



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي
Université Echahid Hamma Lakhdar - El OUED
كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de Vie
قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية
Département de Biologie cellulaire et moléculaire

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en

Sciences Biologiques

Spécialité: **Biochimie appliquée**

THEME

Evaluation comparative des activités biologiques des noyaux de deux variétés différentes de dattes.

Présentés Par:

KERTIOU Hadjera & BERREHOUMA Hadjra

Devant le jury composé de:

Président:	Mr. GANIA Ahmed	Université d'El Oued.
Examineur:	Ms. BENINE Chaima	Université d'El Oued.
Encadreur:	Dr. ALIA Fatma	Université d'El Oued.

Année universitaire 2025/2026

Remerciements

Louange à Dieu qui nous a dotées de raison et de savoir, et a placé dans Sa création des signes pour ceux qui réfléchissent. Que la prière et la paix soient sur l'enseignant de l'humanité et son guide.

Nous adressons nos sincères remerciements, notre profonde gratitude et notre haute considération à notre encadrante, Dr. "Fatma Alia", pour la qualité de son encadrement, la pertinence de ses orientations scientifiques et son suivi constant, qui ont eu un impact considérable sur l'évolution et l'amélioration de ce travail. Elle a été pour nous une source permanente de motivation pour surmonter les difficultés scientifiques. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements aux honorables membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire et pour leurs remarques pertinentes qui ont enrichi son contenu scientifique.

Nous adressons aussi nos remerciements aux enseignants du département de Biologie cellulaire et moléculaire, ainsi qu'à toute personne ayant contribué à la mise à disposition d'un environnement expérimental et scientifique favorable à la réalisation de ce travail au sein de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude à toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide, de près ou de loin.



Résumé,
Abstract,
ملخص

RESUME

Cette étude comparative est consacrée à la valorisation biotechnologique des noyaux de deux cultivars majeurs de palmier dattier algérien (*Phoenix dactylifera* L.), *Deglet Nour* et *Ghars*, issus de la région de Ghamra. L'objectif est de caractériser leurs profils phytochimiques, d'évaluer leurs potentiels biologiques et d'explorer une approche nanotechnologique innovante via la synthèse verte hydrothermale de points quantiques de carbone (Carbon Dots - CDs). Les analyses spectrophotométriques ont révélé une richesse remarquable en composés phénoliques pour les deux variétés, avec des teneurs en phénols totaux oscillant entre 10.699 ± 1.107 et 11.442 ± 1.362 mg EAG/g Ex, *Deglet Nour* affichant une supériorité relative en flavonoïdes et tanins condensés. Sur le plan biologique, les extraits aqueux bruts ont manifesté d'excellentes capacités antioxydantes (tests DPPH et FRAP) ainsi qu'un facteur de protection solaire (*in vitro* FPS) modéré. De plus, ils ont montré une activité anti-inflammatoire prononcée à travers l'inhibition de la dénaturation thermique de la BSA et la protection des membranes érythrocytaires contre la lyse. En revanche, bien que les CDs aient présenté des performances réduites dans les tests antioxydants et antibactériens - les extraits bruts manifestant un effet bactéricide contre *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* dès 40 mg/mL- ces nanomatériaux se sont distingués de manière exclusive par une aptitude exceptionnelle à stabiliser la membrane des hématies, avec des taux d'inhibition de 65.802 ± 0.120 % et 67.099 ± 0.580 %. En conclusion, bien que les variations variétales influencent la distribution des métabolites secondaires, ces sous-produits agricoles constituent une bio-ressource durable pour les industries dermo-cosmétiques et pharmaceutiques. De plus, cette étude démontre que la conversion nanométrique en CDs permet d'orienter spécifiquement certaines fonctionnalités biologiques, notamment la cytoprotection membranaire.

Mots-clés: Noyaux de *Phoenix dactylifera*, Composés phénoliques, Synthèse verte, Carbon Dots, Activité antioxydante, Cytoprotection.

