

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Biologie



MEMOIRE

Présenté par

NAOUM Abdellatif & HOUALEF Radjaa

En vue de l'obtention du

Diplôme de MASTER en Sciences Biologiques

Option : Physiologie Cellulaire et Physiopathologie

Thème

**Profil phénolique et activité antioxydante de la poudre de
noyaux de dattes torréfiés**

Soutenu le 05 juin 2024, devant le jury composé de :

| | | | |
|--------------|------------------------------|------------|-----------------------|
| Présidente | BABA AHMED FZ | Professeur | Université de Tlemcen |
| Encadrant | BOUANANE Samira | Professeur | Université de Tlemcen |
| Examinatrice | KARAOUZENE Nesrine S. | MCA | Université de Tlemcen |

Année universitaire 2023/2024

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous remercions « ALLAH » le clément et miséricordieux, pour nous avoir
donner la force et le courage de mener à bien ce modeste travail

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadreur Mme **BOUANANE SAMIRA** professeur à la faculté SNV/STU qui nous a beaucoup aidé, soutenu et nous a permis d'arriver à ce niveau-là et pour ses excellents conseils éclairés et son dévouement tout au long de ce projet de recherche. Sa précieuse expertise a été essentielle pour la réussite de ce mémoire, et surtout pour son temps passé avec nous ; sa patience, et sa confiance

Nous voudrions remercier également les membres de notre jury, du fond de notre cœur Mmes

BABA AHMED FZ, Professeur à la faculté SNV/STU,
et **KARAOUZENE Nesrine Samira** Maitre de Conférences A, qui nous ont fait honneur de
présider et d'examiner notre travail.

Nous tenons aussi à remercier le doctorant avec qui on a eu la chance de réaliser nos expériences pratiques, Mr **LAROUSSE MOHAMED AMINE** merci pour vos efforts votre temps et vos conseils très enrichissants.

Enfin, nous tenons également à remercier nos professeurs de la **FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE** pendant les cinq années de notre parcours et à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Nous tenons également à remercier tous les étudiants Master 2 Physiologie cellulaire et physiopathologie promo 2023-2024. Que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouvent ici nos sincères remerciements.

Merci à vous tous

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance
et de respect :

A l'âme de mon grand-père

A mes très chers parents que Dieu les protège

A mes sœurs et mon frère

A toute la famille

A mon oncle ABDESSAMAD et mon cousin
OUSSAMA

A toute ma grande famille

A tous Mes amis sans exception

NAOUM ABDELLATIF

DÉDICACE

Au terme de toutes ces années d'étude, je dédie ce modeste travail en signe de respect et de remerciement, a ceux qui ont donné un sens à mon existence, qui m'ont soutenu nuit et jours durant tout mon parcours :

A mes parents les plus chers au monde qui m'ont toujours aidé dans ma vie, encouragé et soutenu dans mes études je vous dis merci pour votre soutien moral et financier. Ce mémoire est le résultat de leurs sacrifices qu'ils soient assurés de ma reconnaissance que Dieu leur prête longue vie.

A Mes sœurs, Feryal, Alae

Mon frère, Nadir.

A mes chers grands-parents,

Pour leur soutien moral et leurs précieux conseils tout au long de mes études.

A tous mes chers ami(e)s et camarades, de la promotion de Master II physiologie cellulaire et physiopathologie de faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen pour tous les souvenirs pendant les années d'études ensemble et je leur souhaite plein de succès et excellence.

A toutes les professeures qui ont sacrifié leur temps pour la science et à tous ceux qui ont utilisé la science pour le bien et la prospérité de l'humanité.

RADJAA

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Taxonomie du palmier dattier | 3 |
| Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques du noyau et fruit de datte Deglet-Nour | 5 |
| Tableau 3 : Principales classes des flavonoïdes | 13 |
| Tableau 4 : Différentes classes, sources alimentaires et effets signalés des polyphénols sur la santé | 17 |
| Tableau 5 : Phénols totaux, flavonoïdes et tanins d'extraits de noyaux de variété Deglet Nour" | 27 |
| Tableau 6 : Teneur totale en polyphénols et en flavonoïdes et activité de piégeage du radical DPPH (2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl) de l'extrait de PND | 28 |
| Tableau 7 : Propriétés chimiques des noyaux de dattes torréfiés à différentes températures pendant 20 min. | 29 |
| Tableau 8 : Teneur totale en phénols, flavonoïdes et tanins condensés des extraits de ND Deglet Nour cru. | 30 |
| Tableau 9 : Caractéristiques chimiques, fonctionnelles et des composés phénoliques de la PNT Deglet Nour torréfiés | 30 |
| Tableau 10 : Préparation de gradient de concentration des solutions aqueuses à différentes concentrations (0, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg/mL). | 36 |
| Tableau 11 : Préparation de gradient de concentration des solutions aqueuses à différentes concentrations (100, 200, 400 mg/mL)..... | 36 |
| Tableau 12 : Teneurs des polyphénols totaux de PNT : | 43 |
| Tableau 13 : Teneur des flavonoïdes totaux de PNT : | 45 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : La datte deglet-nour..... | 4 |
| Figure 2 : Représentation de la datte Deglet-nour aux différents stades de maturation..... | 6 |
| Figure 3 : Structure chimique d'un polyphénol..... | 9 |
| Figure 4 : Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols | 9 |
| Figure 5 : Structure des dérivés de l'acide benzoïque..... | 11 |
| Figure 6 : Structure de l'acide hydroxycinnamique | 11 |
| Figure 7 : Squelette de base des flavonoïdes. | 12 |
| Figure 8 : Structure des lignanes | 16 |
| Figure 9 : Les structures chimique du resvératol (A),du ptérostilbène (B) et du 3'-hydroxptérostilbène (C)..... | 16 |
| Figure 10 : Propriétés physico-chimiques et moléculaires et mécanismes de l'activité antioxydante des polyphénols en fonction de leur de leur structure fonctionnelle phénolique de base | 21 |
| Figure 11 : Activité antioxydante directe des polyphénols : abstraction d'hydrogène, extinction des ROS et formation de radicaux stilbénoides (a) et flavonoïdes (b) stabilisés..... | 22 |
| Figure 12 : Les étapes de la préparation de la poudre de noyaux de dattes torréfiés "Deglet Nour" | 34 |
| Figure 13 : Les étapes de l'extraction et préparation de l'extrait PNT. | 35 |
| Figure 14 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test DPPH entre l'espèce radicalaire (DPPH°) et un antioxydant (AH). | 38 |
| Figure 15 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe tripyridy-s-tri-azine ferrique Fe (III)-TPTZ et un antioxydant (AH)..... | 40 |
| Figure 16 : Plan expérimental d'étude..... | 42 |
| Figure 17 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique (dosage des phénols totaux). | 43 |
| Figure 18 : Teneur de flavonoïdes d'extrait de PNT..... | 45 |
| Figure 19 : Pouvoir du radical DPPH d'extrait PNT Deglet-nour. | 46 |
| Figure 20 : Pouvoir réducteur d'extrait PNT Deglet-nour..... | 48 |

Listes d'abréviations

Akt: protéine kinase B

AlCl₃ : chlorure d'aluminium

ArO : radical libre phénolique

ArOH : antioxydant phénolique

ASIC₃ : canaux ioniques sensibles à l'acidité

BDE : énergie de dissociation de liaison

Canaux K⁺ : canaux potassiques

CREB : protéine de liaison à l'élément de réponse cAMP

DSPE : extraits de polyphénols de noyaux de dattes brutes et torréfiées

EGCG : épigallocatechine gallate

eNOS : phosphorylation de l'oxyde nitrique synthase endothéliale

ERK1/2 : protéines kinases extracellulaires régulées

Fe²⁺ : ion ferreux

Fe³⁺ : ion ferrique

FeCl₃ : chlorure de fer(III)

FRAP : les ions ferriques réducteurs

GSH : le glutathion

H₂O₂ : peroxyde d'hydrogène

K₃Fe(CN)₆ : Le ferricyanure de potassium

L'AMPc : adénosine monophosphate cyclique

LDL : l'oxydation plasmatique des lipoprotéines

LH : l'autoxydation des lipides

MAP kinase : kinase activée par les mitogènes

MeOH : méthanol

MMP : la métalloprotéinase matricielle

NADPH : nicotinamide adénine dinucléotide phosphate

NaNO₂ : nitrate de sodium

ND : Les noyaux de dattes

NF-κB : facteurs de transcription

PGE₂ : la synthèse de prostaglandine E₂

PI : le potentiel d'ionisation du phénol

PI3-kinase: phosphoinositide 3-kinase

PND : poudre de noyaux de dattes

PNT : poudre de noyaux de dattes torréfiés

ROS : les espèces réactives de l'oxygène

SET : transfert d'électrons unique

SWC : la capacité de rétention d'huile et de la capacité de gonflement

TFC : Teneur totale en flavonoïdes

TNF- α : facteur de nécrose tumorale

TPC : Teneur totale en polyphénols

TPP : teneurs totales des polyphénols

VGSC : les canaux sodiques voltage dépendants cardiaques

WHC : la capacité de rétention d'eau.

Sommaire

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION | |
| Introduction : | 1 |
| PARTIE 01 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIE..... | |
| Chapitre I : Le palmier dattier et la datte Deglet-Nour | |
| 1. Palmier dattier : | 3 |
| 1.1. Définition du palmier dattier : | 3 |
| 1.2. Systématique du palmier dattier : | 3 |
| 2. La datte | 4 |
| 2.1. La variété Deglet-Nour : | 4 |
| 2.2. Description des dattes Deglet-Nour : | 4 |
| 2.3. Stades de maturation de Deglet-Nour : | 5 |
| 2.4. Les caractéristiques physico-chimiques du noyau de datte Deglet-Nour : | 6 |
| 3. Sous-produits de noyaux de dattes : | 7 |
| Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante | |
| 1. Les composés phénoliques : | 8 |
| 1.1. Généralités : | 8 |
| 1.2. Principales voies de biosynthèse des composés phénoliques : | 9 |
| 1.3. Classification des polyphénols : | 10 |
| 1.3.1. Acides phénoliques : | 10 |
| 1.3.1.1. Les acides hydroxybenzoïques : | 10 |
| 1.3.1.2. Les acides hydroxycinnamiques : | 11 |
| 1.3.2. Les flavonoïdes : | 12 |
| 1.3.3. Les lignanes : | 16 |
| 1.3.4. Les stilbènes : | 16 |
| 1.4. Propriétés physicochimiques des polyphénols : | 19 |
| 1.4.1. Solubilité : | 19 |
| 1.4.2. Absorption de la lumière ultraviolette : | 19 |
| 1.4.3. Propriétés protectrices des plantes : | 19 |
| 1.4.4. Pigments et odorants végétaux : | 19 |
| 2. Activité antioxydante des polyphénols : | 20 |

| | |
|--|----|
| 2.1. Activité antioxydante et mécanismes impliqués : | 20 |
| 2.2. Stabilisation des radicaux libres : | 20 |
| 3. Les effets des polyphénols : | 22 |
| 4. Effets des polyphénols sur les canaux ioniques : | 23 |

Chapitre III : Les effets et les applications biotechnologiques de la poudre de noyau de datte.....

| | |
|---|----|
| 1. Les types d'extraction des composants phénoliques : | 25 |
| 1.1. La procédure d'extraction solide-liquide et liquide-liquide : | 25 |
| 1.2. Extraction par solvant : | 25 |
| 1.3. Les extracteurs assistés par ultrasons : | 25 |
| 1.4. L'extraction par Soxhlet : | 25 |
| 1.5. Une procédure d'extraction assistée par micro-ondes : | 26 |
| 1.6. L'extraction en phase solide : | 26 |
| 2. Comparaison des propriétés antioxydantes des extraits méthanoïque, hydro-méthanoïque et aqueux de ND Deglet Nour : | 26 |
| 3. Comparaison d'analyse phytochimique de PND crus et torréfiés : | 27 |
| 4. Composés bioactifs, minéraux, acides gras, couleur et profil sensoriel de la PNT : | 28 |
| 4.1. Composé phénolique, profil et activité antioxydante du ND Deglet Nour cru et torréfié : | 29 |
| 5. La biotechnologie du ND torréfié : | 32 |
| 5.1. Enrichissement de yaourt de chèvre aux ND torréfiés : | 32 |
| 5.2. Noyaux de dattes torréfiés comme alternative au café : | 32 |

ETUDE EXPERIMENTALE

Matériel et Méthodes.....

| | |
|--|----|
| 1. Matériel végétal : | 34 |
| 1.1. Préparation du matériel : | 34 |
| 1.1.1. Préparation de la poudre de noyaux de datte torréfiés : | 34 |
| 1.1.2. Préparation de l'extrait aqueux de poudre de noyaux de dattes torréfiés : | 35 |
| 1.1.3. Préparation des échantillons d'analyse : | 35 |
| 2.1.2. Dosage des flavonoïdes totaux : | 37 |
| 2.2. Evaluation des activités biologiques in vitro : | 38 |
| 2.2.1 Le piégeage du radical DPPH : | 38 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2. Test du pouvoir réducteur du Fer : FRAP (Ferric reducing antioxidant power) : | |
| | 39 |

Résultats et Discussion

| | |
|--|----|
| 1. Composée phénoliques : | 43 |
| 1.1. Dosage des polyphénols : | 43 |
| 1.2. Dosage des flavonoïdes : | 44 |
| 2. Activité antioxydante : | 46 |
| 2.1. Test du piégeage du radical libre de DPPH : | 46 |
| 2.2. Test du pouvoir réducteur du Fer FRAP : | 47 |

CONCLUSION.....

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

| | |
|-------------------------------|----|
| Références bibliographiques : | 52 |
|-------------------------------|----|

ANNEXE.....

| | |
|----------|--|
| Annexe : | |
|----------|--|

Introduction

Introduction :

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) représente la culture la plus significative dans les régions arides et semi-arides, où ses fruits les dattes sont particulièrement prisés au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (**Al-Shwyeh et al, 2019**). Il constitue une source essentielle de subsistance, tant par la production de dattes que par les multiples usages de ses sous-produits, bénéficiant ainsi aux habitants des oasis et à leur cheptel (**Sedra et al, 2003**).

Le palmier dattier est largement cultivé dans les oasis algériennes et constitue l'une des principales sources de revenus ainsi que la base économique des habitants de ces régions. Les fruits du palmier dattier sont riches en nutriments essentiels, vitamines, minéraux et fibres alimentaires, offrant de nombreux avantages pour la santé (**Harkat et al, 2022**). En Algérie, les dattes, particulièrement la variété Deglet Nour, sont les fruits les plus consommés, notamment durant les périodes de jeûne. Les autres variétés, même si elles ne sont pas largement commercialisées sur le marché, peuvent être transformées en divers produits alimentaires tel que : les farines, le sirop et le jus de dattes, etc (**Chaira, 2016**).

Les sous-produits du palmier dattier (feuilles, tronc, noyaux, pédicelles, etc.) ont diverses utilisations dans les régions sahariennes, en particulier les noyaux de dattes qui sont jetés ou partiellement incorporés dans l'alimentation animale. Leur valorisation dans l'alimentation humaine reste peu exploitée, à l'exception de quelques usages traditionnels. Ces sous-produits contiennent des composants extractibles de haute valeur ajoutée et sont riches en protéines, fibres alimentaires, et composés phénoliques, entre autres (**Khali et al, 2015**).

Les noyaux de dattes (ND) sont très riches en antioxydants, métabolites secondaires et en oligoéléments essentiels au maintien de l'équilibre de l'organisme. Ils constituent l'un des principaux déchets des usines de transformation de dattes et possèdent des propriétés thérapeutiques vitales. Ils représentent une source inépuisable de fibres alimentaires et de composés bioactifs.

La torréfaction pourrait être un processus essentiel pour garantir l'utilisation de ces sous-produits de dattes (**Jrad et al, 2022**). En raison des propriétés fonctionnelles, les noyaux de dattes torréfiés contiennent d'abondantes sources de glucides, d'huile, de fibres alimentaires et de protéines ; ils contiennent également des composés phénoliques bioactifs qui peuvent avoir des propriétés biologiques potentielles. La poudre de noyaux de dattes torréfiés (PNT) est considérée comme une excellente source d'antioxydants pouvant être utilisée pour traiter de nombreuses maladies (**Fikry et al, 2019**).

L'objectif de ce travail est d'étudier le profil phénolique et l'activité antioxydante de la PNT par différentes méthodes.

Notre étude s'est portée sur les ND Deglet Nour, d'origine algérienne cultivée dans la wilaya de Biskra. Ce Travail est scindé en deux parties, à savoir une partie bibliographique comprenant 3 chapitres et se présente de la façon suivante : Au chapitre 1 nous abordons une vue d'ensemble à propos du *Phoenix dactylifera* avec une description de dattes Deglet-Nour, la caractérisation physicochimique et les différentes activités biologiques de la poudre de ND. Au chapitre 2, nous présentons les effets de polyphénols et activités antioxydantes. Au chapitre 3, nous exposons l'ensemble de ND cru et torréfié, la discussion ainsi que perspectives et les projets futurs de PNT.

Une deuxième partie expérimentale comprenant deux chapitres : matériel et méthodes, et résultats et discussion, nous nous sommes intéressés à la détermination du profil phénolique qui confère aux plantes la capacité de neutralisation des radicaux libres ; l'évaluation des activités antioxydantes par différentes méthodes in vitro : DPPH, FRAP.

Enfin, on termine par une conclusion et perspectives.

Partie 01 : Synthèse
Bibliographie

Chapitre I :

Le palmier dattier et la datte Deglet-Nour

1. Palmier dattier :

1.1. Définition du palmier dattier :

Le nom scientifique du palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L., trouve son origine dans le mot *Phœnix*, signifiant dattier chez les Phéniciens, et *dactylifera*, dérivé du terme grec *dactulos* signifiant doigt, en référence à la forme du fruit (**Djerbi, 1994**).

Les palmiers, une famille végétale singulière autrefois classée sous le nom d'acéracées (anciennement palmacées), sont des plantes arborescentes diploïdes avec un nombre de chromosomes équivalent à 36 ($2n=36$) (**Beal, 1937 ; Al-Khalifah et Askari, 2003**). Actuellement, cette famille ne compte pas moins de 2800 espèces réparties dans 226 genres (**Rival, 2010**).

1.2. Systématique du palmier dattier :

D'un point de vue botanique, le palmier dattier est une plante angiosperme monocotylédone, classée dans les catégories suivantes (**Mallhi et al, 2014**) (Tableau 1) :

Tableau 1 : Taxonomie du palmier dattier (Hannai et Hammadi, 2020)

| | |
|---------------|------------------------------|
| Groupe | Spadiciflore |
| Ordre | Palmâmes |
| Familles | Palmacées |
| Sous familles | Coryfoïdés |
| Tribu | Phœnicées |
| Genre | Phoenix |
| Espèce | <i>Phoenix dactylifera</i> L |

2. La datte

2.1. La variété Deglet-Nour :

Les dattes de la variété Deglet-Nour, également connues sous le nom de "doigts de lumière", sont considérées comme un fruit très énergétique et sont souvent qualifiées de "la reine des dattes", contribuant ainsi de manière significative à l'agriculture algérienne. Variété commerciale par excellence, classée parmi les dattes demi-molles, considérée comme étant la meilleure variété de datte du fait de son aspect, son onctuosité et sa saveur. Sa forme fuselée à ovoïde est légèrement aplatie du côté du périanthe (Maatallah, 1970 ; Hanachi et al, 1998).

2.2. Description des dattes Deglet-Nour :

Le fruit du palmier dattier se présente sous la forme d'une baie allongée, oblongue ou arrondie, avec un noyau à la consistance dure au centre, entouré de chair. La partie comestible, appelée chair ou pulpe, comprend une fine enveloppe cellulosique appelée épicarpe ou peau, un mésocarpe généralement charnu dont la consistance varie en fonction de sa teneur en sucre et qui présente une couleur soutenue, ainsi qu'un endocarpe de teinte plus claire et de texture fibreuse, parfois réduit à une membrane en forme de cheminée entourant le noyau (Figure 1, tableau 2).

