian honeys. *Food Bioscience*, 42, 101070.

Ouchemoukh, S. (2012). Caractérisation physicochimique, profils polliniques, glucidiques et phénoliques et activités antioxydantes de miels Algériens. Thèse Doctorat, Biochimie : Université Abderrahmane Mira de Bejaia, p. 164.

Ouchemoukh, S., Amessis-Ouchemoukh, N., Gómez-Romero, M., Aboud, F., Giuseppe, A., Fernández-Gutiérrez, A., Segura-Carretero, A. (2017). Characterisation of phenolic compounds in Algerian honeys by RP-HPLC coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry. *Food Science and Technology*, 85, 460–469.

Özcan, M. M., & Al Juhaimi, F. (2016). Honey as source of natural antioxidants. *Journal of Apicultural Research*, 54 (3), 145–154.

Palta, J.P. (1996). Role of calcium in plant responses to stresses : Linking basic research to the solution of practical problems. *Horticultural Science*, 31, 51-7.

Pandey, K.B., Rizvi, S.I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2 (5), 270-278.

- Pauliuc, D., Dranca, F., Ropciuc, S., Oroian, M. (2022).** Advanced Characterization of Monofloral Honeys from Romania. *Agriculture*, 12 (4), 526.
- Pham-Huy, L.I., He, H., Pham-Huy, C. (2008).** Free Radicals, Antioxydants in Disease and Health. *Internationnal Journal of Biomedical Science*, 4 (2), 89-96.
- Pita-Calvo, C., Vazquez, M. (2017).** Differences between honeydew and blossom honeys. *Trends in Food Science and Technology*, 59, 79-87.
- Raj, R., Cosgun, A., Kulić, D. (2022).** Strawberry Water Content Estimation and Ripeness Classification Using Hyperspectral Sensing. *Agronomy*, 12, 1-12.
- Raycha, A., Kastrati, G., Biber, L., Sadiku, V., Raysha, A., Zogaj, F., Kabacti-Kastrati, E. (2022).** Evaluating the physicochemical properties of some Kosovo's and imported honey samples. *Applied Science*, 12 (2), 629.
- Reinhammar, B., Malmström, B.G. (1983).** Metal coordination and mechanism of Blue Copper-containing oxxidase. *John Wiley and Sons*, 3, 109-149.
- Ricordel, J., Bonmatin, J.M. (2003).** Les vertus du miel dans les thériaques selon les médecins arabo-musulmans (IXe-XIIIe s). *Revue d'histoire de la pharmacie*, 337, 21-28.
- Rigal, D. (2001).** Recherche sur l'inhibition du brunissement enzymatique : utilisation de préparations enzymatiques, substituts aux sulfites. Thèse Doctorat : Université d'AIX-Marseille 3, p. 191.
- Rodriguez-Flores, M.S., Escuredo, O., Carmen-Seijo, M. (2015).** Assessment of physicochemical and antioxidant characteristics of *Quercus pyrenaica* honeydew honeys. *Food Chemistry*, 166, 101-106.
- Rossant, A. (2011).** Le miel, un composé complexe aux propriétés surprenantes. Thèse Doctorat, Pharmacie : Université de Limoges, p. 136.
- Sabo, M., Potocnjak, M., Banjari, I., Petrovic, D. (2011).** Pollen analysis of honey from Varazdin country, Croatia. *Turkish Journal of Botany*, 35 (5), 581-587.

Saffidine, K. (2015). Etude analytique et biologique des flavonoïdes extraits de *Carthamus caeruleus L.* et de *Plantago major L.* Thèse Doctorat, Microbiologie : Université Ferhat Abbas, p. 64.

Sakuma, K., Ogawa, M., Sugibayashi, I.K., Yamada, K., Yamamoto, K. (1999). Relationship between tyrosinase inhibitory action and oxidation-reduction potential of cosmetic whitening ingredients and phenol derivatives. *Archives Pharmacol Research*, 22 (4), 335-339.

Seeram, N.P. (2007). Strawberry phytochemicals and human health : a review. *ResearchGate*, 44, 1-30.