Abstract

This comparative study investigates the biovalorization of seeds from two prominent Algerian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars, namely *Deglet Nour* and *Ghars*, grown in the Ghamra region. The research delineates their phytochemical profiles and evaluates their biological potencies, while introducing an innovative nanotechnological dimension through the hydrothermal green synthesis of carbon quantum dots (CDs) derived from these waste seeds. Spectrophotometric assays revealed a high abundance of phenolic compounds in both cultivars, with total phenolic contents ranging from 10.699 ± 1.107 to 11.442 ± 1.362 mg GAE/g Ex, alongside a relative superiority of *Deglet Nour* in flavonoid and condensed tannin contents. Biologically, the crude aqueous extracts exhibited outstanding antioxidant capacities via DPPH radical scavenging and ferric reducing antioxidant power (FRAP) mechanisms, as well as moderate *in vitro* sun protection factors (SPF). Furthermore, the crude extracts demonstrated potent anti-inflammatory effects by inhibiting bovine serum albumin (BSA) denaturation and protecting erythrocyte membranes from lysis. Conversely, the synthesized CDs showed a lower performance in antioxidant, anti-inflammatory, and antibacterial assays -where the crude extracts achieved bactericidal thresholds against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* at 40 mg/mL, compared to >80 mg/mL for the CDs. Crucially, however, the CDs exhibited an exceptional and exclusive capacity for erythrocyte membrane stabilization, yielding significant inhibition rates of 65.802 ± 0.120 % and 67.099 ± 0.580 %. These findings demonstrate that while cultivar variations moderately influence secondary metabolite distribution, both agro-wastes possess remarkable metabolic plasticity for integration into dermo-cosmetic and pharmaceutical applications. Additionally, this study highlights that nano-conversion into CDs can be strategically utilized to fine-tune and direct specific biological functionalities, particularly in cellular membrane cytoprotection.

Keywords: *Phoenix dactylifera* seeds, Phenolic compounds, Green synthesis, Carbon dots, Antioxidant activity, Cytoprotection.

الملخص

تهدف هذه الدراسة المقارنة إلى تثمين نوى التمور كأحد أبرز المخلفات الزراعية الثانوية لصنفيين من النخيل الجزائري (*Phoenix dactylifera* L.) المزروع بمنطقة غمرة (دقلة نور والغرس)، وذلك من خلال تقدير محتواها الفيتوكيميائي وتقييم كفاءتها البيولوجية، مع إدراج بعد تكنولوجي حيوي مبتكر يتمثل في التخليق الأخضر الحراري المائي لنقاط الكربون الكمومية النانوية (Carbon Dots)، واستكشاف قدراتها الحيوية مقارنة بالمستخلصات المائية الخام. اعتمدت منهجية العمل على الاستخلاص المائي للنوى بطريقة النقع، تلاها التحليل الكمي الطيفي للمركبات الفينولية الكلية، الفلافونويدات، والتانينات المكثفة. أما لتقييم النشاطية البيولوجية فقد تمت من خلال تقدير الفاعلية المضادة للأكسدة بالاعتماد على اختباري كبح الجذر الحر (DPPH) والقدرة الأرجاعية للحديد (FRAP)، وتحديد عامل الحماية من الشمس (SPF) مخبريا. كما أجريت اختبارات الفعالية المضادة للالتهاب عبر نمذجة تثبيط التمسح الحراري لألبومين المصل البقري (BSA) وحماية غشاء كريات الدم الحمراء من التحلل، بالإضافة إلى تقييم النشاط المضاد للبكتيريا بطريقتي الانتشار في الآجار واختبار التخفيف الدقيق ضد سلالات مرجعية موجبة وسالبة الغرام. أظهرت النتائج الكمية ثراء فيتوكيميائيا عاليا لكلا الصنفيين؛ حيث تراوحت كمية عديدات الفينول الكلية بين 10.699 ± 1.107 mg EGA/g Ex و 11.442 ± 1.362 ، مع تسجيل تفوق نسبي لصنف دقلة نور في محتوى الفلافونويدات والتانينات. وفي الاختبارات الحيوية، سجلت المستخلصات الخام كفاءة فائقة كمضادات أكسدة ومضادات التهاب، وعوامل حماية شمسية متوسطة مقارنة بنقاط الكربون النانوية المشتقة منها، والتي أظهرت بدورها سلوكا تراجعيا في معظم الأنشطة باستثناء تميزها الملحوظ في تعزيز استقرار غشاء الكريات الحمراء وحمايتها من التحلل بنسب تثبيط بلغت (65.802 ± 0.120 % و 67.099 ± 0.580 %). أما في النشاط الميكروبي، سجلت المستخلصات الخام تأثيرا قاتلا للبكتيريا *Escherichia coli* و *Staphylococcus aureus* عند تركيز 40 mg/mL، بينما أبدت نقاط الكربون فاعلية محدودة تجاوزت عتبة الـ 80 mg/mL. وفي الأخير، خلصت الدراسة إلى أن التباين الصنفي يؤثر جزئيا على توزيع المستقلبات الأيضية الثانوية، غير أن الصنفيين يمتلكان مرونة أيضية تؤهلها للتحويل من نفايات زراعية إلى موارد حيوية مستدامة في الصناعات الصيدلانية والتجميلية، مع إثبات أن التحول النانوي إلى نقاط كربون يمكن من تخصيص وتوجيه التأثير البيولوجي، لا سيما في دعم الاستقرار الغشائي الخلوي والحماية الخلوية.