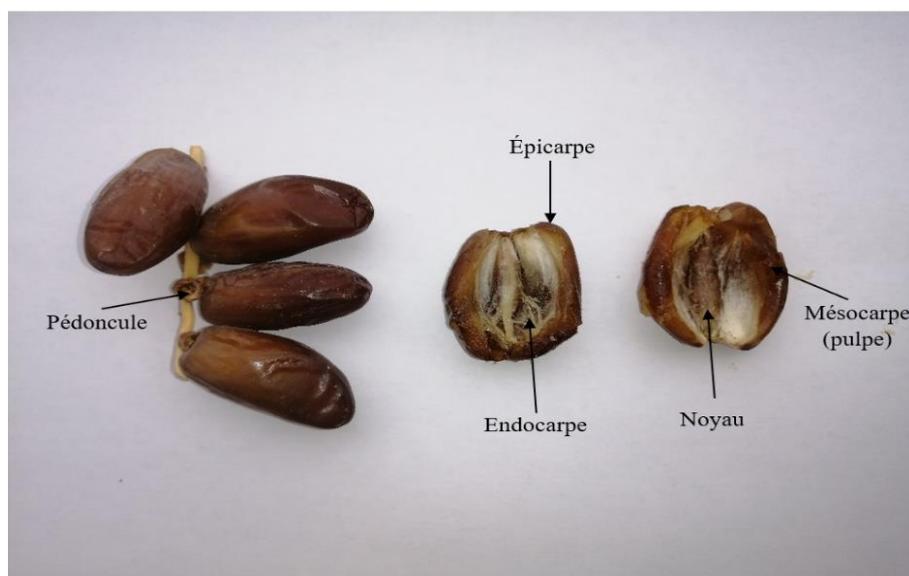


Figure 1 : La datte Deglet-Nour

Chapitre I : Le palmier dattier et la dattes Deglet-Nour

Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques du noyau et fruit de dattes Deglet-Nour

| Fruit | | | | | | | | |
|-----------------|---------------|-------------|--------------------|-----------------------|-------------------|------------|----------|---------|
| Poids moyen | Longueur | Diamètre | Forme de la dattes | Couleur au stade Tmar | Consistance | Plasticité | Texture | Goût |
| Entre 11g – 14g | Environ 4,5cm | Environ 2cm | Ovoïde | Marron foncé | Demi-molle | Tendre | Fibreuse | Parfumé |
| Noyau | | | | | | | | |
| Poids moyen | | | Longueur | | Diamètre | | Couleur | |
| 1 g | | | Entre 2,5 à 3 cm | | Entre 0,7 à 0,9cm | | Marron | |

2.3. Stades de maturation de Deglet-Nour :

Les analyses ont porté sur la variété Deglet-Nour récoltée à différents stades de maturité, dans un palmier dattier. Les stades de maturité, identifiés nominalement, sont les suivants (**Yahiaoui, 2020**) (figure 2) :

- Stade I (Hababouk) : cette étape commence après la fertilisation. Le fruit est complètement couvert par le périanthe et a une croissance lente ;
- Le stade II (Kimri, Blah ou stade vert) : le fruit a une teinte verte, avec accumulation des sucres réducteurs, une acidité élevée et une teneur élevée en eau ;
- Au stade III (Khalal ou B'sser) : changement de couleur de vert à jaune clair, puis devient jaune. Pendant ce stade, il y a une légère baisse de la vitesse d'augmentation du poids et de la taille du fruit, avec une augmentation rapide de la concentration des sucres, de l'acidité active et une baisse de la teneur en eau ;
- Le stade IV (Routab ou Martouba) : ce stade correspond à la diminution de la turgescence du fruit en raison de la baisse de la teneur en eau et de l'augmentation de la teneur en monosaccharides, ce qui donne au fruit un goût sucré.

- Le stade V (Tamar, T'mar ou stade mûr) : correspond à la maturation finale du fruit, avec une perte d'une grande quantité d'eau, entraînant un rapport sucre/eau élevé, ce qui prévient la fermentation et garantit la conservation du fruit.

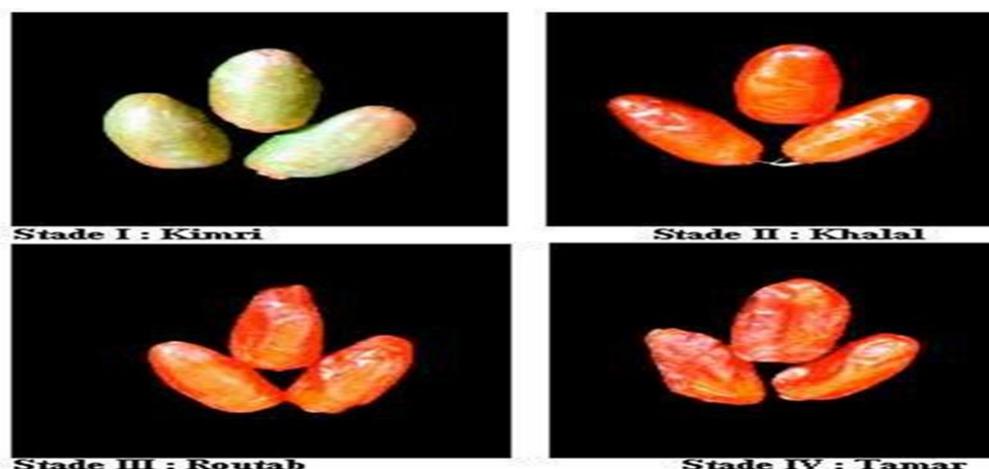


Figure 2 : Représentation de la dattes Deglet-nour aux différents stades de maturation (Dubost, 1992).

2.4. Les compositions physico-chimiques du noyau et fruit de dattes Deglet-Nour :

Les ND et fruit de dattes de la variété Deglet-Nour présentent une teneur totale en acides gras de $0,052 \pm 0,03$ g/100 g, une quantité de sucre qui varie selon la variété, le climat et le stade de maturation, avec une moyenne de $6,96 \pm 0,21$ g/100 g pour les variétés tunisiennes Deglet-Nour (Munier, 1973 ; Nixon et al, 1978). Les dattes de cette variété contiennent également $9,63 \pm 0,07$ g/100 g de lipides, tandis que la teneur en protéines est quasi identique, soit $4,44 \pm 0,12$ g/100 g. Par rapport à d'autres produits dérivés, les dattes se distinguent par leur forte teneur en fibres alimentaires, atteignant $69,37 \pm 5,42$ g/100 g.

Le pH des dattes est mesuré à $6,98 \pm 0,02$ et leur humidité est évaluée à $4,90 \pm 0,22$ %. Les différences dans l'indice d'acidité entre les variétés suggèrent que la concentration en acide oléique pourrait influencer cette disparité.

Le ND et fruit de dattes et présente une teneur en cendres de $1,42 \pm 0,27$ g/100 g. Les analyses des micronutriments révèlent des variations significatives entre le sélénium présent la concentration la plus élevée, suivie dans l'ordre décroissant par le fer, le silicium, le zinc, le cuivre, le manganèse, le strontium et l'aluminium. Les valeurs pour le potassium, le phosphore, le calcium, le magnésium et le sodium sont respectivement de $425,87 \pm 13,6$ mg/100 g, $87,70 \pm 2,6$ mg/100 g, $56,75 \pm 1,3$ mg/100 g, $35,21 \pm 1,9$ mg/100 g et $32,10 \pm 0,9$ mg/100 g (Salomón-Torres et al, 2020).

3. Sous-produits de noyaux de dattes :

Le ND Deglet-Nour peut être valorisé et incorporé dans divers produits alimentaires, tels que les farines, les pâtes, les biscuits, les pains, les yaourts, etc.

Les rebuts et les ND représentent des sous-produits précieux pouvant être intégrés à l'alimentation animale. La farine issue des ND peut être ajoutée à hauteur de 10% dans l'alimentation des poulets sans affecter négativement leurs performances, comme l'ont démontré **Gualtieri et Rappaccini (1994)**. Par ailleurs, les ND offrent diverses applications, ils peuvent être transformés en acide citrique et en protéines grâce à l'utilisation de microorganismes tels que *Candida lipolytica*, *Aspergillus oryzae* et *Candida utilis* (**Jassim et Naji, 2007**). Une autre utilisation innovante est la torréfaction des noyaux, avec des études suggérant leur incorporation dans une boisson décaféinée en remplacement du café, répondant ainsi à des préoccupations liées à la caféine. Cette boisson, adoptée depuis longtemps dans le monde arabe, consiste en un mélange de poudre de ND torréfiée, offrant une alternative réduite en caféine (**Rahman et al, 2007 ; Al-Turki, 2008**).

Chapitre II :

Les effets des polyphénols et activité antioxydante

1. Les composés phénoliques :

1.1. Généralités :

Les composés phénoliques, également connus sous le nom de polyphénols, sont des phytomicronutriments les plus importants, sont présents dans plus de 8 000 structures phénoliques identifiées, dont plus de 4 000 appartiennent à la classe des flavonoïdes. Ces composés se distinguent par la présence de cycles aromatiques avec des groupements hydroxyles, libres ou liés à un glucide. Ils se regroupent en une famille de molécules organiques caractérisées par la présence de multiples groupements phénols formant des structures complexes de poids moléculaire élevé (figure3) (**Lebham, 2005 ; Boizot et Charpentier, 2006 ; Hardman, 2014**). Les polyphénols végétaux sont des métabolites secondaires qui possèdent des propriétés protectrices ou répressives contre les maladies. Ils sont couramment présents dans les fruits, les légumes et les boissons à base de plantes. Ce sont également des substances antivirales, anticancéreuses, antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiennes (**Omar, 2010**). Les voies biochimiques et moléculaires des classes de polyphénols les plus abondantes sont bien connues, ainsi que le métabolisme des polyphénols et leurs effets sur les macromolécules du corps. Les structures chimiques des polyphénols et les niveaux de biodisponibilité sont les principaux facteurs influençant la détermination de leurs propriétés biologiques (**Srini Srinivasan, 2005 ; Abbas et al, 2017**). Les polyphénols ont des effets à la fois antioxydants et pro-oxydants, ce qui montre qu'ils affectent de nombreux processus physiologiques de la cellule. Il est bien connu que l'équilibre oxydant-antioxydant est perturbé, entraînant des dommages cellulaires et, à terme, un dysfonctionnement des organes. Par ailleurs, le stress oxydatif joue un rôle clé dans le processus de vieillissement ainsi que dans diverses maladies chroniques. En raison de leur potentiel anti-radicaux libres et anti-âge, les polyphénols végétaux sont dotés de capacités antioxydantes qui ont suscité l'intérêt des chercheurs. En raison des groupes hydroxyles phénoliques dans leur structure, les polyphénols peuvent directement piéger les espèces réactives de l'oxygène (ROS). La capacité des polyphénols à éliminer les ROS est déterminée par la quantité et la position des groupes hydroxyles, les modèles de substituants et la glycosylation des composés phytochimiques (**Luo et al, 2021**). L'apport quotidien en polyphénols est cent fois supérieur à celui de la vitamine E et environ dix fois supérieur à celui des caroténoïdes et de la vitamine C (**Scalbert et Williamson, 2000**).

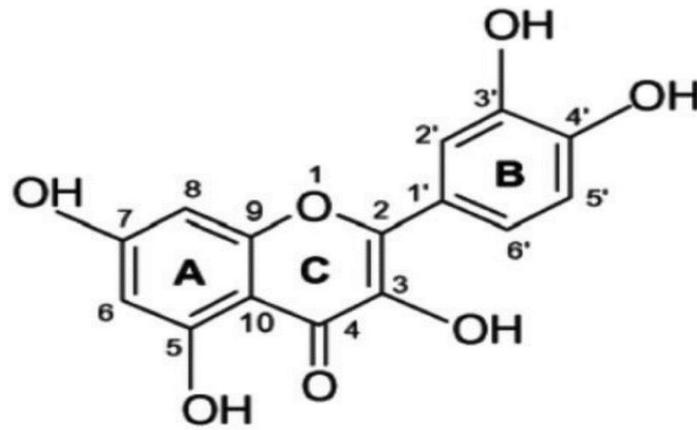


Figure 3 : Structure chimique d'un polyphénol.

1.2. Principales voies de biosynthèse des composés phénoliques :

Visioli et al. (2000) décrivent deux principales voies biosynthétiques qui produisent des composés phénoliques du métabolisme secondaire des plantes (figure 4) :

a) La voie de l'acide shikimique, qui provient des oses pour produire des acides aminés aromatiques comme la phénylalanine et la tyrosine. Ensuite, la décomposition de ces acides aminés entraîne la formation d'acides cinnamiques et de leurs composés.

b) La voie de l'acide acétique, qui produit des poly- β -cétoesters de différentes longueurs. Les substances créent souvent des structures polycycliques en cyclisant ou en condensant, comme les flavonoïdes et les tannins condensés.

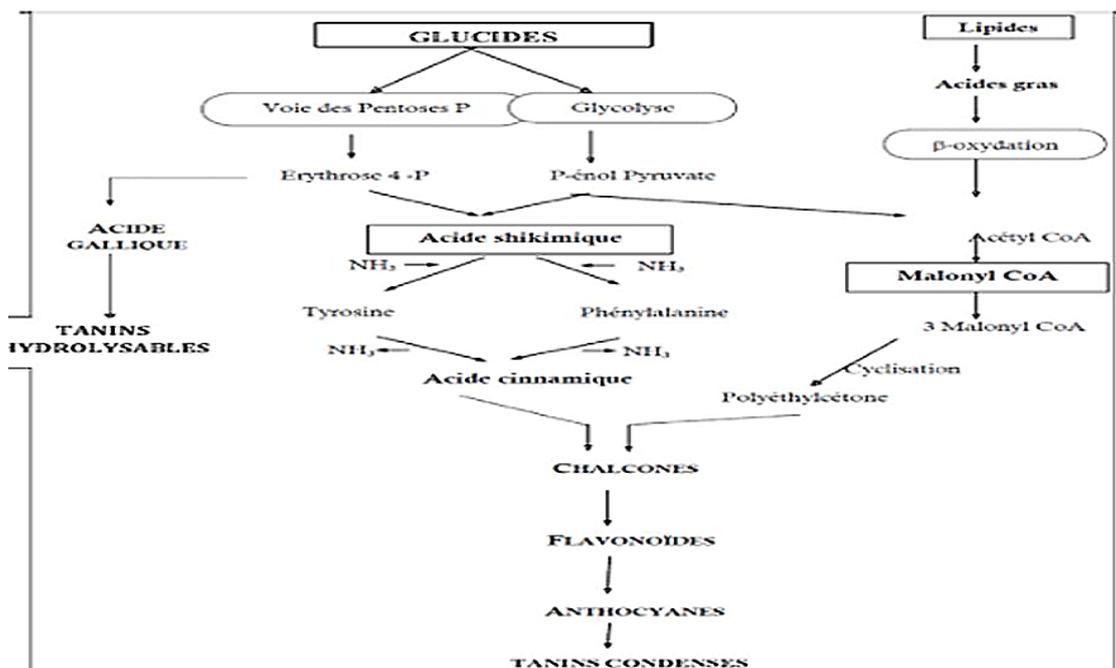


Figure 4 : Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols (Chaouche, 2014).

1.3. Classification des polyphénols :

Les métabolites végétaux sont classés en métabolites primaires ou secondaires selon les fonctions qu'ils jouent dans le système végétal. Alors que les métabolites primaires jouent un rôle important dans la croissance des plantes et leur survie (Tijjani et al, 2018), les métabolites secondaires sont synthétisés comme système de défense contre les maladies et les herbivores (Mazid et al, 2011). Ces métabolites secondaires sont des composés bioactifs, très utiles comme aliments fonctionnels (Carović-Stanko et al, 2016). Ils sont principalement classés en groupes et sous-groupes en fonction du nombre d'anneaux phénoliques et d'éléments structurels attachés aux anneaux (Butterfield et al, 2002).

Les polyphénols sont classés de la même manière en fonction de leurs différentes sources d'origine, de leurs principales fonctions biologiques et de leurs structures chimiques. La majorité de ces polyphénols présents dans les plantes sont glycosylés avec différentes unités carbohydrate et des sucres acylés à différentes positions sur leur squelette polyphénolique de base (Tsao, 2010). Il existe différentes classes de polyphénols, notamment : les acides phénoliques, les flavonoïdes, les tanins, les stilbènes, les lignanes, les saponines, les phytostérols ou bien phytostanols, plus importants sont principalement classés en acides phénoliques, flavonoïdes, stilbènes et lignanes. Selon leurs types, les flavonoïdes, qui partagent une structure commune constituée de deux anneaux aromatiques reliés par trois atomes de carbone, formant une structure d'anneaux hétérocycliques oxygénés, sont divisés en six sous-classes : les flavonols, les flavones, les isoflavones, les flavanones, les anthocyanidines et les flavanols (Manach et al, 2004). Une description détaillée de classification des différents polyphénols et de leurs effets biologiques est décrite dans le tableau 3.

1.3.1. Acides phénoliques :

Ce sont des composés organiques qui possèdent au moins un hydroxyle phénolique et une fonction carboxylique. Ils sont représentés par deux sous-classes : Les acides hydroxybenzoïques, qui ont en commun la structure en C6-C1 et les acides hydroxycinnamiques, des composés aromatiques avec une chaîne latérale à trois carbones (C6-C3) (Zatta et al, 2004 ; Balasundram et al, 2006).

1.3.1.1. Les acides hydroxybenzoïques :

Ce sont les dérivés de l'acide benzoïque (figure5). Ce groupe présente sous forme libre ou combinée, à l'état d'esters ou d'hétérosides avec une structure commune pour tous ces dérivés en (C6-C1). Ces acides sont particulièrement bien représentés chez les Gymnospermes et les

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

Angiospermes. La variation de formes de ces acides est dû à hydroxylation et à la méthylation du cycle aromatique (Williams, 1994), dont principaux composés sont l'acide gallique, *p*-hydroxybenzoïque, protochatéchinique, vanillique et séringique. Ces acides se trouvent généralement sous forme de glucosides (Hosseini et al, 2016).

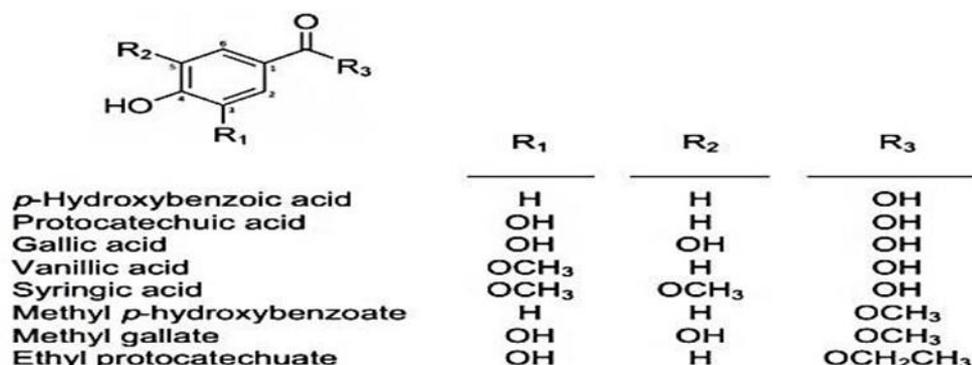


Figure 5 : Structure des dérivés de l'acide benzoïque (Farhoosh et al, 2016).

1.3.1.2. Les acides hydroxycinnamiques :

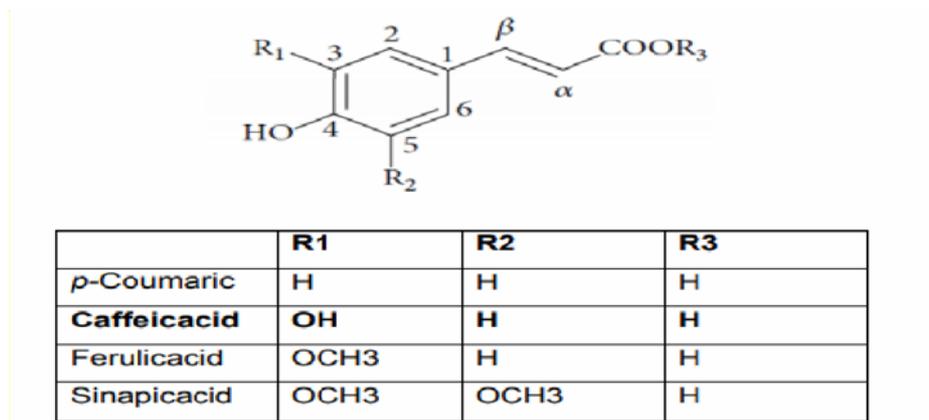


Figure 6 : Structure de l'acide hydroxycinnamique (Teixeira et al, 2013).

Ils ont une structure fondamentale (C₆-C₃) qui leur permet également de produire de l'acide cinnamique (figure6). Ils sont généralement combinés avec d'autres molécules de la plante comme les protéines, la cellulose ou les lignines (Boudet, 1987 ; Vogt et al., 2000), ou sous forme d'esters avec le glucose ou les acides quiniques, tartriques et malique.

1.3.2. Les flavonoïdes :

Les flavonoïdes sont des substances avec un squelette de base composé de quinze atomes de carbone, de deux noyaux aromatiques et d'un hétérocycle central de type pyrane. Ils forment une structure C6-C3-C6 (figure 7).