Shamsudin, S., Selamat, J., Abdul Shomad, M., Ab Aziz, M.F., Akanda, Md.J.H. (2022). Antioxydant properties and characterization of Heterotrigona itama honey from various botanical origins according to their polyphenol compounds. *Journal of Food Quality*, 1 (2), 1-14.

Singh, A.P., Luthria, D., Wilson, T., Vorsa, N., Singh, V., Banuelos, G.S., Pasakdee, S. (2008). Polyphenols content and antioxidant capacity of eggplant pulp. *Food Chemistry*, 114, 955-961.

Sousa, J.M., Souza, E.L., Gilmardes, M., Meireles, B., Cordeiro, A.T.M., Gullon, B., Pintado, M.M., Magnani, M. (2016). Phenolic profile and antioxidant and antibacterial activities of monofloral honey produced by *Meliponini* in the Brazilian semiarid region. *Food Research Internationnal*, 84, 61-68.

St-Louis, R. (2011). Implication des espèces réactives de l'oxygène dans le contrôle central de l'osmorégulation. Thèse Doctorat, Neurosciences : Université Paris IV Pierre et Marie Curie, p. 134.

Stahl, W., & Sies, H. (2004). Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimical and Biophysical Activities*, 1740, 101-107.

Supapvanich, S., Pimsaga, J., Srisujan, P. (2011). Physicochemical changes in fresh-cut wax apple (*Syzygium samarangense* [Blume] Merrill & L.M. Perry) during storage. *Food Chemistry*. 127, 912-917.

- Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Zhihua, L., Jiyong, S., Zhai, X., Wang, S., Mariod, A.A. (2017).** Rapid prediction of phenolic compounds and antioxidant activity of Sudanese honey using Raman and Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy. *Food Chemistry*, 226, 202–211.
- Taylor, R.L., Higley, N.A., Bush, R.K. (1986).** Sulfites in food : Uses, analytical methods, residus, fate, exposure assessment, metabolism, toxicity and hypersensitivity. *Advances in Food Reaserch*, 30, 1-76.
- Terry, L.A. (2011).** Health-Promoting Propperties of Fruits and Vegetables, *Edition CABI*, p. 366.
- Tsavea, E., Vardaka, F.P., Savvidaki, E., Kellil, A., Kanelis, D., Bucekova, M., Grigorakis, S., Godocikova, J., Gotsiou, P., Dimou, M., Loupassaki, S., Remoundou, I., Tsalida, C., Dimitriou, G.T., Majtan, J., Tananaki, C., Alissandrakis, E., Mossialos, D. (2022).** Physicochemical characterization and biological properties of pine honey produced across Greece. *Food*, 11 (7), 943.
- Tsao, R. (2010).** Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2 (12), 1231-1246.
- Turk, M. (2010).** Vers une amélioration du procédé industriel d'extraction des fractions solubles de pomme à l'aide de technologies électriques. Thèse Doctorat, Génie des procédés industriels : Université de Technologie Compiègne, p. 125.
- Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., Pérez-Alvarez, J.A. (2008).** Functional properties of honey, propolis, and royal jelly. *Journal of Food Science*, 73 (9), 117-124.
- Wali, A.F., Jabnoun, S., Razmpoor, M., Akbar, I., Al-dhaheri, Y., Khan, A., Alshahrani, S., Alhazmi, H.A., Imtiyaz, Z. (2020).** Chrysin, an important active ingredient of honey: Beneficial pharmacological activities and molecular mechanism of action. *Therapeutic Applications of honey and its phytochemicals*, 20, 409 - 432.
- Wen, B., Wu, X., Boon-Ek, Y., Xu, L., Pan, H., Xu, P., Wu, Y., Supapvanich, S. (2017).** Effect of honey and calcium dips on quality of fresh-cut-nectarine (*Prunus persica L. Batsch*). *Agriculture and Natural Ressources*, 52, 140-145.

Wibowo, S., Essel, E.A., De Man, S., Bernaert, N., Droogenbroeck, V.B., Grauwet, T., Loey, V.A., Hendrickx, M. (2019). Comparing the impact of high pressure, pulsed electric field and thermal pasteurization on quality attributes of cloudy apple juice using targeted and untargeted analyses. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 54, 64-77.