الكلمات المفتاحية: نوى *Phoenix dactylifera*، المركبات الفينولية، التخليق الأخضر، نقاط الكربون النانوية، مضادات الأكسدة، الحماية الخلوية.



Préliminaires

Table des matières

Table des matières

Remerciement	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des Abréviations	
INTRODUCTION GENERALE	
CHAPITRE I. Étude Bibliographique sur le Palmier Dattier et ses Noyaux	
1. Description Botanique	4
1.1. Classification Scientifique	4
1.2. Description Morphologique	5
2. Biochimie et Composition des Noyaux	6
2.1. Composition Biochimique Globale	6
2.1.1. Profil métabolique des composés primaire	6
2.1.2. Profil métabolique des composés secondaires	7
2.2. Études Comparatives entre Variétés	9
3. Activités Biologiques des Noyaux de Datte	10
3.1. Activité Antioxydant	10
3.2. Activité Antimicrobienne	10
3.3. Autres Potentiels Thérapeutiques	10
CHAPITRE II. Matériels et méthodes	
1. Matériel biologique et réactifs	12
1.1. Matériel végétal	12
1.2. Réactifs et produits chimiques	12
1.3. Matériel technique	12
1.4. Souches bactériennes	12
2. Méthodes Expérimentales	12
2.1. Préparation du matériel végétal	12
2.2. Préparation extraits	13
2.2.1. Préparation de l'extrait aqueux	13
2.2.2. Synthèse des points de carbone (C-dots)	13
2.3. Caractérisation phytochimique des extraits aqueux	14
2.3.1. Dosage des polyphénols totaux (PT)	14
2.3.2. Dosage des flavonoïdes totaux (FT)	14

Table des matières

2.3.3. Dosage des tanins condensés (TC)	15
2.4. Évaluation de l'activité antioxydante	15
2.4.1. Test du radical libre DPPH [•] (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)	15
2.4.2. Test du pouvoir réducteur	15
2.5. Détermination du facteur de protection solaire (FPS) <i>in vitro</i>	15
2.6. Évaluation de l'activité de stabilisation de la membrane érythrocytaire	15
2.7. Évaluation de l'activité anti-inflammatoire <i>in vitro</i> par inhibition de la dénaturation protéique	17
2.8. Activité antibactérienne	17
2.8.1. Détermination de l'activité antibactérienne via la technique de diffusion en puits	17
2.8.2. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricides (CMB)	18
2.9. Analyse statistique	18
CHAPITRE III. Résultats et discussion	
1. Caractérisation phytochimique des extraits de noyau de dattes	20
2. Évaluation du pouvoir antioxydant <i>in vitro</i>	22
3. Détermination du facteur de protection solaire (FPS) <i>in vitro</i>	24
4. L'activité anti-inflammatoire	26
5. Activité antibactérienne	28
6. Analyse statistique	30
Conclusion générale et perspectives	33
Bibliographies	36
Annexes	45

Liste des figures

Liste de figures

Figure	Titre	Page
Figure 01	Aspect général de l'espèce <i>Phoenix dactylifera</i> L.	4
Figure 02	Illustration des parties d'une plante.	6
Figure 03	Structure des composés phénoliques identifiés dans les dattes.	8
Figure 04	Structure des flavonoïdes identifiés dans les dattes.	8
Figure 05	Structure des tanins identifiés dans les dattes.	9
Figure 06	Structure des tocopherols.	9
Figure 07	Représentation schématique du processus d'extraction des noyaux de dattes.	14
Figure 08	Teneur en composés phénoliques des différents extraits aqueux.	20
Figure 09	Comparaison des valeurs de FPS entre différents extraits.	25