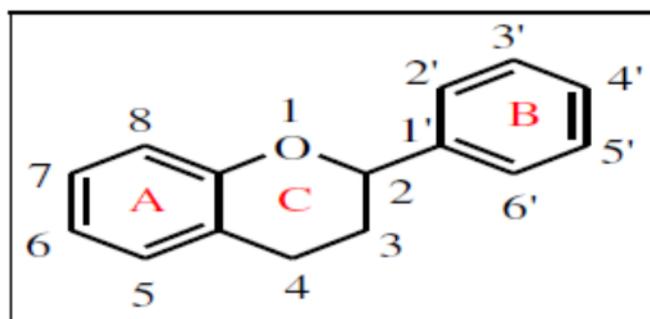
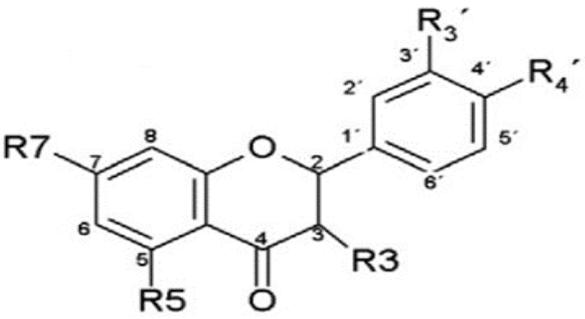


Figure 7 : Squelette de base des flavonoïdes.

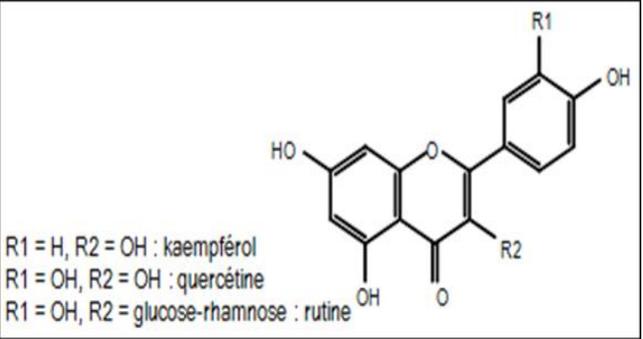
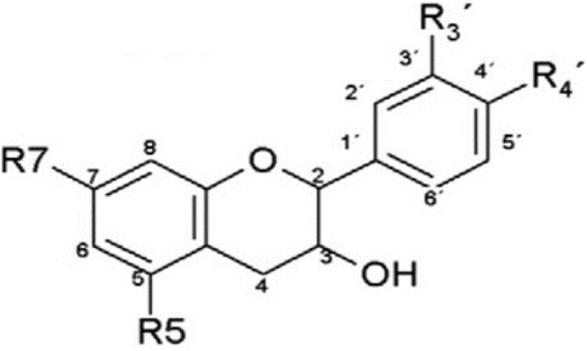
La majorité des composés phénoliques sont des flavonoïdes, qui sont caractérisés par leur faible poids moléculaire. En effet, plus de 4000 flavonoïdes sont responsables de la coloration des plantes, y compris les chalcones, les aurones et les flavonols qui sont jaunes, ainsi que les anthocyanosides qui sont rouges ou bleus (**Harborne, 1998**). Parmi tous les composés phénoliques, ces composés sont les plus abondants (**Bravo, 2009**). Ils contribuent à la coloration des fleurs et à leur défense contre les herbivores, les attaques microbiennes et le rayonnement UV, les herbivores et les attaques microbiennes (**Korkina et Afanasev, 1997**).

Les flavonoïdes sont classés en plusieurs classes, dont les principales sont les flavonols, les flavan-3-ols, les isoflavones, les flavanones et les anthocyanidines (tableau 3). Les groupements hydroxyles se trouvent généralement en positions 4, 5 et 7, et la structure de base de ces flavonoïdes peut subir de nombreuses substitutions. Ce sont généralement des glycosides (**Afanaseva et al, 2001**).

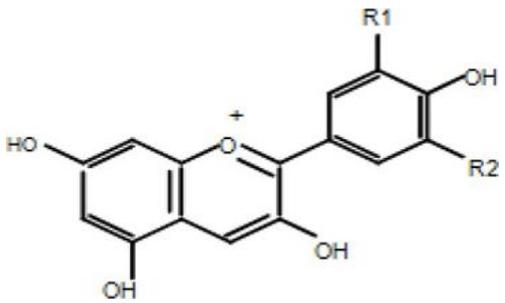
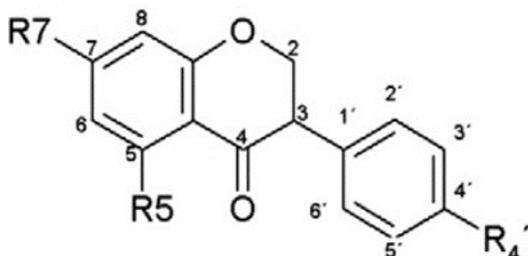
Tableau 3 : Principales classes des flavonoïdes.

| Les classes de flavonoïdes | Les caractères généraux | Structure chimique |
|----------------------------|---|--|
| Flavanones | Les flavanones sont caractérisées par la présence d'un centre de chiralité en C2 et l'absence de la double liaison entre C2 et C3 (Afanaseva et al, 2001). |  <p>Structure chimique des flavanones (Korkina et Afanasev, 1997).</p> |

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

| | | |
|---------------------------------|--|---|
| Flavonols | <p>Les flavonols sont caractérisés par la présence d'un groupement OH en position C3 et d'une double liaison en position C2-C3. Ils peuvent être hétérosides ou des aglycones. Les sucres les plus souvent impliqués sont des aldoses : D-glucose et L-rhamnose (Korkina et Afanasev, 1997). Leurs principaux représentants sont la quercétine, le kaempférol et la rutine (Korkina, 1997).</p> |  <p>R1 = H, R2 = OH : kaempférol R1 = OH, R2 = OH : quercétine R1 = OH, R2 = glucose-rhamnose : rutine</p> <p>Structures chimiques de quelques flavonols (Korkina et Afanasev, 1997).</p> |
| Flavanols (flavan-3-ols) | <p>Les flavan-3-ols ou dérivés de catéchine sont la catégorie de flavonoïdes la plus complexe. Ces composés comprennent monomères, (+)-catéchine et son isomère (-)-épicatéchine, ainsi que oligomères et polymères, les proanthocyanidines. De plus, les flavan-3-ols peuvent être estérifiés par l'acide gallique ou hydroxylés pour former les gallocatéchines (épicatéchine gallate, épigallocatéchine, épigallocatéchine gallate) (Afanaseva et al, 2001).</p> |  <p>Structure chimique des flavanols (Korkina et Afanasev, 1997).</p> |

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

| | | |
|------------------------|--|--|
| Anthocyanidines | <p>Ce sont des pigments, rouges en milieu acide, virant au bleu-violet en milieu neutre ou faiblement alcalin. Ils sont principalement des glycosides stables et hydrosolubles (Bai et al, 2004). La pélagonidine, la cyanidine et la malvidine sont les composés les plus utilisés (Jovanovic et al, 1996 ; Makris et Rossiter, 2000).</p> |  <p>Structure chimique des anthocyanidines (Korkina et Afanasev, 1997).</p> |
| Isoflavonoïdes | <p>Les isoflavones sont des flavonoïdes qui ont des caractéristiques structurales similaires aux oestrogènes. Bien qu'ils ne soient pas des stéroïdes, ils ont des groupes hydroxyles en positions 7 et 4 qui ressemblent à ceux des hydroxyles de la molécule d'œstradiol. Ils ont des propriétés pseudohormonales, telles que la capacité de se lier aux récepteurs des œstrogènes, ce qui les classe parmi les phytoestrogènes. Ils contiennent trois molécules principales : la génistéine, la daidzéine et la glycitéine (Bolwell, 1992).</p> |  <p>Structure chimique des isoflavonoïdes (Korkina et Afanasev, 1997).</p> |

1.3.3. Les lignanes :

Ces polymères sont un large groupe de produits naturels dérivés de la condensation de deux sous-unités phénylpropane C6-C3 (figure 8). La paroi des cellules végétales est formée par ces composés de haut poids moléculaire en collaboration avec la cellulose et les dérivés hémicellulosiques. Les lignanes et leurs dérivés synthétiques suscitent de plus en plus d'intérêts en raison de leurs nombreuses activités biologiques, ce qui explique leur utilisation en médecine traditionnelle (Casarin et al, 2014). Les lignanes sont métabolisées en entérodiol et en entérolactone par la microflore intestinale. Les faibles concentrations de secoisolaricirésinol et de matairesinol ingérées dans le cadre de notre alimentation normale ne tiennent pas compte des quantités des métabolites entérodiol et entérolactone qui sont généralement mesurés dans le plasma et l'urine.

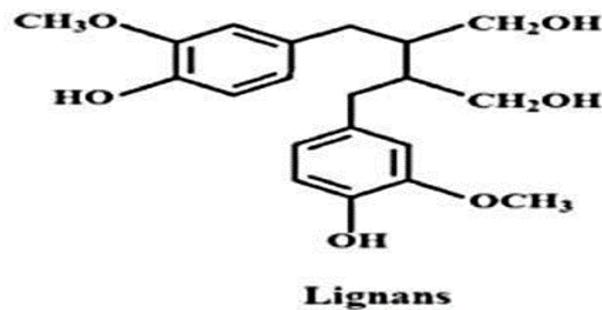


Figure 8 : Structure des lignanes (Casarin et al, 2014).

1.3.4. Les stilbènes :

Ces composés dérivent de l'acide cinnamique (phénylpropanoïdes), font partie d'un groupe très vaste de polyphénols (Leray, 2010), et sont produits par les plantes en réponse aux infections bactériennes, fongiques ou virales (Crozier, 2007). Avec un squelette de base de C6-C2-C6, les principaux membres sont le resvératrol, le ptérostilbène et le piceatannol (figure 9, tableau 4).

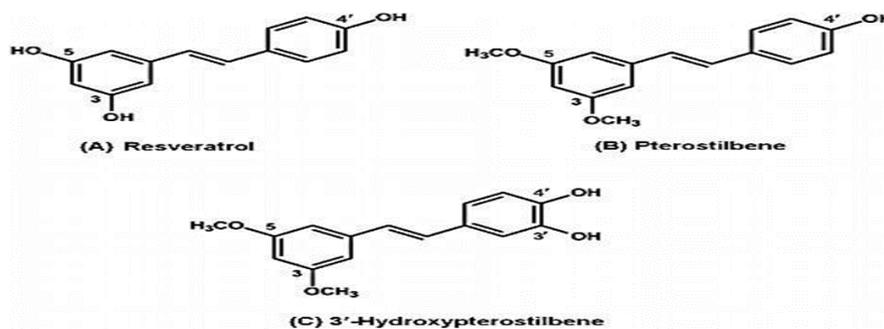


Figure 9 : Les structures chimiques du resvératrol (A), du ptérostilbène (B) et du 3'-hydroxyptérostilbène (C) (Tsai et al, 2017)

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

Tableau 4 : Différentes classes, sources alimentaires et effets signalés des polyphénols sur la santé.

| Classe | Sous-classe et composés polyphénoliques | Source de nourriture | Effets |
|--------------------|--|--|---|
| Flavonoïdes | <p>-Flavonols : Myrestine, Quercétine, Isoquercitrine, Kaempférol, Rutine</p> <p>-Flavones : Chrysine, Lutéoline, Apigénine, Tangéritine</p> <p>-Flavanones : Hespératine, Naringénine, Naringine, Eriodictyol</p> <p>-Isoflavones : Daidzéine, Génistéine, Curcumine</p> <p>-Flavanols : Catechine, épicatechine,</p> | <p>Noyaux de dattes, Agrumes, thé (vert, blanc, oolong, noir), oignons, vin rouge, pommes, céleri, persil, légumineuses, trèfle rouge, soja, myrtilles, cerises, jus de grenade, olive, raisin, lait de soja, chocolat, tofu, cidre, jus d'orange, jus de citron, etc.</p> | <p>Action antiartérioscléreuse, réduisant le taux de cholestérol sanguin, protégeant contre l'hypertension, régulation de la perméabilité capillaire, amélioration de la circulation périphérique, réduisant le risque de formation de caillots à Proximité de l'endothélium endommagé avec propriétés antiagrégantes, réduction de la résistance à l'insuline et de la masse du tissu adipeux viscéral, prévention des lésions neuronales oxydatives, la préservation de la fonction cognitive au cours du vieillissement et la prévention de la formation de cancer en interagissant avec divers gènes et enzymes (Kozłowska & Szostak-Wegierek, 2014)</p> |

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

| | | | |
|--------------------------|---|--|--|
| | gallocathéchine, proanthocyanidines -Anthocyanidines : Cyanidine, Malvidine, Delphinidine, Pélagonidine | | |
| Phénolique acides | -Acide hydroxybenzoïque : Acide gallique, acide vanillique, acide ellagique,acide salicyclique -Acide hydroxycinnamique : Acide caféique, acide férulique,acide chlorogénique,acide coumarique | Mangues ; les fruits rouges comme les fraises, les framboises et les mûres ; myrtilles, kiwis, prunes, cerises, pommes, parties extérieures du noyau, pomme de terre, café, etc. | Traitement des maladies allergiques inflammatoires, antiathérosclérose, antidiabétique, anticancérigène, antiathérosclérotique, antiathérogène, effet antiinflammatoire, réduction du stress oxydatif testiculaire, protection contre la maladie d'Alzheimer et effet antihypertenseur (Rashmi et Negi, 2020) |

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

| | | | |
|------------------|--|---|--|
| Lignanes | -Sésamine, - Épisesamine, -Sécoisolaricirésinol, - Conidendrine | Lin, algues, lentilles, triticales, blé, ail, asperges, carottes, poires, pruneaux, graines de sésame, céréales, etc. | Effet anticancéreux, antidiabétique, préventif des maladies cardiovasculaires et propriétés antioxydantes (Ahmadifar et al, 2021) |
| Stilbènes | - Resvératrol, - Pollidol, - Ptérostilbène, - Pinosylvine - e-Viniférine | Bleuets, canneberges et Cacahuètes, raisins, mûres, etc. | Amélioration du métabolisme des lipides et du glucose, amélioration des réponses immunitaires et de la capacité antioxydante, amélioration de la tolérance au glucose et à l'insuline, réduction du foie immunotoxicité (Ahmadifar et al, 2021) |

1.4. Propriétés physicochimiques des polyphénols :

Les polyphénols possèdent une large gamme de propriétés en fonction de leurs structures spécifiques. D'après une littérature abondante sur les polyphénols végétaux et leurs caractéristiques, leurs principales propriétés peuvent être succinctement divisées en plusieurs aspects (**Ana Belščak et al, 2018**).

1.4.1. Solubilité :

La plupart des phénoliques végétaux se dissolvent dans les solvants organiques polaires, sauf s'ils sont complètement modifiés par estérification, éthérification ou glycosylation. Les glycosides phénoliques, eux, sont généralement solubles dans l'eau, contrairement à leurs aglycones correspondants qui le sont moins. En règle générale, plus un composé phénolique possède de groupes hydroxyles, plus il est soluble dans l'eau (**Lattanzio et al, 2008**).

1.4.2. Absorption de la lumière ultraviolette :

Tous les composés phénoliques présentent une forte absorption dans la région ultraviolette (UV) du spectre, et les composés colorés absorbent également de manière significative dans la région visible. Chaque classe de composés phénoliques a des caractéristiques d'absorption distinctes. Par exemple, les phénols et les acides phénoliques ont des maximaux spectraux situés entre 250 et 290 nm (**Mabry et al, 1970 ; Lattanzio et al, 2008**).

1.4.3. Propriétés protectrices des plantes :

Ces molécules sont des métabolites secondaires des plantes et jouent généralement un rôle dans la défense contre les rayons UV et les agressions des agents pathogènes (**Manach et al, 2004**). En plus de leur rôle dans les interactions plante-animal et plante-microorganisme, les composés phénoliques végétaux agissent comme agents de signalisation, tant au-dessus qu'en dessous du sol, entre les plantes et d'autres organismes, et servent de barrières contre les rayons UV (**Lattanzio et al, 2008**).

1.4.4. Pigments et odorants végétaux :

Les composés polyphénoliques sont les principaux pigments responsables des couleurs jaunes, rouges, bleues et violettes des plantes, et ils contribuent également à diverses saveurs alimentaires. Certains polyphénols volatils, tels que la vanilline et l'eugénol (qui donne aux clous de girofle leur odeur caractéristique), sont des odorants extrêmement puissants. Cependant, les principales saveurs associées aux polyphénols sont l'amertume et l'astringence (**Cheynier, 2005**).

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

En plus de leurs propriétés physicochimiques de base, les polyphénols partagent deux propriétés fondamentales qui sous-tendent leur activité :

- Leur activité réductrice, qui détermine leurs propriétés antioxydants et leur sensibilité à l'oxydation.
- Leurs propriétés de liaison, attribuées à leur capacité de chélation des métaux et à leur affinité pour les protéines, y compris les enzymes, les protéines de transport et les récepteurs (Dangles, 2006).

2. Activité antioxydante des polyphénols :

2.1. Activité antioxydante et mécanismes impliqués :

Les mécanismes d'action antioxydant des polyphénols incluent la neutralisation directe des radicaux libres réactifs, la chélation des ions métalliques traces impliqués dans la formation des radicaux libres, l'inhibition des enzymes responsables de la production de radicaux libres, et la régénération des antioxydants membranaires tels que l' α -tocophérol (Rice-Evans et al, 1996 ; Nijveldt et al, 2001 ; Liu et Guo, 2005).

Les polyphénols sont de puissants antioxydants capables de neutraliser les radicaux libres en cédant un électron ou un atome d'hydrogène. Deux principaux mécanismes d'antioxydation ont été proposés. La première repose sur la capacité du groupe fonctionnel phénol à donner un atome d'hydrogène à un radical libre R, comme les radicaux peroxydes ($\text{LOO}\cdot$) générés lors de l'autoxydation des lipides (LH). Dans ce cas, les polyphénols agissent en tant qu'antioxydants de rupture de chaîne. Par ce mécanisme de transfert d'atome d'hydrogène, l'antioxydant phénolique (ArOH) se transforme lui-même en un radical libre ($\text{ArO}\cdot$) (Figure 10). Le deuxième mécanisme implique le transfert d'un électron unique (SET) d' ArOH à un radical libre R, formant ainsi un radical cation stable ArOH^+ . (Figure 10). L'énergie de dissociation de liaison (BDE) et le potentiel d'ionisation (PI) du phénol sont les deux paramètres physico-chimiques de base qui permettent de déterminer l'efficacité potentielle de chaque processus (Quideau et al, 2011 ; Makris et Boskou, 2014).

2.2. Stabilisation des radicaux libres :

Les polyphénols ont une activité antioxydante directe en réagissant avec les espèces réactives de l'oxygène (ROS) pour former des radicaux stabilisés. Les espèces réactives de l'oxygène telles que les radicaux hydroxyle/peroxyde et les peroxydes sont produites par les processus

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

normaux du métabolisme, tels que la phosphorylation oxydative et la production d'ATP (Liguori et al, 2018).

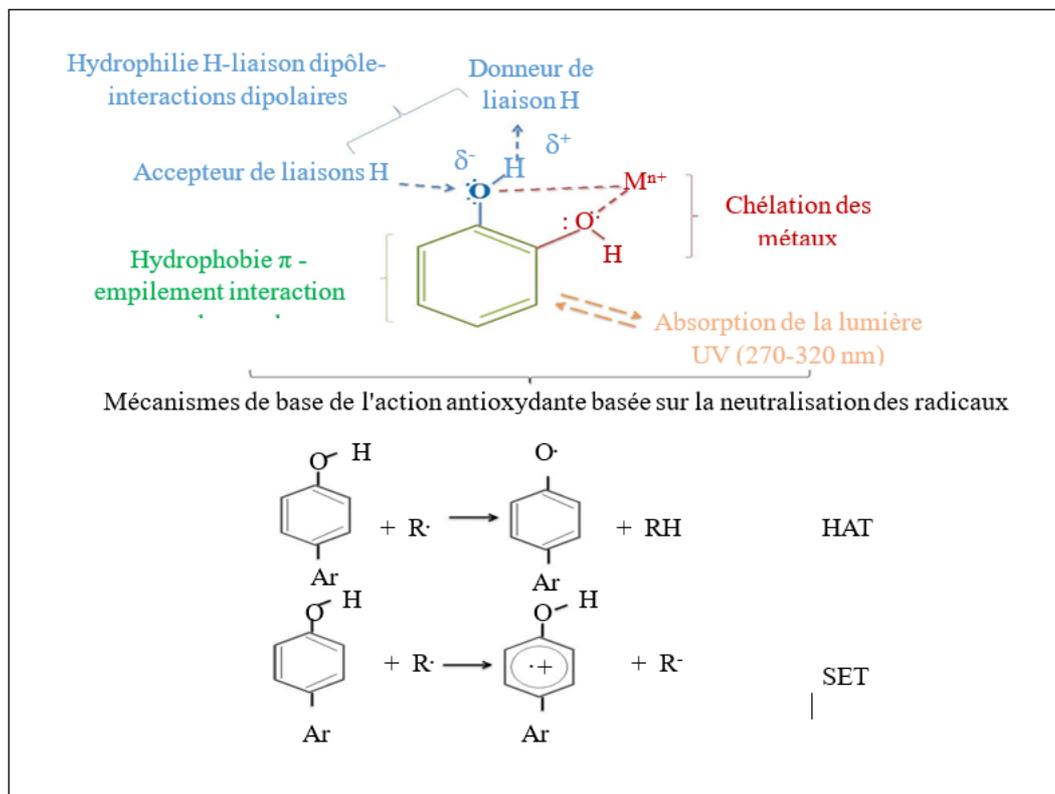


Figure 10 : Propriétés physico-chimiques et moléculaires et mécanismes de l'activité antioxydante des polyphénols en fonction de leur de leur structure fonctionnelle phénolique de base (Ana Belščak et al, 2018).