Woolfe, J.A. (1987). The Potato in the Human Diet. *Cambridge University Press*, p. 231.

Yayinie, M., Atlabachew, M., Tesfaye, A., Hilluf, W., Reta, C., Alemneh, T. (2022). Polyphenols, flavonoids and antioxidant content of honey coupled with chemometric method : geographical origin classification from Amhara region, Ethiopia. *International Journal of Food Properties*, 25 (1), 76-92.

Yildiz, O., Gukan, H., Sahingil, D., Degirmenci, A., Er Kemal, M., Kolayli, S., Hayaloglu, A.A. (2022). Floral authentication of some monofloral honeys based on volatile composition and physicochemical parameters. *European Food Research and Technology*, 248 (8), 2145-2155.

Yoruk, R., Marshall, M. (2003). Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase : A review. *Journal of Food Biochemistry*, 27 (5), 361-422.

Yücel, Y., Sultanoğlu, P. (2013). Characterization of honeys from Hatay Region by their physicochemical properties combined with chemometrics. *Food Bioscience*, 1, 16-25.

Zaidi, H. (2019). Caractéristiques physico-chimiques, profils polliniques et glucidiques et propriétés biologiques des miels algériens. Thèse Doctorat, Biochimie et biologie moléculaire : Université Abderrahmane Mira de Bejaia, p. 132.

Zhang, G., Tian, J., Zhang, Y. Z., Li, S.S., Zheng, H.Q., Hu, T.L. (2021). Investigating on the maturity evaluation indication of honey in natural ripening process : The case of Rape honey. *Food*, 10 (11), 2882.

Zhu, Y., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Liu, Y. (2022). Application advantages of new non-thermal technology in juice browning control : A comprehensive review. *Food Reviews International*, 6, 2-22

Annexes

Annexe 01: Courbes d'étalonnages.

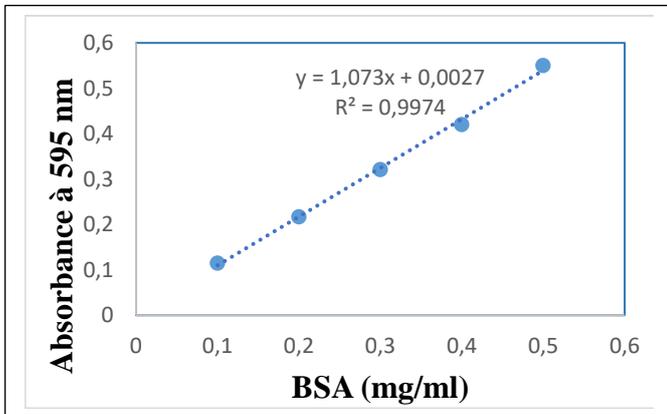


Figure 01: Courbe d'étalonnage des protéines.

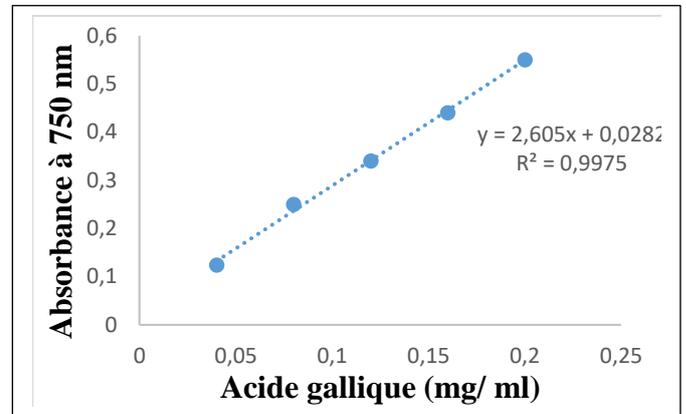


Figure 02: Courbe d'étalonnage des polyphénols.