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau 01	Fonction produit normalisée utilisée dans le calcul du FPS	16
Tableau 02	Évaluation comparative des capacités antioxydantes (IC_{50} et $EC_{0.5}$) des extraits de noyaux de dattes et de leurs dérivés (CDs) par les tests DPPH et FRAP.	22
Tableau 03	Classification normalisée des niveaux de SPF.	25
Tableau 04	Évaluation de l'activité anti-inflammatoire <i>in vitro</i> des différents extraits par les tests de la dénaturation thermique de la BSA et de l'inhibition de l'hémolyse.	26
Tableau 05	Activité antibactérienne des extraits aqueux et de leurs points quantiques de carbone dérivés.	28
Tableau 06	Évaluation <i>in vitro</i> de CMI, CMB et détermination de l'effet bactéricide des extraits bruts et des nano-dérivés contre quatre souches bactériennes.	29
Tableau 07	Matrice de corrélation de Pearson des variables mesurées pour les extraits bruts (D, G) et les points de carbone (CDs D, CDs G)	31

Liste des abréviations

PT:	Polyphénols Totaux
FT:	Flavonoïdes Totaux
TC:	Tanins Condenses
DPPH[•]:	2,2-Diphényl-1-Picrylhydrazyle
FPS:	Facteur De Protection Solaire
CMI:	Concentrations Minimales Inhibitrices
CMB:	Concentrations Minimales Bactéricide
SD:	Standard Déviation
ANOVA:	Analyse de la Variance
AINS:	Anti-Inflammatoires Non Stéroïdiens
ATCC:	American Type Culture Collection
APG IV:	Angiosperm Phylogeny Group (IV)
mg ES/g Ex	mg équivalent du standard par g d'extrait



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), membre éminent de la famille des Arecaceae, représente le pivot écologique et socio-économique des agro-écosystèmes oasiens dans les régions arides et semi-arides. Au-delà de sa valeur nutritionnelle ancestrale, cette espèce est reconnue comme une ressource pharmacologique majeure, dotée de multiples vertus thérapeutiques documentées par la phytothérapie traditionnelle et validées par la recherche moderne (Aljazy et *al.*, 2019). Outre sa résilience physiologique face aux stress abiotiques extrêmes, le dattier joue un rôle crucial dans la sécurité alimentaire et l'économie circulaire, où chaque partie de la plante trouve une application dans de nombreux domaines industriels (Jaganathan et *al.*, 2018).

Parallèlement à l'expansion de la production phénicicole mondiale, la gestion des sous-produits industriels est devenue un enjeu stratégique pour le développement durable. Les noyaux de dattes, qui constituent environ 10 à 15 % de la masse totale du fruit, représentent une biomasse largement sous-exploitée (Ghnimi et *al.*, 2023). En Algérie, des quantités massives de ces noyaux sont rejetées annuellement par l'industrie agroalimentaire (Bouaziz et *al.*, 2021), alors qu'elles recèlent un potentiel biochimique remarquable. Ces résidus constituent une matrice biologique dense, riche en macromolécules et en métabolites secondaires dotés de propriétés antioxydantes et antibactériennes (Bouhlali et *al.*, 2021), offrant ainsi des alternatives naturelles prometteuses aux additifs synthétiques.

Sur le plan phytochimique, les noyaux de dattes se distinguent par une complexité structurale dominée par des polysaccharides (cellulose, hémicelluloses), une fraction lipidique riche en acides gras insaturés (notamment l'acide oléique), et une teneur minérale significative (potassium, magnésium) (Neves & Harrison, 2023). Cependant, leur intérêt pharmacologique réside principalement dans leur charge en composés phénoliques (acides phénoliques, flavonoïdes, tanins condensés), dont les concentrations surpassent souvent celles de la pulpe (Plaza et *al.*, 2022). Des études récentes ont corrélé ces composés à des activités biologiques de haut niveau, et même antidiabétiques par l'inhibition des enzymes clés du métabolisme glucidique (Ziaei & Harrison, 2024).

Malgré ce potentiel, l'expression de ces propriétés biologiques reste fortement modulée par le génotype, les conditions pédoclimatiques et les techniques d'extraction (Maqboul et *al.*, 2024). C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude, visant à caractériser et à comparer les noyaux de deux cultivars algériens contrastés de la région de Ghamra: «Deglet Nour», variété d'excellence commerciale, et «Ghars», variété molle à forte valeur énergétique.