Une perturbation de l'équilibre des espèces réactives de l'oxygène (ROS), observée avec le vieillissement biologique, peut résulter soit d'une augmentation de leur production, soit d'une capacité diminuée à les éliminer. La source et la nature spécifique des ROS sont toutes deux cruciales pour déterminer leurs cibles biologiques et les types de modifications qu'ils induisent. Les ROS varient considérablement en termes de diffusion et de réactivité, et bien qu'ils puissent agir comme des molécules de signalisation importantes, ils peuvent aussi causer des dommages irréversibles aux macromolécules telles que l'ADN (Bertram et Hass, 2008). En outre, les ROS peuvent induire la sénescence cellulaire, à la fois in vitro et in vivo, via la réponse aux dommages de l'ADN médiée par la p53. Par conséquent, la séquestration des ROS a été montrée pour améliorer la santé et même prolonger la durée de vie saine dans plusieurs organismes modèles (Zhou et al, 2017).

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

Les polyphénols peuvent réagir avec les ROS de manière stœchiométrique en formant des radicaux stabilisés après abstraction d'hydrogène, comme illustré dans (figure11). La stabilisation des radicaux, grâce à la délocalisation sur la structure stilbénoloïde et flavonoïde, prolonge le temps de résidence et la distance de diffusion des radicaux, permettant leur élimination stœchiométrique par des antioxydants endogènes comme le glutathion réduit (GSH). Comme indiqué dans la figure 11, l'activité antioxydante directe dépend de la présence de groupes hydroxyle, fournissant à la fois une source d'hydrogène labile pour l'abstraction et augmentant la stabilité du radical formé (Adam et Lynne, 2020).

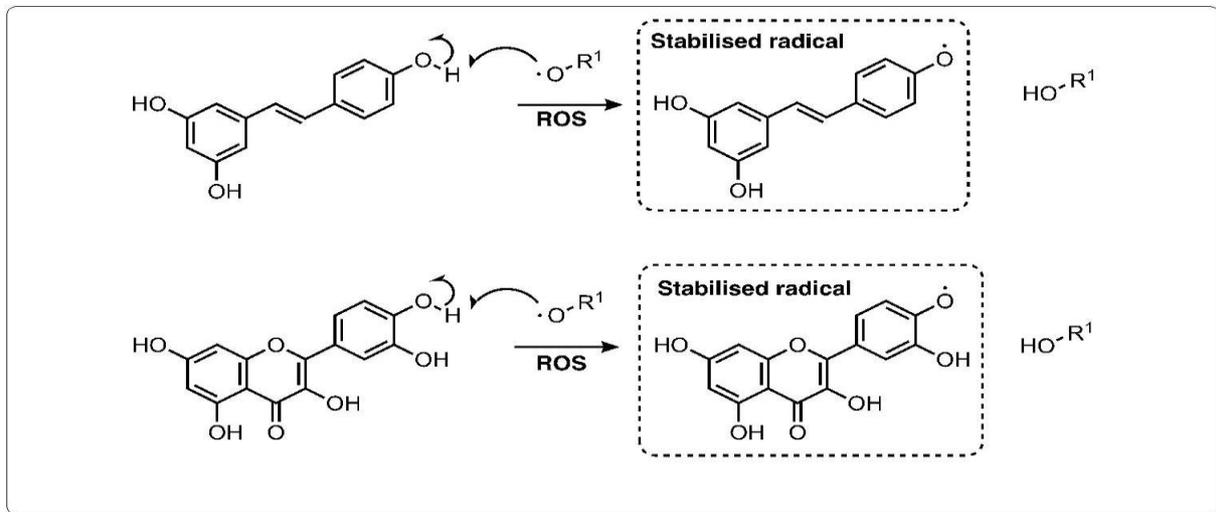


Figure 11 : Activité antioxydante directe des polyphénols : abstraction d'hydrogène, extinction des ROS et formation de radicaux stilbénoloïdes (a) et flavonoïdes (b) stabilisés.

(Adam et Lynne, 2020).

3. Les effets des polyphénols :

Les polyphénols interviennent dans les voies neuronales et gliales en régulant l'expression de gènes codant pour des protéines cytoprotectrices et des enzymes antioxydants, ce qui réduit la signalisation du stress inflammatoire (Sharma, 2013 ; Mrduljaš et al, 2017). Ils influent également sur la production de cytokines et l'interaction des facteurs de transcription en aval de NF-κB, du facteur de nécrose tumorale α (TNF-α) et des interleukines, modulant ainsi la réponse neuro-inflammatoire dans le système nerveux central. Cette interaction est réalisée en inhibant les cascades de protéines kinases activées par les mitogènes (MAP kinase) telles que p38 ou la signalisation extracellulaire kinase 1/2 régulée par le signal (ERK1/2), modulant les voies de signalisation des protéines et des lipides kinases (Sharma, 2013). La consommation régulière de concentrations élevées de polyphénols, au moins trois fois par semaine dans le

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

cadre d'un régime quotidien, semble efficace pour retarder l'apparition de la maladie d'Alzheimer. Les principaux rôles vaso-protecteurs des polyphénols incluent la stimulation du système de défense antioxydant, la diminution de la tension artérielle, l'amélioration de la fonction endothéliale, l'inhibition de l'agrégation plaquettaire, la réduction des réponses inflammatoires, la modulation de la phosphorylation de l'oxyde nitrique synthase endothéliale (eNOS) induite par la voie PI3-kinase/Akt médiée par Ca^{2+} (Huebbe et al, 2012 ; Oak et al, 2018), ainsi que la réduction de l'expression du facteur de transcription NF- κ B pour supprimer la production endothéliale de NADPH oxydase et de prostacycline, inhibant ainsi l'endothéline-1, la migration et la prolifération des cellules vasculaires, et l'activation de la métalloprotéinase matricielle (MMP) (Sharma, 2013 ; Oak et al, 2018).

De plus, les polyphénols contribuent à réduire l'inflammation et l'agrégation plaquettaire en diminuant la synthèse de prostaglandine E2 (PGE2), de leucotriène B4 et de thromboxane A2. Cette inhibition des enzymes est également associée à la protection des particules de LDL contre l'oxydation, réduisant ainsi le risque de maladies coronariennes et d'infarctus du myocarde, et normalisant la pression capillaire (Pandey et Rizvi, 2009).

Les flavonoïdes éliminent les ROS et atténuent l'inflammation de l'endothélium des vaisseaux sanguins en inhibant l'oxydation plasmatique des lipoprotéines de basse densité (LDL) et en réduisant les activités des enzymes qui favorisent la production de ROS, notamment la NADPH oxydase, la lipoxygénase et la xanthine oxydase. Certains flavonoïdes comme la quercétine ou la rutine, dotés de propriétés antiagrégantes, réduisent le risque de formation de caillots à proximité de l'endothélium endommagé en interagissant avec les intégrines plaquettaires et en empêchant l'adhésion des plaquettes (Kozłowska & Szostak-Wegierek, 2014).

Les polyphénols présentent également des effets anti-chimiotaxiques, comprenant des activités œstrogéniques/anti-œstrogéniques, l'inhibition de la prolifération cellulaire, l'atteinte de la signalisation de la protéine de liaison aux éléments de réponse p38/AMPC (CREB) pour induire le blocage du cycle cellulaire en phase G2/M, l'induction de l'apoptose, l'inhibition de l'oxydation, l'induction des enzymes de détoxification, la régulation du système immunitaire de l'hôte, l'activité anti-inflammatoire et les modifications de la signalisation cellulaire (García-Lafuente et al, 2009 ; Sharma, 2013).

4. Effets des polyphénols sur les canaux ioniques :

De nombreux polyphénols ont des effets antiarythmiques et cardioprotecteurs en bloquant directement les canaux sodiques voltage-dépendants cardiaques (VGSC). Des composés tels

Chapitre II : Les effets des polyphénols et activité antioxydante

que la quercétine, la catéchine et le resvératrol présents dans les raisins peuvent bloquer le courant VGSC, réduisant ainsi la charge en sodium. Ce blocage peut également réduire ou inhiber l'augmentation du calcium intracellulaire, ce qui à son tour peut atténuer les dommages cellulaires causés par une hypercontractilité cellulaire irréversible et des arythmies (**Wallace et al, 2006**). Dans une étude, il a été démontré que la génistéine, un inhibiteur de la tyrosine kinase impliqué dans la régulation des canaux ioniques cardiaques, peut directement inhiber les courants calciques de type L dans les myocytes ventriculaires de cobaye. De plus, elle renforce les courants de chlorure dépendants de l'AMPc dans le cœur (**Chiang et al, 1996**).

La quercétine a la capacité d'induire une relaxation directe du muscle lisse gastrique humain en ouvrant les canaux K^+ . Cette action entraîne une hyperpolarisation de la membrane plasmique grâce à l'activation des canaux K^+ , ce qui empêche l'entrée de Ca^{2+} dans la cellule et conduit ainsi à la relaxation du muscle lisse. Par conséquent, la quercétine présente un potentiel thérapeutique dans le traitement des troubles de la motilité gastro-intestinale (**Modzelewska et al, 2021**).

Certains flavonoïdes ont été étudiés pour leur capacité antagoniste envers les canaux ioniques sensibles à l'acidité (ASICs) dans des processus de maladies liées à la douleur telles que la douleur chronique, le prurit et la neuro-inflammation. Par exemple, l'épigallocatechine gallate (EGCG) présente une inhibition sélective du sous-type de canal ASIC3 et atténue ainsi la réponse à la douleur induite par l'acide, suggérant son potentiel dans le traitement des affections douloureuses associées à cet effet (**Yan et al, 2019**).

L'effet stimulant de la curcumine sur la sécrétion d'insuline et son activité hypoglycémique ont été testés dans les cellules β pancréatiques. La curcumine active le canal d'anions régulateur du volume dans les cellules β . Cette activation induit la libération d'insuline, provoquant la dépolarisation de la membrane cellulaire et l'entrée de Cl^- . De plus, la curcumine réduit le volume des cellules β , car la perte de Cl^- et donc la sortie d'eau se produit avec l'activation du canal d'anions. Cette stimulation de la fonction cellulaire par la sortie de Cl^- indique son effet hypoglycémique, et ce résultat informe sur son potentiel thérapeutique dans le diabète de type 2 (**Best et al, 2007**).

Chapitre III :

Les effets et les applications biotechnologiques de
la poudre de noyau de datte

1. Les types d'extraction des composants phénoliques :

L'extraction est l'étape la plus importante dans le processus d'isolement des composés phénoliques à partir de matériaux végétaux et d'autres organismes. Cette étape est fortement influencée par la nature chimique des phénoliques, la méthode d'extraction employée, la taille des particules de l'échantillon et la présence éventuelle de substances interférentes (**Hostettmann et al, 1997**).

1.1. La procédure d'extraction solide-liquide et liquide-liquide :

Les techniques les plus couramment utilisées pour l'analyse des polyphénols et des phénols simples dans les plantes sont souvent choisies en raison de leur efficacité, de leur applicabilité étendue et de leur facilité d'utilisation. Ces méthodes sont largement préférées dans le processus d'extraction en raison de leurs avantages (**Djurdjevic et al, 2007**).

1.2. Extraction par solvant :

Les composés phénoliques sont généralement extraits en combinant des solvants polaires tels que l'acétate d'éthyle, l'acétone, l'éthanol et le méthanol avec de l'eau. Cette méthode d'extraction par solvant est souvent réalisée à l'aide d'équipements spécialisés tels que le Soxhlet, des dispositifs d'extraction par fluide supercritique, des extracteurs de solvant accélérés et des extracteurs assistés par micro-ondes (**Putnam et Tang, 1986**).

1.3. Les extracteurs assistés par ultrasons :

L'extraction peut être effectuée à l'aide de sondes ultrasonores ou de bains ultrasonores, soit en mode séquentiel, soit en mode constant. Comparativement aux sondes ultrasonores, l'utilisation d'un bain à ultrasons est généralement moins coûteuse et plus facile à manipuler, tout en pouvant offrir des résultats de meilleure qualité (**Inderjit, 1996**).

1.4. L'extraction par Soxhlet :

L'extraction par Soxhlet est une technique couramment employée pour isoler les composés phénoliques à partir de matériaux solides. Les solvants privilégiés sont généralement le méthanol ou l'acétonitrile aqueux (**Hadacek, 2002**).

L'extraction par fluide pressurisée utilise des solvants spécifiques à des températures et des pressions contrôlées pour extraire les composés bioactifs (**Zeng et al, 2001**).

1.5. Une procédure d'extraction assistée par micro-ondes :

Cette méthode a été employée pour la détermination continue des isoflavonoïdes dans le Radix astragali. Comparativement aux méthodes de Soxhlet et d'extraction par ultrasons, cette procédure offre une efficacité d'extraction maximale (**Leslie et Romani, 1998**).

1.6. L'extraction en phase solide :

L'extraction en phase solide est la méthode standard utilisée pour purifier les extraits bruts de plantes ou d'autres échantillons biologiques. Cette approche est rapide, reproductible et permet une purification efficace des extraits. Elle évite généralement la formation d'émulsions et convient aux petits volumes d'échantillons. Une méthode d'extraction en phase solide simple est essentielle pour isoler tous les analytes acides et basiques présents dans l'extrait brut de plante, et des taux de récupération élevés sont généralement obtenus avec ces procédures (**Ni, 2000**).

2. Comparaison des propriétés antioxydantes des extraits méthanoïques, hydro-méthanoïque et aqueux de ND Deglet Nour :

L'évaluation globale de trois extraits de ND de la variété « Deglet Nour », extrait aqueux, méthanoïque (MeOH) et hydro-méthanoïque (A-MeOH) a été effectuée (tableau 5). L'extrait méthanoïque se distingue par sa richesse en composés phénoliques, polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins, tandis que les activités antioxydantes les plus élevées, piégeant les radicaux 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (DDPH) et les ions ferriques réducteurs (FRAP) ont été montrés par l'extrait MeOH. En revanche, l'extrait hydro-méthanoïque présentait des valeurs plus faibles de composés bioactifs et une activité antioxydante et antimicrobienne remarquablement inférieure par rapport aux deux autres extraits (**Chaoui Boudghane et al, 2022**). L'extrait aqueux qui présente les valeurs les plus faibles a été préparé par décoction après ébullition où la température était supérieure à 100 °C, Les composés phénoliques sont sensibles aux températures supérieures à 60°C (**Ghafoor et al, 2019 ; Onyebuchi et Kavaz, 2020**). Cependant, la solubilité des phénols dans les solvants polaires est assez élevée (**Stankovic, 2011**), ce qui explique les meilleures valeurs de la teneur en TPC, TFC et tanins de l'extrait méthanoïque. Les résultats suggèrent un potentiel d'intégration de ces noyaux dans des produits alimentaires en raison de leur composition nutritionnelle et chimique, ainsi que de leurs bienfaits pour la santé, les positionnant comme des aliments fonctionnels utiliser dans un certain

nombre de produits pharmaceutiques, parapharmaceutiques et cosmétiques (**Chaoui Boudghane et al, 2022**).

Tableau 5 : Phénols totaux, flavonoïdes et tanins d'extraits de noyaux de variété Deglet Nour (Chaoui Boudghane et al, 2022).

| Extraits | PPT (mg EAG/g MS) | FT (mg EQ/g MS) |
|------------------|-------------------|-----------------|
| Extrait aqueux | 87,62±0,07 | 100,28±0,48 |
| Extrait MeOH | 113,33±0,41 | 189,34±0,15 |
| Extrait d'A-MeOH | 92,63±0,12 | 114,03±0,11 |

3. Comparaison d'analyse phytochimique de PND crus et torréfiés :

Une autre étude a également révélé des niveaux de TPC et de TFC plus bas pour l'extrait de datte torréfiée par rapport à l'extrait brut (**Babiker et al, 2020**). Les composés phénoliques peuvent être instables lors de la torréfaction, ce qui entraîne leur déshydratation, leur isomérisation et leur dégradation (**Patrignani et al, 2021**).

L'activité antioxydante des différentes matières alimentaires augmentait à mesure que le degré de torréfaction augmentait en raison du développement des produits de réaction de Maillard, appelés mélanoidines, au cours du processus de torréfaction (**Patrignani et al, 2021**). Les produits de la réaction de Maillard sont des composés de couleur brune avec un arôme typique et des propriétés fonctionnelles incluant une activité antioxydante (**Chung et al, 2013**). La réaction de Maillard, qui fait partie du système de réaction de brunissement non enzymatique, devient prédominante lorsque des composants tels que les sucres réducteurs et les amines (acides aminés, peptides ou protéines) réagissent entre eux pendant les processus de séchage ou de torréfaction. Donc la présence de composés phénoliques dans la structure des mélanoidines (**Patrignani et al, 2021**), peut également expliquer les faibles taux des teneurs totales des polyphénols (TPC) et des flavonoïdes (TFC) dans le PNT et le réduire considérablement le taux d'oxydation des graisses, conduisant à une augmentation de l'activité de piégeage des radicaux DPPH (**Nicoli, 1997**) (tableau 6).

Les composés phénoliques principaux de PND brut sont la catéchine, l'acide 3,4-dihydrobenzoïque et l'acide 2,5-dihydrobenzoïque, l'acide chlorogénique n'a pas été observé ni

Chapitre 3 : Les effets et les applications biotechnologiques de la poudre de noyau de datte

dans le PND brut ni dans celui torréfié, à l'exception de la quercétine, de l'apigénine et de la rutine, qui sont les flavonoïdes principaux présents dans les ND (Bouhlali et al, 2020). La capacité des composés phénoliques à se réchauffer pendant le processus de torréfaction dépend de leurs structures chimiques et de la matrice alimentaire (Lemos et al, 2012).

Tableau 6 : Teneur totale en polyphénols et en flavonoïdes et activité de piégeage du radical DPPH (2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl) de l'extrait de polyphénols de PND

| Propriétés phytochimiques | PND Cru | PND torréfié |
|---|--------------|--------------|
| Teneur totale en phénol (mg équivalent acide gallique/100 mg PND) | 31,9 ± 2,8 | 25,7 ± 1,2 |
| Teneur totale en flavonoïdes (mg équivalent quercétine /100 mg PND) | 26,9 ± 1,8 | 16,4 ± 2,2 |
| Activité de piégeage des radicaux DPPH (µmole Trolox/100 mg PND) | 433,3 ± 36,1 | 354,1 ± 39,6 |

4. Composés bioactifs, minéraux, acides gras, couleur et profil sensoriel de la PNT :

L'activité antioxydante des ND est étudiée dans les différents traitements de torréfaction (180, 200 et 220°C) pendant 20 min. L'absorption la plus élevée est dans les noyaux torréfiés à 220°C et la plus faible à 200°C, c'est-à-dire qu'elle différerait significativement ($p < 0,5$). L'élévation de la température a entraîné une augmentation du rendement des activités antioxydantes. Les ND sont riches en composés phénoliques, la catéchine, le 1,2-dihydroxybenzène, l'acide 3,4-dihydroxybenzoïque, la quercétine, l'acide syringique et l'acide gallique étant les composés dominants des échantillons d'extrait non torréfié et torréfié en fonction des températures (tableau 7) (Al Harti et al, 2015). Les raisons de la variation des composés phénoliques totaux dans les ND peuvent inclure la variété, la maturité, l'origine géographique, l'état de croissance, l'engrais, la saison, les maladies, le type de sol, la transformation, l'extraction et les conditions de stockage (Alem et al, 2017). La composition en acides gras comprenait à la fois des acides

gras saturés (acides laurique, myristique, palmitique, stéarique, arachidique et béhénique) et insaturés (acides oléique, élaïdique, linoléique et arachidonique). Parmi les minéraux, les teneurs en Ca, K, Mg, Na, Fe et P ont été trouvées en concentrations très élevées, tandis que les éléments Ni, Cr, Cu, B, Mn et Zn ont été trouvés en très faibles concentrations dans des échantillons de noyaux de dattes torréfiées et non torréfiées. Certains minéraux (Cr, B, Cu, Mg, Na, Zn, Ni, Ca, P, Fe, Mn et K) présentaient une réduction avec l'augmentation de la température de torréfaction. Les PNT ont une couleur plus foncée et une saveur distinctive. Un autre indicateur de qualité est l'arôme, et à mesure que la température et la durée de torréfaction augmentent, les composés aromatiques diminuent. Il est donc important d'établir les meilleures conditions de torréfaction pour les noyaux comestibles. Sur la base des résultats, on peut déduire que la torréfaction est une technique de traitement importante pour améliorer certaines propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et organoleptiques de la poudre de ND et de certains composés bioactifs (Babiker et al., 2020).