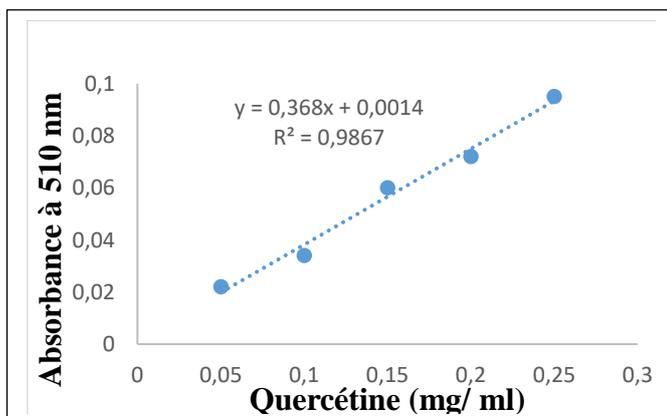


Figure 03: Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.

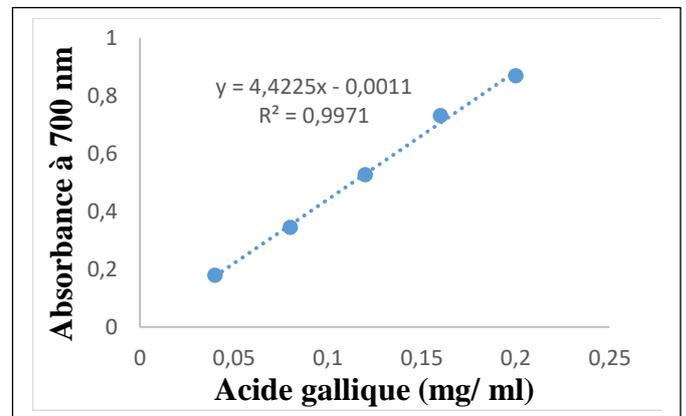


Figure 04: Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.

Annexe 02: Photos originales de l'activité anti-brunissement du miel M1 sur les tranches d'aubergine à 4 °C.



Après 1h



Après 4h



Après 16h



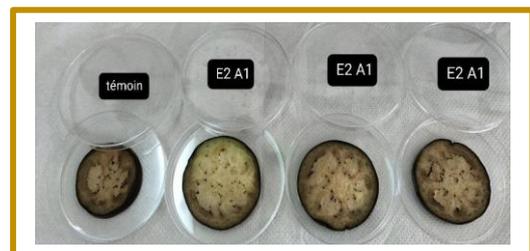
Après 24h



Après 48h



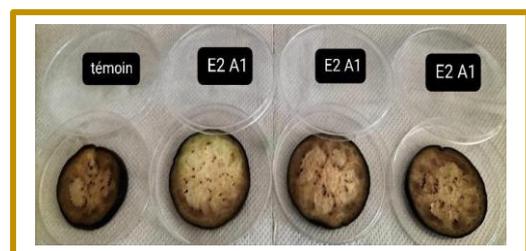
Après 4j



Après 5j



Après 6j



Après 8j



Après 9j

Annexe 03: Photos originales de l'activité anti-brunissement du miel M1 sur les tranches d'aubergine à 20 °C.



Après 1h



Après 4h



Après 16h



Après 24h

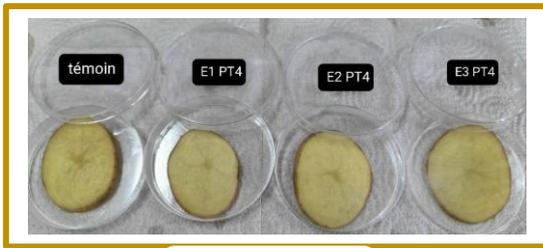


Après 48h



Après 4j

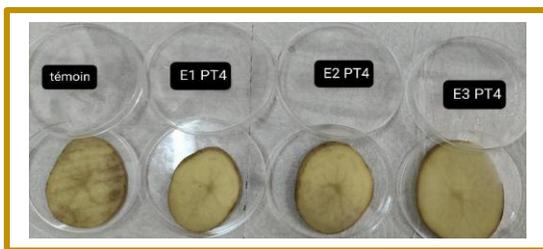
Annexe 4 : Photos originales de l'activité anti-brunissement du miel M4 sur les tranches de pomme de terre à 4 °C.