Tableau 7 : Propriétés chimiques des noyaux de dattes torréfiés à différentes températures pendant 20 min.

| Échantillons de Noyaux de dattes | Phénol total (mg GAE/100 grammes de matière sèche) | activité Antioxydant (%) (Méthode DPPH) |
|---|---|--|
| Non traité (témoin) | 595,83 ± 27,98 | 26,62 ± 2,09 |
| 180°C | 577,78 ± 20,10 | 15,60 ± 2,25 |
| 200°C | 525,35 ± 41,15 | 06,66 ± 2,62 |
| 220°C | 585,76 ± 53,70 | 47,58 ± 0,82 |

4.1. Composé phénolique, profil et activité antioxydante du ND Deglet Nour cru et torréfié :

Les extraits contiennent des composés phénoliques qui améliorent leur stabilité oxydative et leur valeur nutritionnelle. Les extraits de ND « Deglet Nour » cru et torréfié contiennent des composés phénoliques qui améliorent leur stabilité oxydative et leur valeur nutritionnelle. Le tableau 8 résume la quantité moyenne de composés phénoliques et l'activité antioxydante du DPPH. Les ND Deglet Nour crus possédaient la plus haute concentration totale en composés

Chapitre 3 : Les effets et les applications biotechnologiques de la poudre de noyau de datte

phénoliques qui a été réduite par la torréfaction (Liu et al, 2018), tandis que l'activité antioxydante des composés phénoliques du ND Deglet Nour diffère entre les formes crues et torréfiées, et peut être influencée par le processus de torréfaction, modifiant potentiellement ses propriétés (Al Ghezi et al, 2020).

Les ND peuvent être une bonne source d'antioxydants pouvant être utilisés comme ingrédients curatifs. Les résultats ont montré que les conditions de torréfaction (température et durée) affectaient de manière significative la dureté des noyaux de dattes entières, la teneur en humidité de la poudre de noyaux de dattes torréfiés entiers, le radical DPPH, activité de récupération, TPC, rendement d'extraction, pH et propriétés sensorielles de l'infusion préparée à partir des noyaux de dattes entières. Les propriétés antioxydantes et de qualité de l'infusion de noyaux de dattes entières sont aussi influencées par les conditions de torréfaction (Babiker et al, 2020).

Tableau 8 : Teneur totale en phénols, flavonoïdes et tanins condensés des extraits de ND Deglet Nour cru.

| Cultivars | Produits phénoliques totaux (mg GAE/g MS) | Flavonoïdes totaux (mg ER/g MS) | Élimination des radicaux DPPH (mg TE/g d'extrait) |
|------------------------|--|--|--|
| Deglet Nour cru | 284,86± 21,9 | 72,98±1,16 | 122,68±1,21 |

Tableau 9 : Caractéristiques chimiques, fonctionnelles et des composés phénoliques de la PNT Deglet Nour torréfiés (Jrad et al, 2022).

| Cultivars | Composés phénoliques | | Activité de piégeage DPPH (IC50 mg ml⁻¹). |
|------------------|-----------------------------------|--------------------|---|
| | Acides phénoliques | Flavonoïdes | |
| | 425,30±0,36 (mg EAG /g DW) | | |

| Deglet Nour torréfié | (µg. g ⁻¹) | | | | 0,04 ±0,01 |
|---------------------------------|------------------------|----------------------------|---------------|---------|------------|
| | Acide quinique | 1673,66 | Catéchine (+) | 2335,63 | |
| Acide protocatéchique | 177,48 | Épicatéchine | 5342,734 | | |
| Acide syringique | 75,75 | Quercétine-3-O-Galactoside | 43,535 | | |
| Acide p-coumarique | 63,394 | Rutine | 34,419 | | |
| Acide trans-férulique | 43,496 | Lutéoline-7-O-Glucoside | 18,136 | | |
| Acide 4,5-di-O-Caffeoylquinique | 0,637 | Quercétine-3-O-Rhamonoside | 1,686 | | |
| | | Quercétine | 81,285 | | |
| | | Kaempférol | 2,793 | | |
| | | Naringénine | 14,034 | | |
| | | Apigénine | 11,509 | | |
| | | Lutéoline | 20,019 | | |

| | | | | | |
|--|--|--|-------------|--------|--|
| | | | Cirsiliol | 50,306 | |
| | | | Cirsilinéol | 4,993 | |

5. La biotechnologie du ND torréfié :

5.1. Enrichissement de yaourt de chèvre aux ND torréfiés :

Les ND constituent l'un des principaux déchets des usines de transformation de dattes et possèdent des propriétés thérapeutiques vitales. Ils représentent une source inépuisable de fibres alimentaires et de composés bioactifs (Al Juhaimi et al, 2018). La torréfaction pourrait être un processus essentiel pour garantir l'utilisation de ce sous-produit de datte. En raison des propriétés fonctionnelles des ND torréfiés et du taux de consommation élevé de yaourt, l'enrichissement de ces produits constitue une nouvelle voie pour la revalorisation des sous-produits de dattes et le développement d'un yaourt fonctionnel et bioactif, d'importance industrielle pratique (Jrad et al, 2022).

Les ND torréfiés ont prouvé leur utilisation significative comme ingrédients d'un nouveau produit laitier caprin avec une qualité nutritionnelle, texturale et sensorielle satisfaisante. Le ND torréfié se caractérise par sa couleur brun foncé, ses concentrations significatives de fibres, de calcium, de magnésium et de fer avec des WHC (la capacité de rétention d'eau) et SWC (la capacité de rétention d'huile et de la capacité de gonflement) sont élevées. De plus, le ND torréfié constitue une bonne source de composés phénoliques (une prédominance d'épicatéchine, de catéchine et d'acide quinique) avec une puissante activité de piégeage des radicaux DPPH. L'ajout de ND torréfié a modifié les propriétés technologiques (teneur en acidité et humidité plus faibles, viscosité apparente plus élevée et synérèse réduite) et nutritionnelles (teneur en protéines et minéraux) du yaourt de chèvre. De même, l'enrichissement des yaourts de chèvre avec de la poudre de ND torréfiée a eu un effet positif sur la réduction de l'arôme et de la saveur du lait de chèvre. L'activité de récupération du DPPH des yaourts a été améliorée, en particulier pour la dose la plus élevée de ND torréfié contenant des composés bioactifs supplémentaires, ce qui pourrait présenter un intérêt potentiel en tant qu'aliment fonctionnel (Jrad et al, 2022).

5.2. Noyaux de dattes torréfiés comme alternative au café :

Le café est l'une des boissons les plus préférées en raison de son goût et de son arôme, qui sont partiellement attribués à la présence de caféine. Cependant, il existe de nombreux effets négatifs

Chapitre 3 : Les effets et les applications biotechnologiques de la poudre de noyau de datte

de la caféine sur la santé humaine. Des produits alternatifs tels que la poudre de ND et la boisson à base d'orge suscitent un intérêt pour passer des boissons contenant de la caféine à des boissons sans caféine. La poudre de ND, moins utilisés, sont transformés en café grâce à un processus de torréfaction thermique. Par conséquent, des tests en laboratoire ont été effectués pour étudier les propriétés chimiques et cytotoxiques de ce café commercial. La détermination de la teneur en minéraux a montré que les ND torréfiées étaient une source de K^+ et Ca^{2+} . Les résultats obtenus démontrent que la PND torréfiées est une excellente boisson décaféinée enrichie en polyphénols et en vitamines concomitantes avec un potentiel antioxydant élevé et une cytotoxicité plus faible (**Souda et al, 2022**).

Partie 02

Etude Expérimentale

Matériel et Méthodes

1. Matériel végétal :

Les dattes sont un fruit très consommé en Algérie, surtout pendant la période de jeûne. Cette étude se concentre spécifiquement sur les noyaux de dattes Deglet-Nour qui est la plus répandue dans les palmeraies du sud de l'Algérie, provenant de Tolga (Biskra).

1.1. Préparation du matériel :

1.1.1. Préparation de la poudre de noyaux de datte torréfiées :

Selon la méthode de **Fikry et al. (2019)**, les noyaux sont séparés manuellement de la chair et trempés dans de l'eau chaude à 100 °C pendant une heure pour éliminer les résidus. Ensuite, les noyaux sont séchés à 50 °C pendant 24 heures pour éliminer l'excès d'eau de la surface des noyaux. Par la suite, les noyaux de dattes sont torréfiés à 180 °C dans un four à convection. Tous les noyaux de dattes torréfiées sont réduits en poudre à l'aide d'un broyeur à marteaux (manuellement). La poudre est tamisée afin d'éliminer les gros morceaux et est conservée jusqu'à l'analyse (Figure 12)

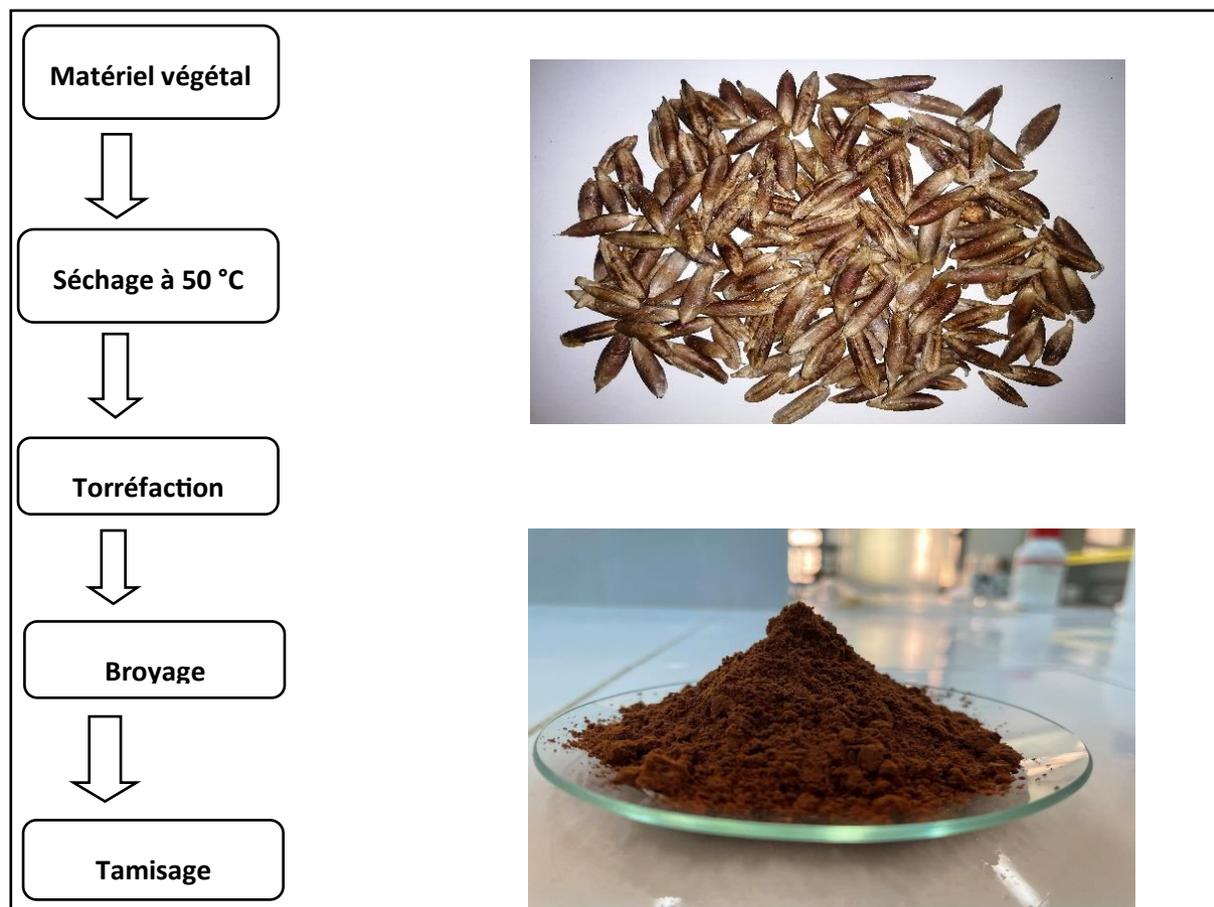


Figure 12 : Les étapes de la préparation de la poudre de noyaux de dattes torréfiés "Deglet Nour"

1.1.2. Préparation de l'extrait aqueux de poudre de noyaux de dattes torréfiés :

Les extraits de poudre sont préparés en utilisant les méthodes classiques de préparation d'extraits, à savoir l'infusion, la décoction et la macération. Cela permet d'obtenir des extraits aqueux (Bohui et al, 2018).

• Mode opératoire :

50g de poudre de noyaux de dattes torréfiés (PNT) sont déposés dans un ballon plat contenant 500 mL d'eau distillée chauffée à 100 °C. L'ensemble a été maintenu en ébullition pendant 30 minutes puis le mélange d'extraction est filtré. L'extrait obtenu a été refroidit puis est conservé dans un flacon stérile hermétiquement fermé au réfrigérateur (4°C) jusqu'à l'analyse (figure13).

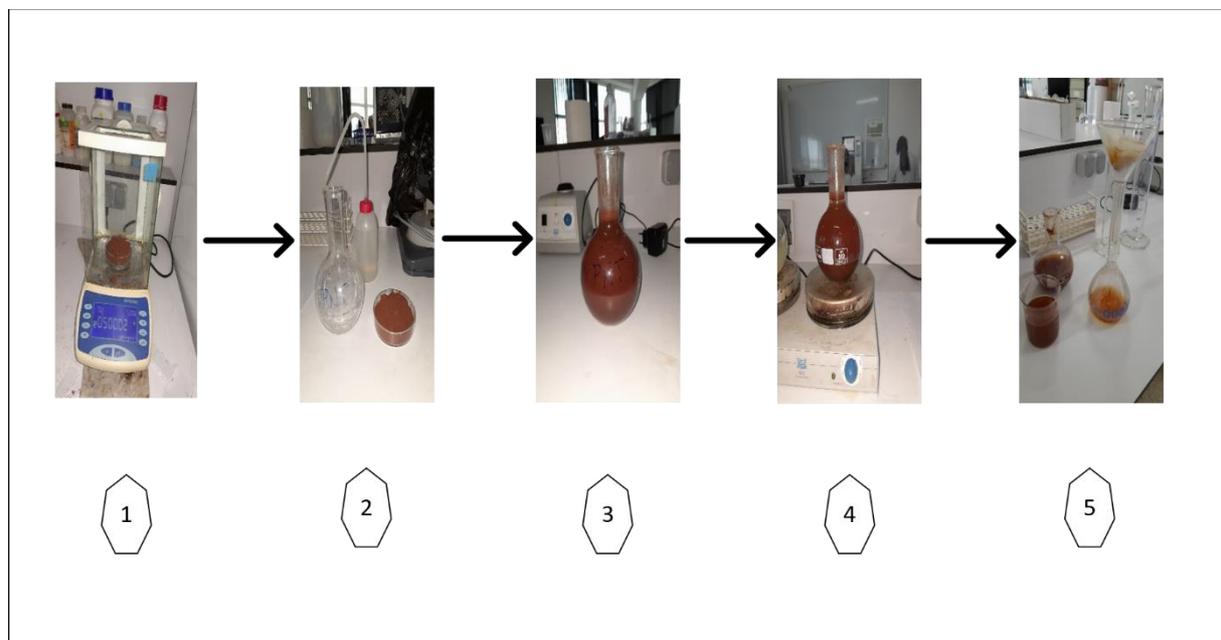


Figure 13 : Les étapes de l'extraction et préparation de l'extrait PNT.

1.1.3. Préparation des échantillons d'analyse :

Les extraits secs sont pesés et dissous dans de l'eau distillée afin d'avoir des solutions aqueuses à différentes concentrations (0, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 400 mg/mL). Les résultats sont exprimés en mg d'un volume de 2 ml pour tous les échantillons

2mL \longrightarrow 50 %

Pour préparer une solution à 1/100 (en utilisant 50 % du volume des échantillons et ajoutant un volume équivalent d'eau distillée pour atteindre 100 %), il est nécessaire d'ajouter 1 volume

d'extrait à 99 volumes d'eau distillée. Afin d'avoir des solutions aqueuses d'une concentration de 1 mg/mL pour tous les échantillons.

Tableau 10 : Préparation de gradient de concentration des solutions aqueuses à différentes concentrations (0, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg/mL).

| | | | | | | | | | |
|------------------------|---|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Concentrations (mg/mL) | 0 | 2 | 4 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| V extrait (mL) | 0 | 0.08 | 0.16 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2 |
| V l'eau distillée (mL) | 2 | 1.92 | 1.84 | 1.8 | 1.6 | 1.2 | 0.8 | 0.4 | 0 |

Pour préparer des solutions aqueuses à différentes concentrations (100, 200, 400 mg/mL). Les résultats sont exprimés en 1g/mL d'un volume de l'extrait à partir de solution mère pour obtenir d'un volume de 2 mL pour tous les échantillons de chaque tube.

Tableau 11 : Préparation de gradient de concentration des solutions aqueuses à différentes (100, 200, 400 mg/mL).

| | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|
| Concentrations (mg/mL) | 100 | 200 | 400 |
| V extrait (mL) | 0.2 | 0.4 | 0.8 |
| V l'eau distillée (mL) | 1.8 | 1.6 | 1.2 |

2. Analyse physicochimique des extraits aqueux :

2.1. Métabolites secondaires :

2.1.1. Dosage des polyphénols totaux :

- **Principe :**

Les polyphénols totaux de l'extrait aqueux de PNT sont déterminés par spectrophotométrie avec le réactif de Folin-Ciocalteu décrite par **Singleton et al. (1999)**. La méthode repose sur l'oxydation des composés phénoliques par ce réactif. La formation d'un nouveau complexe molybdène-tungstène bleu à longueur d'onde de 750nm résulte de cette oxydation, qui est

proportionnelle au taux de composés phénoliques oxydés. La comparaison de l'absorbance observée avec celle d'un étalon d'acide gallique comme contrôle positif est utilisée pour réaliser ce dosage. Il est également préparé à différentes concentrations allant de (0, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 400 mg/mL). Les résultats sont représentés en mg équivalent d'acide gallique par gramme de matière végétale.

- **Mode opératoire :**

- 2mL de carbonate de sodium à 2% a été ajoutée à 100 μ L de l'extrait aqueux dilué à 1/100.
- Agitation et incubation pendant 5min à Température ambiante
- 100 μ L du réactif Folin-Ciocalteu dilué à 1/10.
- Agitation et Incubation pendant 30min, puis mesuré l'intensité de la couleur à une longueur d'onde de 750nm.

2.1.2. Dosage des flavonoïdes totaux :

- **Principe :**

Pour mesurer la quantité totale de flavonoïdes, la méthode de **Marinova et al. (2005)** a été utilisée. La méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium et à la soude a été utilisée pour déterminer la teneur totale en flavonoïdes. Le complexe jaune est formé par le trichlorure d'aluminium et le complexe rose est formé par la soude. La sensibilité est mesurée à 510 nm. En utilisant la catéchine comme contrôle positif à différentes concentrations (0, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg/mL), la courbe d'étalonnage est réalisée dans les mêmes conditions opératoires. Les résultats sont exprimés en mg équivalent catéchine en gramme de matière végétale sèche

Mode opératoire :

- 500 μ L de l'extrait aqueux a été ajoutée avec 2mL de H₂O₂.
- 150 μ L de nitrate de sodium (NaNO₂) à 15%.
- Incubation pendant 6min.
- 150 μ L de chlorure d'aluminium (AlCl₃, 6H₂O) à 10%.
- Incubation 6min, puis mesurer la sensibilité à une longueur d'onde de 510 nm.

2.2. Evaluation des activités biologiques in vitro :

2.2.1 Le piégeage du radical DPPH :

- **Principe du test de DPPH :**

La méthode de Blois a été utilisée avec quelques modifications pour la détermination du potentiel antioxydant. Cette méthode consiste à mesurer l'activité antiradicalaire par la technique de piégeage du radical au DPPH (2,2'-Diphényl-1-picrylhydrazyl). Le DPPH (C₁₈H₁₂N₅O₆) est un radical libre stable soluble dans le méthanol (ou éthanol). D'une couleur violette intense, il présente un maximum d'absorbance à 517nm. Lorsqu'une molécule antioxydante réduit le radical DPPH, la couleur violette disparaît rapidement pour devenir une couleur jaune pâle dont l'intensité est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants du milieu à donner des protons (figure 15).

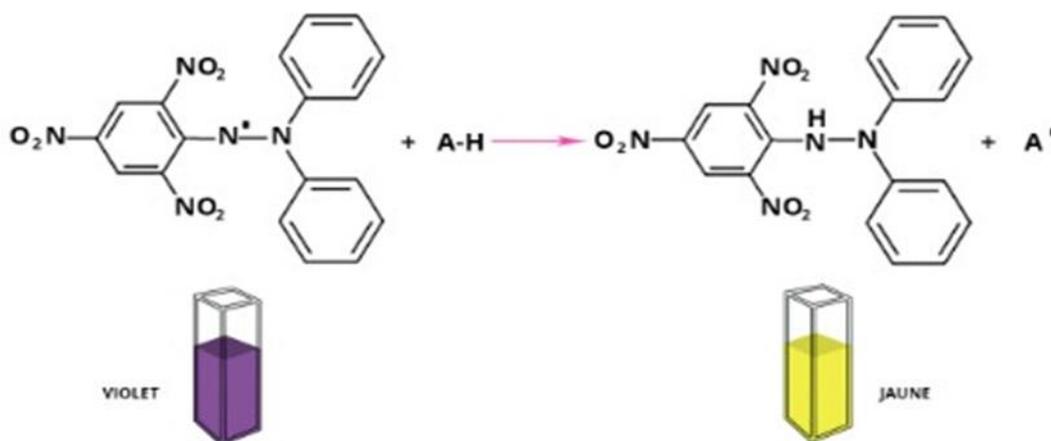


Figure 14 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test DPPH entre l'espèce radicalaire (DPPH°) et un antioxydant (AH) (Moudache, 2017).

- **Mode opératoire :**

- Préparation de la solution de DPPH :

Le DPPH a été solubilisé dans le méthanol absolu pour avoir une solution d'une concentration de 2,4 mg DPPH dans 100 ml méthanol. La solution obtenue a été conservée à l'abri de la lumière. Cette solution servira à évaluer l'activité antiradicalaire des échantillons testés.

- Préparation des échantillons :

- Prendre 25 μ L de l'échantillon (ou du standard de quercétine) à tester
- Ajouter cet échantillon à 975 μ L de la solution de DPPH préparée précédemment.

➤ Détermination du potentiel antioxydant :

La capacité antioxydante dépend de la réaction entre l'oxydant et l'antioxydant. Le spectrophotomètre UV-Visible a été calibré à 517 nm à l'aide d'un blanc composé de méthanol pur, 975 µL de la solution DPPH ont été ajoutés à 25 µL de chaque extrait à différentes concentrations citées précédemment. Après homogénéisation, le mélange échantillon-DPPH a été incubé dans le noir, à l'abri de la lumière, à la température ambiante (25°C). Après 30 minutes d'incubation et la décoloration par rapport au contrôle négatif contenant uniquement la solution de DPPH est mesurée à 517 nm. L'activité antiradicalaire des extraits testés correspondant au pourcentage d'inhibition (PI) du radical DPPH libres par l'échantillon (**Molyneux, 2004**) est calculée selon l'équation suivante :

$$PI (\%) = (DO \text{ témoin} - DO \text{ extrait} / DO \text{ Témoin}) \times 100$$

PI : pourcentage d'inhibition.

DO témoin : Absorbance du blanc ou l'absorbance du témoin négatif

DO A extrait : Absorbance de l'extrait

L'étude de la variation de l'activité antiradicalaire en fonction de la concentration des extraits permet de déterminer la concentration qui correspond à 50% d'inhibition (CI50). Une valeur faible de CI50 correspond à une grande efficacité de l'extrait.

2.2.2. Test du pouvoir réducteur du Fer : FRAP (Ferric reducing antioxidant power) :

• Principe :

L'activité réductrice d'un extrait est évaluée par la réaction d'oxydoréduction entre l'extrait et les ions métalliques de transition, notamment le fer. Le ferricyanure de potassium $K_3Fe(CN)_6$ fournit des ions Fe^{3+} qui seront réduits en Fe^{2+} par les antioxydants présents dans l'extrait. Le pouvoir réducteur est déterminé selon la méthode décrite par **Oyaizu (1986)**. Le principe de cette méthode consiste à évaluer l'aptitude de l'échantillon à donner un électron pour convertir le Fe^{3+} en Fe^{2+} , cette forme est quantifiée par la mesure de la couleur bleu du complexe (bleu de Pruss $Fe_4 [Fe (CN)_6]_3$) qui absorbe à 700 nm. L'augmentation de l'absorbance représente l'augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés.

• Mode opératoire :

- Prépare une solution de 700µL de tampon phosphate (0,2M, pH=6,6) et 700µL de solution de potassium ferricyanide à 1%

- Ajoute à 25 μL des différentes concentrations de solution aqueuse.
- Incuber le mélange à 50°C pendant 20 minutes.
- Ajouter 700 μL de solution de TCA à 10% pour arrêter la réaction.
- Incuber à température ambiante pendant 10 minutes.
- Ajouter 700 μL d'eau distillée et 125 μL de solution de FeCl_3 à 0,1% à 1,25mL du surnageant obtenu après centrifugation ou décantation.
- Mesurer l'absorbance à 700nm contre un blanc. Les résultats permettent de calculer la concentration efficace (CE_{50}) concentration de l'extrait correspondante à une absorbance égale à 0,5, obtenue par l'interprétation de la courbe de régression linéaire ($\text{D.O} = f([\text{I}])$). L'activité de l'extrait est enfin comparée à celle du témoin positif, suggérant son potentiel antioxydant (figure 16).

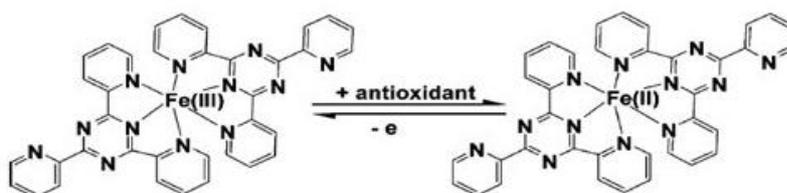
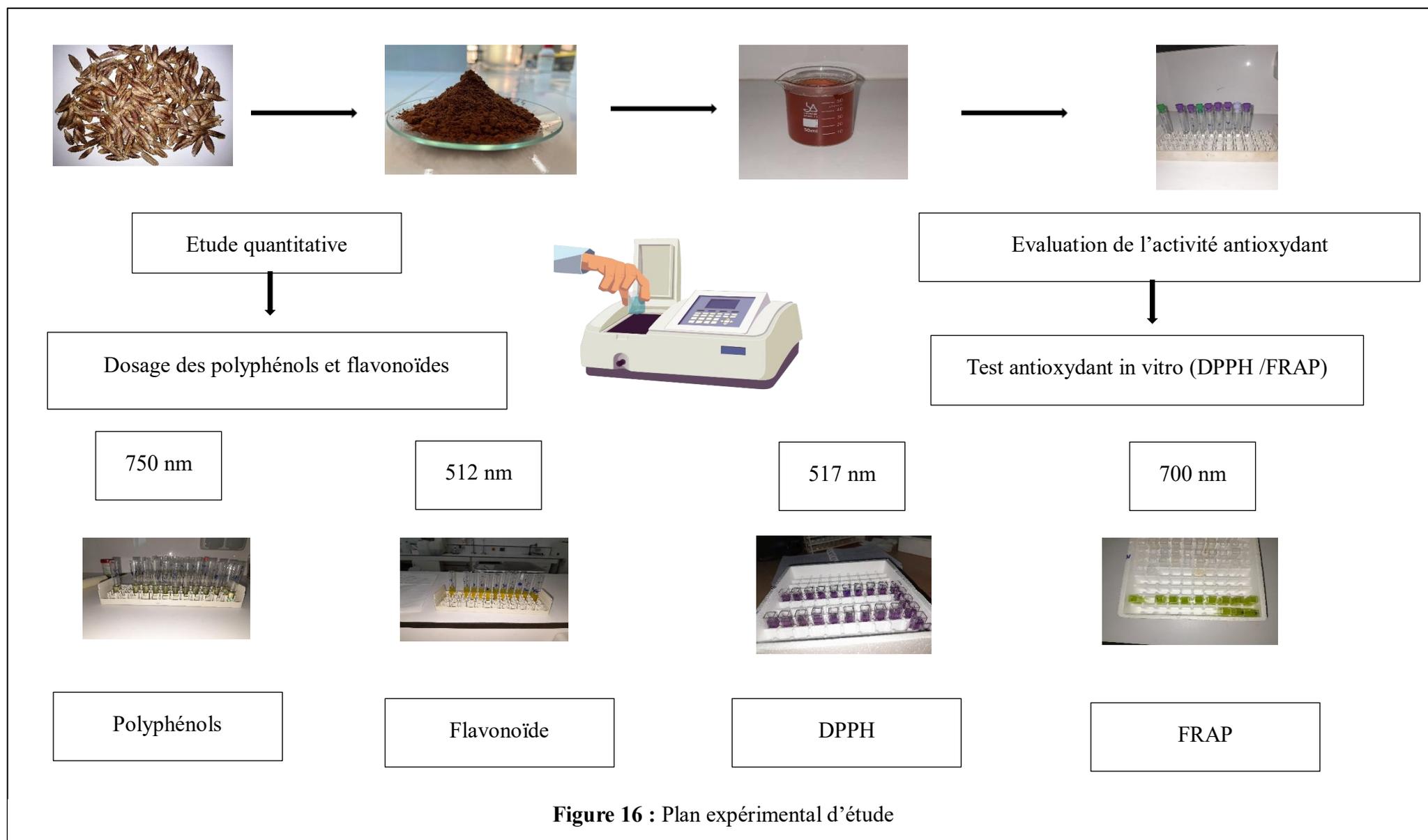


Figure 15 : Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe tripyridyls-triazine ferrique Fe (III)-TPTZ et un antioxydant (AH) (El Othmani et Hmid, 2013).



Résultats et Discussion

1. Composés phénoliques :

1.1. Dosage des polyphénols :

La teneur totale en polyphénols de PNT a été évaluée à l'aide de la méthode Folin Ciocalteu pour déterminer le nombre total de polyphénols présents dans l'extrait aqueux de PNT.

Une gamme d'étalonnage en g équivalent acide gallique mg (EAG) / g d'extrait a été réalisée. A partir de cette courbe, différentes concentrations en acide gallique sont utilisées pour calculer la quantité phénolique dans les extraits en fonction du graphique de dispersion entre la concentration d'acide et teneur totale en polyphénols PPT, il est estimé par l'équation de régression linéaire $y = 0,5454x - 0,5912$ avec un coefficient $R^2 = 0,9809$ (Figure 17 ; Tableau12)

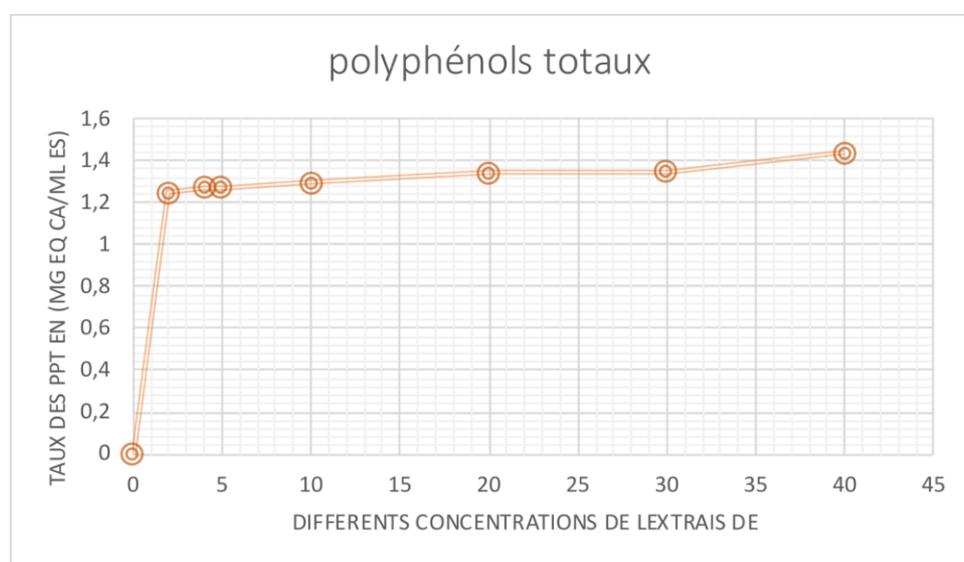


Figure 17 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique (dosage des phénols totaux).

Tableau 12 : Teneurs des polyphénols totaux de PNT :

| Echantillon dosé | Teneurs en phénols totaux (mg EAG /g d'extrait) |
|------------------|---|
| L'extrait de PNT | 1,318±0,0008 |

Nous avons quantifié les composés phénoliques dans notre échantillon de PNT Deglet Nour. La teneur en polyphénols est d'environ $1,318 \pm 0,0008$ mg EAG/g d'extrait. Cette valeur est nettement supérieure à celle trouvée dans les noyaux de dattes torrifiés tunisiens, soit $0,195 \pm 0,015$ mg EAG/g RS (Cheikh et al, 2021). D'autres études, menées par Al Juhaimi et al. (2012)

Résultat et discussion

sur des noyaux de dattes saoudiennes, ont révélé des valeurs de 0,198 et 0,465 mg EAG/g de noyau. En outre, **Ardekani et al. (2010)** ont trouvé des teneurs en polyphénols plus élevées ($459 \pm 44,06$ mg EAG/100g) dans les noyaux de dattes d'Iran. Cependant la valeur inférieure dans les noyaux de dattes torréfiés de la même variété Deglet Nour dans le sud de la Tunisie, qui était de $425,30 \pm 0,36$ mg EAG g^{-1} DW (**Jrad et al, 2022**).

Cette variation des teneurs en composés phénoliques peut être attribuée à plusieurs facteurs intrinsèques et extrinsèques : la lumière, les précipitations, la topographie, la saison et le type de sols (**Harris, 1977**). Le patrimoine génétique : la concentration des polyphénols est très variable d'une espèce à une autre et d'une variété à autre et diminue régulièrement durant la maturation ainsi que la période de récolte et le stockage par différentes voies du brunissement (**Macheix et al, 1990**), tels que le mode d'extraction et la méthode de quantification, le type de solvant, les conditions de croissance et de maturité de la plante, ainsi que le type de sol et les conditions de stockage (**Ksouri, 2008 ; Bouhlali, 2017**).

De plus, l'incorporation de composés phénoliques dans la structure des mélanoidines suivi de leur élimination ultérieure au cours de la procédure de purification peut également expliquer les faibles TPP dans la PND torréfiés (**Patrignani et al, 2021**).

1.2. Dosage des flavonoïdes :

La teneur en Flavonoïdes estimée à partir d'une gamme d'étalonnage effectuée à différentes concentrations (Equation standard de courbe : $y = 0,0026x + 0,0061$). Le dosage des flavonoïdes a été réalisé par la méthode au trichlorure d'aluminium décrite par **Bahorun et al. (1996)**. La quercétine considérée comme contrôle positif a permis de réaliser une courbe d'étalonnage, d'où on a calculé la teneur en flavonoïdes des extraits de PNT, exprimée en mg équivalent de la quercétine par gramme d'extrait (mg d'EQC/g d'extrait sec) (figure 18). La courbe d'étalonnage est établie avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9952$. Les résultats de dosage des flavonoïdes dans l'extrait aqueux de noyaux de dattes torréfiés Deglet-Nour sont présentés dans le tableau suivant (tableau 13) :

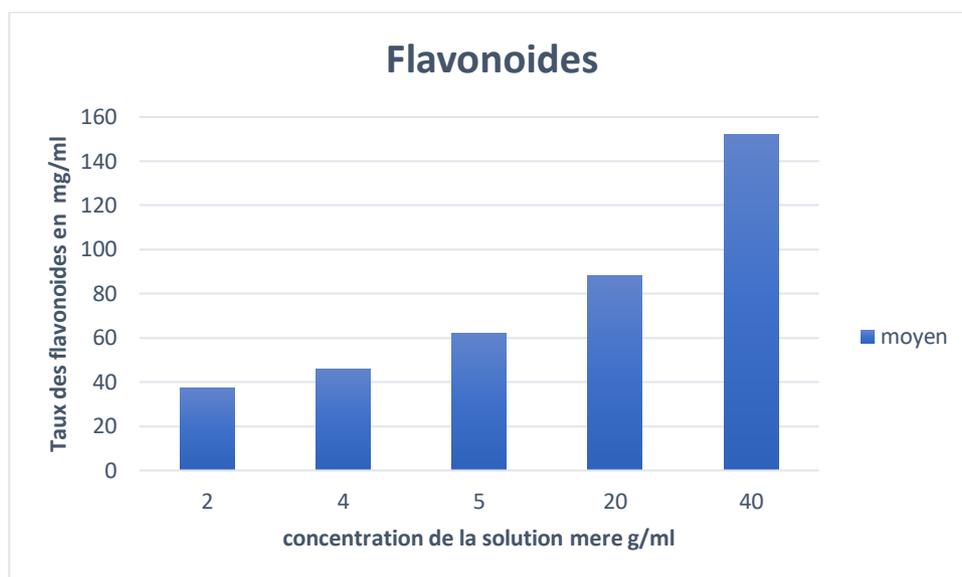


Figure 18 : Teneur de flavonoïdes d'extrait de PNT.

Tableau 13 : Teneur des flavonoïdes totaux de PNT :

| Echantillon dosé | Teneurs en flavonoïdes totaux (mg EQ /g d'extrait) |
|------------------|--|
| L'extrait de PNT | 77,14±11,7 |

Les résultats indiquent une différence significative dans la quantité de flavonoïdes présents dans l'extrait de notre étude par rapport à ceux des autres études. En effet, les flavonoïdes trouvés dans les noyaux de dattes de la variété Deglet Nour ont été mesurés à $77,14 \pm 11,7$ mg EAG/g. En comparaison, l'étude de **Chaoui Boudghane et al. (2022)**, a révélé une concentration de $189,34 \pm 0,15$ mg EQ/g d'ES dans la poudre de noyau de datte de la variété Deglet Nour cru.

Une autre étude a également signalé des valeurs de TFC inférieures pour l'extrait de noyaux de datte torréfiée $16,4 \pm 2,2$ mg/100 g par rapport à l'extrait brut $26,9 \pm 1,8$ mg/100 g (**Babiker, 2020**). Le processus de torréfaction peut entraîner une instabilité des composés phénoliques, favorisant leur déshydratation, leur isomérisation et leur dégradation. .

Cette différence dans les teneurs peut être attribuée à divers facteurs externes, tels que les conditions géographiques et climatiques, ainsi qu'à la période de récolte. De plus, les différences peuvent également résulter de facteurs génétiques, des paramètres expérimentaux (**Boudjouref, 2011 ; Hamia et al, 2014**), des maladies affectant la plante, de son stade de

Résultat et discussion

maturité, des techniques d'extraction employées, et de rapport solide/solvant ou à des divergences dans les cultivars de dattes (Park et Cha, 2003 ; Tirichine, 2010).

2. Activité antioxydante :

L'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait aqueux de Deglet Nour a été déterminée in vitro dans notre étude par les méthodes de DPPH, FRAP.

2.1. Test du piégeage du radical libre de DPPH :

Le radical DPPH est l'un des mécanismes connus qui est généralement utilisé comme substrat pour évaluer l'action antioxydante des substances bioactives telles que les composés phénoliques.

Le DPPH est un radical libre stable de couleur violette qui vire au jaune en présence de piègeurs de radicaux libres et se réduit en 2,2 Diphényl 1-picrylhydrazine (DPPH-H), avec un maximum d'absorbance à 517 nm.

Ce test utilise l'acide ascorbique commune un standard et les résultats obtenus (pourcentage d'inhibition I%) sont présentés dans la courbe d'étalonnage : $y = -0.0015x + 0.7434$ avec un coefficient : $R^2 = 0,6699$. Ce qui a permis de déterminer le pourcentage d'inhibition (IC50) du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations pour l'extrait de PNT Deglet-Nour (figure 19)

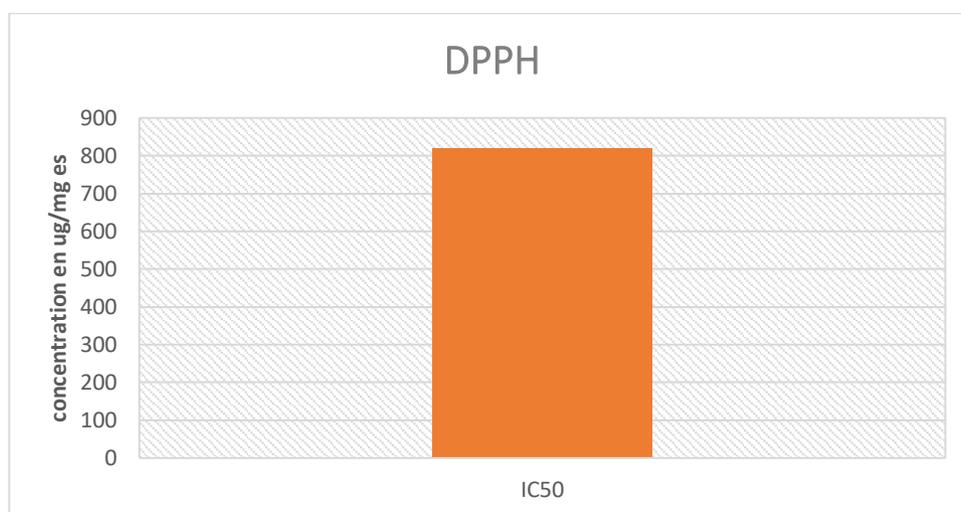


Figure 19 : Pouvoir du radical DPPH d'extrait PNT Deglet-nour.