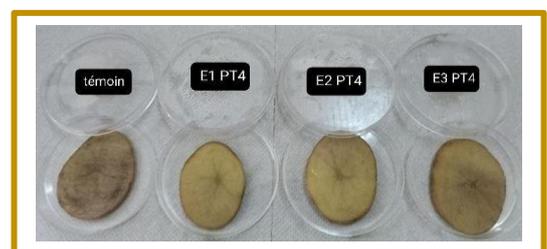
Après 1h



Après 4h



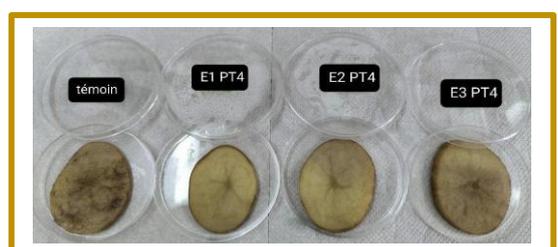
Après 16h



Après 24h



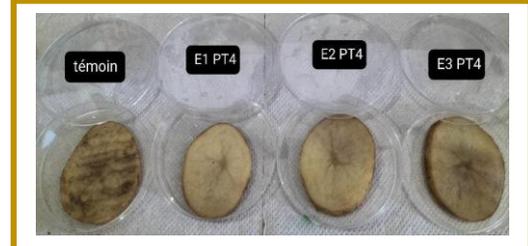
Après 48h



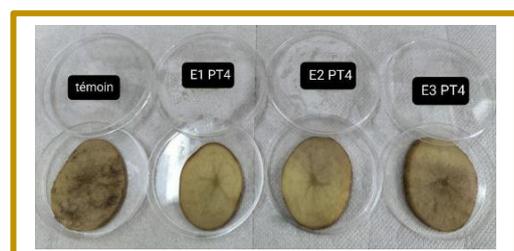
Après 4j



Après 5j



Après 6j

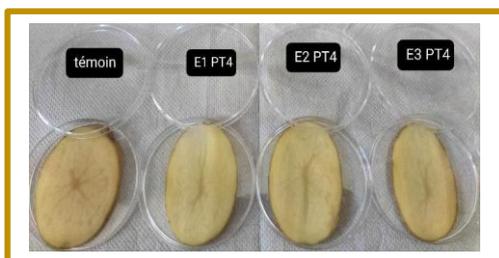


Après 8j



Après 9j

Annexe 5 : Photos originales de l'activité anti-brunissement du miel M4 sur les tranches de pomme de terre à 20 °C.