Nous avons également évalué l'activité antiradicalaire contre le DPPH des noyaux de dattes torréfiés. Les résultats montrent que l'extrait aqueux des noyaux de dattes algériennes de la

Résultat et discussion

variété Deglet Nour est efficace pour neutraliser le radical DPPH, avec une concentration d'inhibition (CI) de 50 % équivalente à 0,820 mg/ml. Cette valeur est en effet significativement supérieure à celle obtenue pour l'extrait de PNT de la même variété dans le sud de la Tunisie, préparé dans cette étude, qui a démontré une activité significative de piégeage du DPPH avec un IC50 de 0,04 mg/ml (**Jrad et al, 2022**). De plus, notre échantillon semble présenter une activité similaire à l'étude de l'extrait de noyaux de dattes torréfiés tunisiens qui a démontré une efficacité à dégrader le radical DPPH, avec des valeurs de CI50 comprises entre $0,35 \pm 0,01$ mg/ml et $2,01 \pm 0,98$ mg/ml (**Thouri et al, 2017**). Cette divergence de l'activité de piégeage des radicaux libres DPPH pourrait être due à des facteurs intrinsèques et extrinsèques, plus particulièrement la méthode d'extraction et le type de solvant utilisé (**Cheikh et al, 2021**).

Les résultats de l'analyse de test quantitatif indiquent que la poudre de noyaux de dattes renferme des polyphénols flavonoïdes et présente une forte activité antioxydante, capable de neutraliser les radicaux libres et de prévenir le stress oxydatif. Cette variabilité peut être attribuée à la concentration de polyphénols et de flavonoïdes accumulés tout au long du cycle de croissance de la plante (**Burda et Oleszek, 2001**). Cette étude met en évidence la richesse des noyaux de dattes en éléments nutritifs énergétiques et en composés phénoliques.

2.2. Test du pouvoir réducteur du Fer FRAP :

Le principe de cette méthode est l'évaluation de la capacité de l'échantillon à donner un électron pour convertir Fe^{3+} en Fe^{2+} .

Le pouvoir réducteur est exprimé en concentration efficace à 50% (EC50) qui reflète la concentration d'antioxydants nécessaires pour obtenir 0,5 d'absorbance à 700 nm. L'absorbance élevée témoigne d'un pouvoir réducteur élevé de l'échantillon (**Barros et al, 2007**). L'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la quercétine $y = 0,0003x + 0,4771$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,7442$. Dans notre travail, nous avons testé les différents extraits de PNT. La valeur la plus faible de celles-ci indique le pouvoir réducteur le plus élevé (**Kusmardiyani et al, 2016**) (Figure 20).

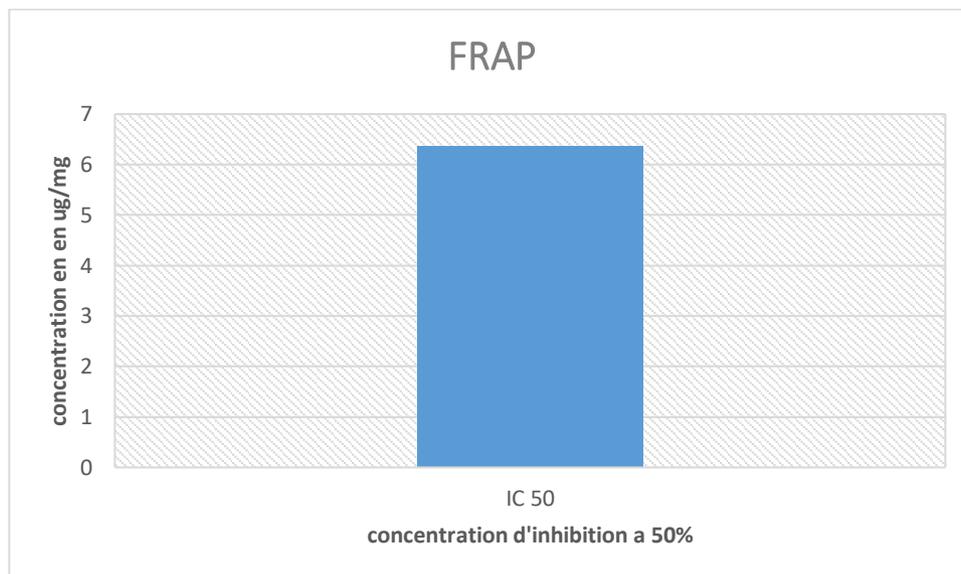


Figure 20 : Pouvoir réducteur d'extrait PNT Deglet-nour.

Les résultats de cette étude indiquent que la PNT de la variété Deglet Nour présente une activité réductrice FRAP de 6,36 mg/g. En comparaison, l'extrait de ND Deglet Nour cru affiche un pouvoir réducteur du fer nettement supérieur, variant autour de 306,852 mg équivalent d'acide ascorbique par gramme (**Baffi et al, 2020**). De même, l'extrait d'Ajwa évalué par **Shuib (2020)** montre une concentration efficace de 0,521 mg/g, ce qui concorde avec nos résultats, bien que légèrement inférieurs. La capacité réductrice des extraits de la plante est probablement due à la présence de groupements hydroxyle dans les composés phénoliques, agissant comme donneurs d'électrons. Ce processus d'autoxydation dépend de plusieurs paramètres tels que la concentration des ions métalliques et des polyphénols, pH, la température et la présence d'agents complexant (**Ghedadba et al, 2015**). Le changement de pH peut soit augmenter l'activité réductrice, se traduisant par une couleur rose clair, soit inhiber la réduction du fer, entraînant une couleur rouge foncé (**Arshad et al, 2015**). Ainsi, les antioxydants sont considérés comme des réducteurs et des inactivateurs des oxydants (**Bougandoura et Bendimerad, 2012**).

Conclusion

L'activité de production ou de consommation engendre inévitablement des déchets, souvent liés à la dégradation de notre environnement et à divers risques pour la santé humaine. Parmi ces activités, l'industrie de transformation des dattes génère des quantités considérables de déchets, notamment les noyaux de dattes.

La valorisation des sous-produits de l'industrie agroalimentaire joue un rôle crucial dans la réduction de la consommation des ressources en améliorant la gestion des déchets. Cela implique notamment une exploitation industrielle des sources naturelles d'antioxydants, ce qui nécessite plusieurs critères tels qu'une concentration élevée en molécules actives, une facilité d'extraction, l'absence de toxicité des composés présents dans les extraits, ainsi que l'autorisation légale d'utilisation en industries alimentaires à des fins de conservation.

Les noyaux de dattes torréfiés possèdent des propriétés biologiques très importantes qui trouvent de nombreuses applications dans divers domaines tels que la médecine, la cosmétologie, l'agroalimentaire, l'industrie et la pharmacie. Les antioxydants présents dans ces noyaux semblent jouer un rôle significatif dans la prévention de diverses maladies, notamment le vieillissement, en réduisant les risques de cancers et de maladies cardio-vasculaires. De plus, ces substances bioactives suscitent un intérêt croissant pour le développement de nouveaux médicaments à base d'antioxydants d'origine naturelle. Ainsi, ces sous-produits représentent une source inépuisable de composés bénéfiques pour la santé.

Cette étude apporte une contribution significative à la compréhension du profil phénolique et de l'activité antioxydante des noyaux de la variété de dattes Deglet Nour torréfiés. Les résultats obtenus démontrent que PNT contiennent des polyphénols, des flavonoïdes et présentent une activité antioxydante DPPH remarquable, ainsi qu'une quantité légère de pouvoir réducteur FRAP.

D'après les résultats obtenus de la présente étude, certaines perspectives s'imposent pour l'avenir :

- Approfondir la compréhension des activités anticancéreuses, anti-inflammatoires et antidiabétiques des différents extraits des noyaux de dattes nécessite de passer de l'étape in vitro, qui constitue simplement une première exploration, à des études in vivo plus approfondies.
- Développement de nouveaux produits fonctionnels nutraceutiques et pharmaceutiques à base de noyaux de datte torréfiés et envisager des expériences in situ en testant ces principes sur des cas pathologiques réels.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

A

Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., Ishtiaq, A., Hussain, S., & Suleria, H. A. R. (2017). Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*. 20(8) : 1689-1699.

Achat S. Polyphénols de l'alimentation : extraction, pouvoir antioxydant et interactions avec des ions métalliques [Internet]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00978529>.

Afanas'eva, I.B., Ostrakhovitch, E.A., Mikhal'chik, E.V., Ibragimova, G.A., Korkina, L.G. (2001). Enhancement of antioxidant and anti-inflammatory activities of bioflavonoid rutin by complexation with transition metals. *Biochemical Pharmacology*. 61(6): 677-684.

Ahmadifar, E., Yousefi, M., Karimi, M., Fadaei, R., Raieni, R., Dadar, M., Yilmaz, S., Dawood, M. A. O., Abdel, & Latif, H. M. R. (2021). Benefits of dietary polyphenols and polyphenol-rich additives to aquatic animal health: An overview. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 29(4): 478-511.

Al Harthi, S. S., Mavazhe, A., Al Mahroqi, H., & Khan, S. A. (2015). Quantification of phenolic compounds, evaluation of physicochemical properties and antioxidant activity of four date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties of Oman. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 10(3): 346–352.

Al Juhaimi, F., Ghafoor, K., Ozcan, M.M. (2012). Physical and chemical properties, antioxidant activity, total phenol and mineral profile of seeds of seven different date fruit « *Phoenix Dactylifera* L » varieties. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 63(1): 84- 89.

Alem, C., Ennassir, J., Benlyas, M., Mbark, A. N., & Zegzouti, Y. F. (2017). Phytochemical compositions and antioxidant capacity of three date (*Phoenix dactylifera* L.) seeds varieties grown in the South East Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(4):350–357.

Al-hooti, S., Sidhus, S. and Gabazard, H. (1998). Chemical composition of seeds of date fruit cultivars of United Arab Emirates. *Food Chem. Technol.* 35: 44-46.

Al-Khalifah, N. S., & Askari, E. (2003). Molecular phylogeny of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Saudi Arabia by DNA fingerprinting. *Theoretical and Applied Genetics*: 1266-1270.

Al-Shwyeh, Hussah A. (2019). « Date Palm (*Phoenix Dactylifera* L.) Fruit as Potential Antioxidant and Antimicrobial Agents ». *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 11 (1): 1. https://doi.org/10.4103/JPBS.JPBS_168_18.

Al-Turki S.M. (2008). Antioxidant proprieties of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars
Département of Horticulture and landscape architecture I.S.O.9 07 La forme de la norme française, pour l'humidité

Ana Belščak-Cvitanović, Ksenija Durgo, Ana Huđek, Višnja Bačun-Družina, Draženka Komes
University of Zagreb, Zagreb, Croatia; Polyphenols : Properties, Recovery, and Applications : 3-44.

Ardekani, M.R.S., Khanavi, M., Hajimahmoodi, M., Jahangiri, M., Hadjiakhoondi, A. (2010). Comparaison of antioxidant activity and total phenol contents of date seed varieties from Iram. *Iran. J. Pharm. Res.* 9(2): 141-146.

Arshad, F. K., Haroon, R., Jelani, S., & Masood, H. B. (2015). A relative in vitro evaluation of antioxidant potential profile of extracts from pits of *Phoenix dactylifera* L. (Ajwa and Zahedi dates). *International Journal of Advanced Information Science and Technology.* 35(35): 28-37.

B

Babiker, Elfadil E., Gülsüm Atasoy, Mehmet Musa Özcan, Fahad Al Juhaimi, Kashif Ghafoor, Isam A. Mohamed Ahmed, et Ibrahim A. Almusallam. 2020. « Bioactive Compounds, Minerals, Fatty Acids, Color, and Sensory Profile of Roasted Date (*Phoenix Dactylifera* L.) Seed ». *Journal of Food Processing and Preservation* 44 (7): 14495.

Baffi, S., et al. (2020). Étude comparative de l'activité antioxydante et antimicrobienne des extraits de noyaux de dattes de trois variétés de dattes algériennes (Deglet Nour, Ghars et Mech Degla). *Revue des Sciences Pharmaceutiques.* 17(1) : 1-10.

Bahorun, T. G. (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arz.*

-
- Bai Y., Song F., Chen M., Xing J., Liu Z., Liu S. (2004). Characterization of the rutin- metal complex by electrospray ionisation tandem mass spectrometry. *Analytical Sciences*. 20: 1147–1151.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samal, A. (2006). Phenolic compounds in plants and human health. *Journal of Nutrition and Biochemistry*. 17(9): 621-633.
- Beal, J. M. (1937). Cytological studies in the genus Phoenix. *Botanical Gazette*: 400407
- Ben Abbes, F. (2011). Etude de quelques propriétés chimiques et biologiques d'extraits de dattes «Phoenix dactylifera L. ». setif: université Ferhat Abbas.
- Bertram, C., Hass, R. (2008) Cellular responses to reactive oxygen species induced DNA damage and aging. *Biol Chem*. 389(3):211–220.
- Besbes, S., & al. (2005). Heating effects on some quality characteristics of date seed oil. *Food chemistry*. 91: 469-476.
- Bettaieb, Imen, Mohamed Ali Benabderrahim, Rocío Rodríguez Arcos, Ana Jose Jiménez Araujo, et Walid Elfalleh. 2023. « Date Seeds (Phoenix Dactylifera): Antioxidant Potential and Profile of Free and Bound Polyphenols from Different Cultivars ». *Chemistry & Biodiversity* 20 (6): e202300179.
- Blois, M.S. (1958). Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*. 181 : 1199-1200
- Bohui, G., Augustin, A., Florence, B. (2018). Etude comparative de trois méthodes d'extraction des flavonoïdes totaux à partir des feuilles de plantes médicinales : Azadirachta indica et Psidium guajava. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim*. 046 : 50 – 58.
- Boizot, N., Charpentier, J.P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier, INRA - Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, Laboratoire d'Analyses Biochimiques. *Le Cahier des Techniques de l'Inra* : 79-82.
- Bolwell, G. P., Davies, C., & Chandler, P. M. (1992). Isoflavonoids. *The Biochemistry of Plants*. 17: 243-302.

Booij, I., Piombo, G., Risterucci, J.M., Coupe, M., Thomas, D., Ferry, M. (1992). Etude de la composition chimique de dattes à différents stades de maturité pour la caractérisation variétale de divers cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Fruits*. 47(6): 667-678.

Boudet, G. (1987). The synthesis of aromatic polypropanoids in higher plants. *New Phytologist*. 107(4): 433-452.

Boudjouref M. (2011). Etude de l'activité antioxydant et antimicrobienne d'extrait d'*Artemisia campestris* L. Thèse de Magister en Biochimie. Université Ferhat Abbas Sétif. Algérie. P 99.

Bougandoura N., & Bendimerad N. (2012). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technologie*. (9) : 14 – 19.

Bouhlali, EdT., Hmidani, A., Bourkhis, B., Khouya, T., Ramchoun, M., Filali-Zegzouti, Y., et al. (2020). Phenolic profile and anti-inflammatory activity of four Moroccan date (*Phoenix dactylifera* L.) seed varieties. *Heliyon* 6 (2): e03436.

Bouhlali, E.D.T., Alem, C., Ennassir, J., Benlyas, M., Mbark, A.N, Zegzouti, F.Y. Phytochemical compositions and antioxidant capacity of three date “*Phoenix Dactylifera* L” seeds varieties grown in the Southeast Morocco. *J. Saudi. Soc. Agric. Sci.*, 16, 350-357 (2017).

Bravo, L. (2009). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and health benefits. *Journal of Nutrition*. 139(9): 2030S-2035S.

Burda S., & Oleszek W. (2001). Antioxidant and antiradical activities of flavonoids. *Journal of Food chemistry*, 49(6): 2774-2779.

Butterfield, D.A., Castegna, A., Pocernich, C.B., Drake, J., Scapagninib, G., Calabrese, V. (2002). Nutritional approaches to combat oxidative stress in Alzheimer’s disease. *J Nutr Biochem*. 13: 444–461.

C

Carović-Stanko, K., Petek, M., Grdiša, M., Pintar, J., Bedeković, D., Čustić, M.H.K., Satovic, Z. (2016). Medicinal plants of the family Lamiaceae as functional foods – a review. *Czech J. Food Sci*. 34(5): 377–339.

Casarin, E., Dall'acqua, S., Smejkal, K., Šlapetova, T., Innocenti, G. et Carrara, M. (2014). Molecular mechanisms of antiproliferative effects induced by Schisandra-derived dibenzocyclooctadiene lignans deoxyschisandrin and gomisin N in human tumour cell lines. *Fitoterapia*. : 241–247.

Chaira N. (2016). Nouvelles approches technologiques de valorisation des dattes tunisiennes à faible valeur marchande. Formulaire De Proposition D'une Action De Recherche (AR). 1-15.

Chaouche, T (2014) : Etude des activités antioxydantes et antimicrobiennes des extraits de quelques plantes médicinales. Analyse par HPLC-SM les extraits les plus actifs, thèse de doctorat : biochimie. Abou Bakr Belkaid University of Tlemcen DOI:10.13140/RG.2.2.13202.25281.

Chaoui Boudghane, Lamia, Nadia Bouabdellah, Samira Bouanane, Fatima Zohra Baba Ahmed, Mohamed Amine Laroussi, Youcef Bendiaf, Fatima Nas, et Hafida Merzouk. 2022. « Phytochemical, Antioxidant, and Antimicrobial Attributes of Different Extracts of Seeds: The Algerian Variety of Dates 'Deglet Nour' (Phoenix Dactylifera L.) ». *Vegetos* 36 (2): 559-65.

Cheikh Meriem, Ben Jemaa, Meriem, Benmansour, Rim, Ksouri, Riadh, Serairi Beji (2021). Noyaux de dattes Phoenix dactylifera L. : Composition chimique, activité antioxydante et incorporation dans un yaourt. *Revue FSB XIX 2021* ; researchgate

Cheyrier, V. (2005). Polyphenols in foods are more complex than often thought. *American Journal of Clinical Nutrition*. 81: 223S–229S.

Chung, H.-S., Kim, D.-H., Youn, K.-S., Lee, J.-B., Moon, K.-D. (2013). Optimization of roasting conditions according to antioxidant activity and sensory quality of coffee brews. *Food Sci. Biotechnol*. 22: 23–29.

Claudine Manach, Augustin Scalbert, Christine Morand, Christian Rémésy et Liliana Jiménez Suis J (2004). Polyphénols : sources alimentaires et biodisponibilité. *Clin Nutr*. 79 : 727–47.

D

Dangles, O. (2006). The physico-chemical properties of polyphenols. How do they relate to their roles in plants, foods and human health. *AgroFOOD Industry Hi-tech*. 17: 64–67.

De Souza R.f., W.F., De Giovani. (2004). Antioxidant Properties of Complexes of Flavonoids with metal ions. *Redox Report*. 9(2): 97-104.

Djerbi, M. (1994). Précis de phoeniciculture. Ed. FAO, Rome : 23-191

Djouab A. (2007). Préparation et incorporation dans la margarine d'un extrait de dattes des variétés sèches. Mémoire de magistère, Université M' Hamed Bougara

Djurdjevic L, Mitrovic M, Pavlovic P (2007). Methodology of allelopathy research: 2. Forest ecosystems. Allelopath J 20:1–24

Dubost D. (1992). Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse de Doc., UFR, Centre d' ; Etudes et de Recherche sur I' ; Urbanisation du Monde Arabe, URBAMA : 545

E

El Othmani et Hmid (2013). Etude de la composition chimique des dattes à différents stades de maturité pour la caractérisation variétale de divers cultivars de palmiers dattiers (*Phoenix dactylifera* L.). Fruits. 47 : 667-677

F

F. Al Juhaimi, M.M. Özcan, O.Q. Adiamo, O.N. Alsawmahi, K.Ghafoor, E.E. Babiker, J. Food. Process. Preserv. (2018). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13584>

Farhoosh R., Johny S., Asnaashari M., Molaahmadiba-Hraseman N., et Sharif A. (2016). Structure–antioxidant activity relationships of o-hydroxyl, o-methoxy, and alkyl ester derivatives of p-hydroxybenzoic acid. Food Chemistry. 194: 128-134.

Fikry, M., Yusof, Y.A., Al-Awaadh, A.M., Rahman, R.A., Chin, T.N.L., Chang, L.S. (2019). Cinétique de transfert d'humidité pendant la torréfaction des graines de palmier dattier (*Phénix dactylifera* L.). *Pertanika J. Sci. Technologie*, dans la presse.

Fikry, Mohammad, Yus Yusof, Alhussein Al-Awaadh, Russly Rahman, Nyuk Chin, Esraa Mousa, et Lee Chang. 2019. « Effect of the Roasting Conditions on the Physicochemical, Quality and Sensory Attributes of Coffee-Like Powder and Brew from Defatted Palm Date Seeds ». *Foods* 8 (2): 61. <https://doi.org/10.3390/foods8020061>.

G

Garcia-Lafuente, A., Guillamo'n, E., Villares, A., Rostagno, M. A., & Martinez, J. A. (2009). Flavonoids as anti-inflammatory agents: Implications in cancer and cardiovascular disease.

Inflammation Research: Official Journal of the European Histamine Research Society. 58 (9), 537: 552.

Ghafoor K, Ahmed IAM, Doğu S, Uslu N, Fadimu GJ, Al Juhaimi F, Babiker EE, Özcan MM (2019) The effect of heating temperature on total phenolic content, antioxidant activity, and phenolic compounds of plum and mahaleb fruits. *Int J Food Eng* 15:11–12

Ghedadba N., Hambaba L., Ayachi A., Aberkane M. C., Bouselsala H., Oueld-Mokhtar S.M., (2015). Polyphénols totaux, activités antioxydante et antibactérienne des feuilles de Marrubium desrti de Noé. *Phytothérapie* 13 :118-129.

Gualtieri, M., & Rapaccini, S. (1990). Date stones in broiler's feeding. *Tropicultura*. 8(4) : 165-168.

H

Hadacek F (2002) Secondary metabolites as plant traits : current assessment and future perspectives. *Crit Rev Plant Sci* 21:273–322

Hamia C., Guergab A., Rennane N.Elh., Birache M., Hadda M., Saidi M., & Yousfi M. (2014). Influence des solvants sur le contenu en composés phénoliques et l'activité antioxydante des extraits du *Rhanterium adpresium*. *Annales des Sciences et Technologie*. 6(1): 33-39.

Hanachi S., Khitri D., Benkhalifa A. & Brac de Perriere R.A. (1998). Inventaire variétal de la Palmeraie Algérienne : 225 p.

Hannai, Messaouda et Hammadi, Akila (2020). Contribution à l'étude comparative des caractéristiques morpho-physiologiques de quatre variétés de dattes dans la région d'oued-souf et oued righ.

Harborne, J. B. (1998). The flavonoids: Advances in research since 1986. *Perspectives on Plant Science*. 2(2): 409-425.

Hardman W.E. (2014). Diet components can suppress inflammation and reduce cancer risk. *Nutrition Research and Practice*. 8(3): 233.

Harkat, Hamza, Ratiba Bousba, Cinzia Benincasa, Kamel Atrouz, Mine Gültekin-Özgülven, Ümit Altuntaş, Evren Demircan, Hamdy A. Zahran, et Beraat Özçelik. (2022). « Assessment of

Biochemical Composition and Antioxidant Properties of Algerian Date Palm (*Phoenix Dactylifera* L.) Seed Oil ». *Plants* 11 (3): 381. <https://doi.org/10.3390/plants11030381>.

Harris R S., And Karmas E. (1977). Nutritional evaluation of food processing. The Avi Publishing company Inc. New York. 612p.

Hosseini R., Moosavi F., Rajaian F.H., Silva T., Magalhães D., Saso L., Miri R., Borges F., et Firuzi O. (2016). Discovery of neurotrophic agents based on hydroxycinnamic acid scaffold. *Medicinal and natural products chemistry research center*: 1-39.

Hostettmann K, Marston A, Hostettmann M (1997) Preparative chromatography techniques: application in natural product isolation. Springer, Berlin Inderjit (1996). Plant phenolics in allelopathy. *Bot Rev* 62 :186–202.

Huebbe, P., Giller, K., De Pascual-Teresa, S., Arkenau, A., Adolphi, B., Portius, S., et al. (2012). Effects of black currant-based juice on atherosclerosis-related biomarkers in cultured macrophages and in human subjects after consumption of a high-energy meal. *The British Journal of Nutrition*. 108(2): 234-244.

J

Jovanovic S.V., Steenken S., Hara Y., Simic M.G. (1996). Reduction potentials of flavonoids and model phenoxy radicals. Which ring in flavonoids is responsible for anti-oxidant activity? *Journal of the Chemical Society. Perkin Transactions*, 2: 2497-2504.

Jrad, Zeineb, Olfa Oussaief, Halima El-Hatmi, et Mohamed Ali Bouaziz (2022). « Fortification of Goat Yogurt with Roasted Date Seeds (*Phoenix Dactylifera* L.) Powder: Impact on Nutritional, Technological, Phenolic Profile, Antioxidant and Sensory Properties ». *Journal of Food Measurement and Characterization* 16 (6): 4675-86.

K

Khali M., Boussena Z., Et Boutekrabt L. (2015). Effet de l'incorporation de noyaux de dattes sur les caractéristiques technologiques et fonctionnelles de la farine de blé tendre. *Nature & Technologie. B- Sciences Agronomiques et Biologiques*.12: 16 à 26.

Korkina L.G., Afanas'ev I.B. (1997). Antioxidant and chelating properties of flavonoids. *Adv. Pharmacol.* 38: 151–163.

Korkina, L. G., & Afanas'ev, I. B. (1997). *Flavonoids: Chemistry, biochemistry, and applications*. Nauka, Moscow.

Kozłowska, A., & Szostak-Wegierek, D. (2014). Flavonoids food sources and health benefits. *Roczniki Panstwowego Zakładu Higieny*, 65(2): 79-85.

Ksouri, R., Megdiche, W., Falleh, H., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Smaoui, A., Abdelly, C. (2008). Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. *C. R. Biol.*, 331: 865-873.

Kusmardiyani S, N. G. (2016). Antioxidant activities from various extracts of different parts of Kelakai (*Stenochlaenapalustris*) grown in central Kalimantan – Indonesia. *Asian J Pharm Clin Res*. 2(9): 215-219.

L

Lattanzio, V., Kroon, P.A., Quideau, S., Treutter, D. (2008). Plant Phenolics – Secondary Metabolites with Diverse Functions. In: Daayf, F., Lattanzio, V. (Eds.), *Recent Advances in Polyphenols Research*, vol. 1. Wiley-Blackwell, Oxford : 1–35.

Lebham. (2005). *Mémoire du Laboratoire d'Ecophysiologie et de Biotechnologie des Halophytes et des Algues au sein de l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM) - Université de Bretagne Occidentale (UBO)*.

Lemos MRB, Siqueira EMdA, Arruda SF, Zambiasi RC (2012). The effect of roasting on the phenolic compounds and antioxidant potential of baru nuts [*Dipteryx alata* Vog.]. *Food Res Int* 48 (2): 592–597. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.027>

Leslie CA, Romani RJ (1998) Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. *Plant Physiol* 88: 833–837

Liguori, I., Russo G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D. et al. (2018) Oxidative stress, aging, and diseases. *Clin Interv Aging*. 13: 757–772.

Liu, W., Guo, R. (2005). Interaction between morin and sodium dodecyl sulfate (SDS) micelles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 2890–2896.

Liu, Yong, Shoulian Wei, Min Wu, et Shuqiu Yang. (2018). « Phenolic Compounds from Date Pits: Ultrasonic-Assisted Extraction, Antioxidant Activity and Component Identification ». *Journal of Food Measurement and Characterization* 12 (2): 967-73.

Luo, J., Si, H., Jia, Z., & Liu, D. (2021). Dietary anti-aging polyphenols and potential mechanisms. *Antioxidants*, 10(2) : 283.

M

Maatallah S. (1970). Contribution à la valorisation de la datte algérienne. Thèse d'ingénieur INA El Harrach : 72p.

Mabry, T.J., Markham, K.R., Thomas, M.B. (1970). *The Systematic Identification of Flavonoids*. Springer-Verlag, New York.

Macheix J. J., Fleuriet A. and Billot J., (1990). *Fruit phenolics*. Boca Raton. CRC Press.378p.

Makris, D.P., Boskou, D. (2014). Plant-derived antioxidants as food additives. In: Dubey, N.K.(Ed.), *Plants as a Source of Natural Antioxidants*, vol. 1. CABI, Oxfordshire, UK:169–190.

Makris, D.P., Rossiter, J.T. (2000). Heat-induced, metal-catalyzed oxidative degradation of quercetin and rutin (quercetin 3-O-rhamnosylglucoside) in aqueous model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(9): 3830-383.

Mallhi, T. H., Qadir, M. I., Ali, M., Ahmad, B., Khan, Y. H., Rehman, A. U. (2014). Ajwa Date (*Phoenixdactylifera*): An Emerging Plant in Pharmacological Research. Pakistan. *journal of pharmaceutical sciences*. 17(3): 607-616.

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., Jimenez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*. 79: 727–747.

Marinova, D., Ribarova, F., Atanassova M. (2005). Total phenolics in bulgarian Fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. 40: 255.

Mazid, M., Khan, T.A., Mohammad, F. (2011) Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. *Biol Med*. 3: 232–249.

Moudache, M., Zaidi, F., Nerin, C., et Colon, M. (2017). Antioxidant effect of an innovative active plastic film containing olive leaves extract on fresh pork meat and its evaluation by Raman spectroscopy. *Food Chemistry*. 229: 98-103.

Mrduljas, N., Kresic, G., & Bilusic, T. (2017). Functional Food: Improve Health through Adequate Food. Books on demand. In M. Chávarri Hueda (Ed.): 23-41.

Mu'ayed, F.A., Madjid, A.I. (1996). The role of ethylene in the regulation of fruit ripening in the Hillawi date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *J. Sci. Food Agric*. 72: 306-308

Munier P. (1973). *Le palmier dattier*. Ed. Maisonneuve, Paris : 221 p.

N

Nareeman Adheem Shnaa Al Ghezi, Aum El-Basher H. J. Al-Mossawi, Ali Khudhair Jaber Al Rikabi ; Antioxidants Activity of Date Seed Extraction of Some Date Varieties ; Department of Food Technology, College of Agriculture, University of Basrah , Basrah, Iraq ; researchgate 10.37506/v20/i1/2020/mlu/194714

Ni H.W. (2000). Present status and prospect of crop allelopathy in China. In: Kim KU, Shin DH (eds) *Rice allelopathy*. Kyunpook National University, Kyungpook: 41–48

Nicoli, M.; Anese, M., Manzocco, L., Lericci, C. (1997). Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. *LWT–FoodSci.Technol*. 30: 292–297.

Nijveldt, R.J., Van Nood, E., Van Hoorn, D.E.C., Boelens, P.G., van Norren, K., van Leeuwen, P.A.M. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *American Journal of Clinical Nutrition*. 74: 418–425.

Nixon, R W., Carpenter B. (1978). *Growing dates in united states*. United States department of agriculture, information bulletin prepared by science and education administration: 44-45.

O

Oak, M. H., Auger, C., Belcastro, E., Park, S. H., Lee, H. H., & Schini-Kerth, V. B. (2018). Potential mechanisms underlying cardiovascular protection by polyphenols: Role of the endothelium. *Free Radical Biology & Medicine*. 122: 161-170.

Omar, S. H. (2010). Cardioprotective and neuroprotective roles of oleuropein in olive. *Saudi Pharmaceutical Journal*. 18(3): 111-121.

Onyebuchi C, Kavaz D (2020) Effect of extraction temperature and solvent type on the bioactive potential of *Ocimum gratissimum* L. extracts. *Sci Rep* 10(1):1–11

P

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.

Park H. J., & Cha H. C., (2003). Flavonoids from leaves and exocarps of the grape Kyoho. *Korean journal of biological society*. 7: 327-330.

Patrignani M, González-Forte LdS (2021). Characterisation of melanoidins derived from brewers' spent grain: new insights into their structure and antioxidant activity. *Int J Food Sci Technol* 56(1):384–391. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14653>

Putnam AR, Tang CS (1986). *The science of allelopathy*. Wiley, New York: 1–19.

Q

Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., Pouységu, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie (International Edition)*. 50: 586-621.

R

Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International*. 136: 109298.

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G.G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*. 20: 933–956.

Rival, A. (2010). Palmier à huile, palmier dattier : Deux cultures stratégiques. 315. *Ecologie*.

S

Sabah, A. A., Jassim, A., Naji, M. (2010). In vitro Evaluation of the Antiviral Activity of an Extract of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Pits on a *Pseudomonas* Phage. *Evid Based Complement Alternat Med*. 7(1): 57-62.

Salomón-Torres, Ricardo, Jesús Arturo Sol-Uribe, Benjamín Valdez-Salas, Conrado García-González, Robert Krueger, Daniel Hernández-Balbuena, Susana Norzagaray-Plasencia, Juan

Pablo García-Vázquez, et Noé Ortiz-Urbe. 2020. « Effect of Four Pollinating Sources on Nutritional Properties of Medjool Date (*Phoenix Dactylifera* L.) Seeds ». *Agriculture* 10 (2): 45. <https://doi.org/10.3390/agriculture10020045>.

Scalbert, A., & Williamson, G. (2000). Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *The Journal of Nutrition*. 130(8): 2073S-2085S.

Sedra, M.Y, H., Lashermes, P., Trouslot, P., Combes, M. C. & Hamon, S. (2003). Identification and genetic diversity analysis of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties from Morocco using RAPD marker. *Euphytica*. (103): 75-82.

Sharma, R. (2013). Polyphenols in health and disease: Practice and mechanisms of benefits. *Polyphenols in Human Health and Disease*. 1: 757-778.

Shuib, O. A. (2020). Evaluation of the Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Date Seed Extracts from Different Cultivars. *Journal of Food Quality and Technology*. 9(2): 111-116.

Singleton, V.L., Orthofer, R., et Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*: 152–178.

Souda, Belaid, Rahmani Rami, Bouajila Jalloul, et Debouba Mohamed. 2022. « Roasted Date Palm Seeds (*Phoenix Dactylifera*) as an Alternative Coffee: Chemical Composition and Bioactive Properties ». *Biomass Conversion and Biorefinery* 12 (9): 3771-81.

Srini Srinivasan, V. (2005). Bioavailability of ingredients in dietary supplements: A practical approach to the in vitro demonstration of the availability of ingredients in dietary supplements. *Pharmaceutical dissolution testing*: 407-419.

Stankovic MS (2011) Total phenolic content, flavonoid concentration and antioxidant activity of *Marrubium peregrinum* L. extracts. *Kragujevac J Sci*. 33: 63–72

T

Teixeira, J., Gaspar, A., Garrido, E., Garrido, J. et Borges, F. (2013). Hydroxycinnamic acid antioxidants: An electrochemical overview. *Bio Med research international*: 1-11.

Thouri, A., Chahdoura, H., El Arem, A., Omri Hichri, A., Ben Hassin, R., Achour, L. Effects of solvents extraction on phytochemical components and biological activities of Tunisian date seeds (var. Korkobbi and Arehti). *BMC Complement. Altern. Med.*, 17, 248 (2017).

Tirichine H. S., (2010). Etude ethnobotanique, activité antioxydante et analyse phytochimique de quelques cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) du Sud Est algérien. Thèse de Magister en Biologie. Université d'Oranes-Es Senia. Oran. Algérie. 88 p.

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

V

Visioli, F., Caruso, D., Patuzzi, F., Francolini, M., & Galli, C. (2000). Olive oil phenolics are dose dependently absorbed in humans. *European Journal of Clinical Nutrition*. 54(11): 785-791.

Vogt, T., Topfer, R., & Marwedel, E. (2000). Haecoumestins: Occurrence, structure and biological activity. *Phytochemistry*. 54(2): 209-227.

W

Williams, G. H., & Harborne, J. B. (1964). *The flavonoids*. Cambridge University Press.

Y

Yahiaoui K. , Bouchenak O. , Arab K. , Benchabane A. Evaluation du brunissement de la datte Deglet-Nour au cours de la maturation- *Revue Agriculture*. 11(1) : 10 – 19, (2020) – Université Ferhat Abbas Sétif 1.

Z

Zatta, P., Zambenedetti, P., & Diouf, M. (2004). Bioavailability of phenolic compounds from grape: A review. *Journal of Food Science*. 69(12): 3076-3082.

Zeng RS, Luo SM, Shi YH (2001) Physiological and biochemical mechanism of allelopathy of secalonic acid on higher plants. *Agron J*. 93 :72–79.

Zhou, L., Fu X., Luo, Y., Du, F., Wang, H., Xing, S. et al. (2017). 2-SeCD treatment extends lifespan, improves health span and enhances resistance to stress in *Caenorhabditis elegans*. *RSC Adv.* 7(76) : 48245–48252.

Résumé :

Les noyaux de dattes torréfiés sont considérés comme une excellente source d'antioxydants, pouvant contribuer au traitement de nombreuses maladies. L'objectif de l'étude est d'examiner les activités antioxydantes et de déterminer le profil phénolique des extraits de noyaux de dattes torréfiés de Deglet-Nour. Des variations significatives ont été observées dans la teneur totale en phénols, qui s'est élevée à $1,318 \pm 0,0008$ mg EAG/g d'extrait sec, ainsi que dans la quantité totale de flavonoïdes, mesurée à $77,14 \pm 11,7$ mg EQ/g d'extrait. L'activité de piégeage du radical libre DPPH, ainsi que la capacité de réduction du fer FRAP, ont également été évalués, avec des résultats remarquables, respectivement de 0,82 mg/ml et de 6,36 mg/g. Ces résultats mettent en évidence le potentiel des noyaux de dattes torréfiés en tant qu'alternative alimentaire et ressource naturelle, grâce à la présence de plusieurs composés importants aux propriétés phénoliques et à une capacité antioxydante élevée. En conclusion, les analyses effectuées soutiennent l'idée que la consommation de poudre de noyaux de dattes torréfiés est recommandée et encouragée en raison de ses nombreux bienfaits pour la santé.

Mots clés : Noyaux de dattes torréfiés – polyphénols – activité antioxydante – DPPH – FRAP – flavonoïdes.

ملخص:

تعتبر نوى التمر المحمص مصدراً ممتازاً لمضادات الأكسدة التي قد تساهم في علاج العديد من الأمراض. كان الهدف من هذه الدراسة هو فحص الأنشطة المضادة للأكسدة وتحديد المظهر الفينولي لمستخلصات نوى التمر المحمص من دقلة نور. وقد لوحظت اختلافات كبيرة في إجمالي محتوى الفينول الذي بلغ 1.318 ± 0.0008 ملغم غرام EQ/غرام مستخلص جاف، وكذلك في إجمالي كمية الفلافونويدات التي تم قياسها عند 77.14 ± 11.7 ملغم EAG/مستخلص. كما تم تقييم نشاط الكسح الجذري الحر DPPH وقدرة اختزال الحديد FRAP، مع نتائج ملحوظة بلغت 0.82 ملغم/مل و 6.36 ملغم/غم على التوالي. تسلط هذه النتائج الضوء على إمكانات نوى التمر المحمص كبديل غذائي ومورد طبيعي، وذلك بفضل وجود العديد من المركبات الهامة ذات الخصائص الفينولية والقدرة العالية المضادة للأكسدة. في الختام، تدعم التحاليل التي أجريت فكرة أن استهلاك مسحوق نوى التمر المحمص يوصى به ويشجع عليه بسبب فوائده الصحية العديدة.

الكلمات المفتاحية: نوى التمر المحمص -البوليفينول -النشاط المضاد للأكسدة -الفلافونويدات-نشاط الكسح الجذري الحر DPPH- وقدرة اختزال الحديد FRAP

Abstract:

Roasted date pits are considered an excellent source of antioxidants, which can contribute to the treatment of many diseases. The aim of the study was to examine the antioxidant activities and determine the phenolic profile of Deglet-Nour roasted date pit extracts. Significant variations were observed in the total phenol content, which amounted to 1.318 ± 0.0008 mg EAG/g dry extract, as well as in the total amount of flavonoids, measured at 77.14 ± 11.7 mg EQ/g extract. DPPH free radical scavenging activity and FRAP iron reduction capacity were also assessed, with remarkable results of 0.82 mg/ml and 6.36 mg/g respectively. These results highlight the potential of roasted date pits as a food alternative and natural resource, thanks to the presence of several important compounds with phenolic properties and high antioxidant capacity. In conclusion, the analyses carried out support the idea that the consumption of roasted date stone powder is recommended and encouraged due to its many health benefits.

Key words: Roasted date pits - polyphenols - antioxidant activity - DPPH -FRAP - flavonoids.

Annexe

Tableau A1 : Résultats du screening phytochimique de la PNT :

| Le composé chimique | Résultats L'extrait de PND | L'observation |
|---------------------|----------------------------|--|
| Alcaloïdes | Faiblement Positif (+) |  |
| saponines | Fortement Positif (+++) | |
| polyphénols | Faiblement Positif (+) | |
| flavonoïdes | Faiblement Positif (+) | |
| quinones | Négatif (-) | |
| Tannins | Faiblement Positif (+) | |
| protéine | Négatif (-) | |