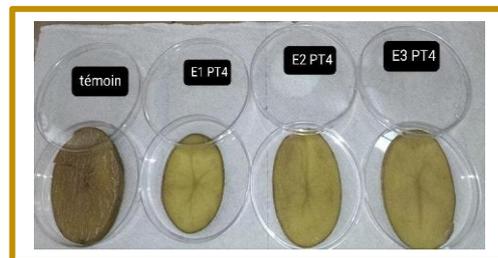
Après 1h



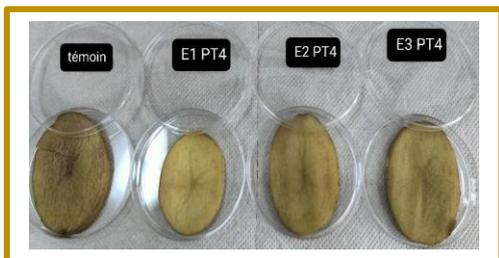
Après 4h



Après 16h



Après 24h



Après 48h



Après 4j

Résumé

L'objectif de cette étude consiste à l'évaluation de la qualité de quelques miels Algériens en effectuant des analyses physicochimiques (couleur, pH, brix...) et en étudiant des activités antioxydantes et anti-brunissement enzymatique. L'analyse pollinique montre que deux miels M3 et M4 sont d'origine monofloraux tandis que les trois autres sont polyfloraux. Le taux de protéines, de polyphénols et de flavonoïdes varie de 280,19 à 647,37 mg EBSA/ 100 g ; de 61,86 à 162,69 mg EAG/ 100 g et de 35,14 à 90,40 mg EQ/ 100g, respectivement. Les miels de couleur marron foncé montrent la meilleure activité antioxydante. De plus, l'effet inhibiteur du miel sur la polyphénol oxydase (PPO) et sur la peroxydase (POD) est testé dans les tranches fraîchement coupées d'aubergines et de pomme de terre ainsi que dans les jus de pomme et de fraise. Les paramètres couleur, unité de brunissement, index de brunissement, pH et brix des jus ainsi que les activités enzymatiques (PPO et POD) sont également effectués. Le miel à 10 % retarde le brunissement enzymatique. En effet, le miel diminue les activités enzymatiques de la PPO et la POD à des degrés différents. En outre, des corrélations très hautement significatives sont enregistrées entre la couleur, les teneurs en protéines et en antioxydants et les activités antioxydante et anti-enzymatique. Les résultats obtenus prouvent que le miel est un produit naturel doué d'activité anti-brunissement enzymatique pour l'aubergine et la pomme de terre coupées ainsi que pour les jus de pomme et de fraise.

Mots clés : Miels Algériens, anti-brunissement enzymatique, légumes, jus de fruit, polyphénol oxydase, peroxydase.

Absract

This study aims to evaluate the quality of some Algerian honeys, their physicochemical parameters (color, pH and brix) as well as their antioxidant and anti-enzymatic browning activities. The pollen analysis showed that two honeys, M3 and M4, are of monofloral origin, while the other three are polyfloral. The rate of proteins, polyphenols and flavonoids varies from 280,19 to 647,37 mg EBSA/ 100 g; 61,86 to 162,69 mg EAG/ 100 g and 35,14 to 90,40 mg EQ/ 100 g, respectively. Dark colored honeys showed the best antioxidant activity. In addition, the inhibiting effect of honey on polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) was studied in freshly cut eggplant and potato slices as well as in apple and strawberry juices. The following parameters were monitored during storage: color, browning unit, browning index, pH and brix of the juices as well as the enzymatic activities (PPO and POD). Browning was delayed following the addition of honey (10%). The latter decreased the enzymatic activities of PPO and POD to different degrees. Our results identified honey as a natural and effective anti-browning compound for cut eggplant and potato as well as for apple and strawberry juice.

Keywords: Algerian honeys, anti-enzymatic browning, , vegetables, fruits juice, polyphenol oxidase, peroxidase.

المخلص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم جودة بعض أنواع العسل الجزائري، ومعاييرها الفيزيائية والكيميائية (اللون، درجة الحموضة ومحتوى السكر) بالإضافة إلى أنشطته المضادة للأوكسدة والإسمرار الأنزيمي. أظهر تحليل حبوب الطلع أن نوعين من العسل 3 و4 من أصل أحادي الأزهار، في حين أن الثلاثة المتبقين متعددي الأزهار. يتراوح معدل البروتين، متعدد الفينول والفلافونويد من 280،19 إلى 647،37 مغ مقابل زلال المصل البقري / 100 غ؛ من 61،86 إلى 162،69 مغ مقابل الحمص القالينك/ 100 غ و من 35،14 إلى 90،40 مغ مقابل الكيرسيتين/ 100 غ، على التوالي. أظهر العسل الداكن أفضل نشاط مضاد للأوكسدة. بالإضافة إلى ذلك، تمت دراسة التأثير المثبط للعسل على بوليفينول اوكسيداز وبيروكسيداز في شرائح الباذنجان و البطاطاس الطازجة و كذلك في عصير التفاح و الفراولة. تم القيام بالبروتوكولات التالية أثناء فترة التخزين: اللون، وحدة الإسمرار، معامل الإسمرار، درجة الحموضة ومحتوى السكر للعصيرين بالإضافة إلى متابعة الأنشطة الأنزيمية. تأخر الإسمرار بعد إضافة العسل (10%) بدرجات مختلفة. هذا الأخير قلل من الأنشطة الأنزيمية. أكدت نتائجنا أن العسل مركب طبيعي وفعال ضد التسمير في قطع الباذنجان و البطاطس و في عصير التفاح و الفراولة.

الكلمات المفتاحية: عسل، مضاد الإسمرار الأنزيمي، خضر ، عصير فواكه، بوليفينول اوكسيداز، بيروكسيداز.