Introduction générale

L'originalité de ce travail réside dans l'intégration d'une approche nanotechnologique via la synthèse de points de carbone (Carbon Dots) à partir des extraits de noyaux. Cette valorisation biotechnologique vise à explorer comment la conversion de cette biomasse en nanomatériaux peut exacerber ou moduler leurs propriétés biologiques.

La problématique centrale de notre recherche s'articule autour de la question suivante: Dans quelle mesure la variabilité variétale influence-t-elle le profil phytochimique et le potentiel biotechnologique des noyaux de dattes, et quel est l'apport des Carbon Dots dans l'optimisation de leurs activités biologiques?

Pour répondre à cette problématique, nos travaux s'articulent autour de trois axes principaux:

1. Caractérisation phytochimique comparative: Extraction et quantification des composés phénoliques des variétés Deglet Nour et Ghars.
2. Évaluation de l'activité biologique: Étude comparative *in vitro* des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes des extraits bruts.
3. Valorisation biotechnologique: Synthèse verte de Carbon Dots à partir des noyaux et évaluation de leur performance biologique par rapport aux extraits conventionnels.

Afin d'atteindre ces objectifs, ce mémoire est structuré en trois chapitres essentiels:

- **Le premier chapitre** présente une synthèse bibliographique sur le palmier dattier et la composition des noyaux.
- **Le deuxième chapitre** une présentation détaillée du matériel et des méthodes expérimentales.
- **Le troisième chapitre** l'exposition et la discussion critique des résultats obtenus.

Enfin, nous clôturons ce travail par une conclusion générale synthétisant les principaux résultats, accompagnée de recommandations et de perspectives pour les recherches futures dans ce domaine.



*CHAPITRE 1. Étude Bibliographique sur le
Palmier Dattier et ses Noyaux*

1. Description Botanique

Le palmier (*Phoenix dactylifera* L.), appartenant à la famille des Arécacées (Arecaceae), représente une espèce végétale stratégique majeure des écosystèmes oasiens et désertiques. Il joue un rôle écologique fondamental en milieu aride grâce à sa capacité remarquable à exploiter les ressources hydriques et à s'adapter aux contraintes environnementales sévères (Hazzouri et *al.*, 2019). Cette espèce manifeste une résilience biologique exceptionnelle, lui permettant de prospérer durablement sous des conditions climatiques extrêmes (Zaid & Arias-Jiménez, 2021).

Des études génétiques indiquent que sa grande diversité est issue de longs processus de domestication et de sélection humaine, ayant permis l'émergence de nombreuses variétés adaptées à divers environnements (Gros-Balthazard et *al.*, 2018). Au-delà de sa valeur productive, cette espèce contribue activement à la séquestration du carbone et à la lutte contre la désertification en créant un microclimat favorable aux cultures sous-jacentes (effet d'oasis), favorisant ainsi la préservation de la biodiversité (Naeem et *al.*, 2020).



Figure 01: Aspect général de l'espèce *P. dactylifera* (Anonyme, 2024).

1.1. Classification Scientifique

Selon les critères taxonomiques validés par l'APG IV (2016), le palmier dattier (*P. dactylifera*) est classé comme suit :

Division: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Ordre: Arecales

Famille: Arecaceae

Genre: *Phoenix*

Espèce: *Phoenix dactylifera* L.

1.2. Description Morphologique

Le palmier est une plante monocotylédone à feuillage persistant, se distinguant par son tronc cylindrique, rigide et dépourvu de ramifications, connu sous le nom de stipe. Contrairement aux dicotylédones ligneux, ce stipe est dépourvu de cambium (absence de croissance secondaire en épaisseur); il est constitué d'un entrelacement de tissus fibreux denses et de faisceaux vasculaires qui lui confèrent une flexibilité et une résistance remarquables aux vents violents. L'extérieur du stipe est recouvert par les bases des feuilles coupées, appelées pétioles, qui forment une armure protectrice isolant le bourgeon terminal (méristème apical) et les tissus conducteurs des amplitudes thermiques extrêmes (Munier, 1973). Par ailleurs, des travaux récents ont souligné que l'évolution génétique de cette structure a permis au palmier de stocker d'importantes réserves de glucides, essentielles pour sa survie lors de périodes de sécheresse prolongées (Hazzouri et *al.*, 2022).

Le système racinaire du palmier est de type fasciculé; il prend naissance à la base du stipe en l'absence d'une racine pivotante principale. Ce système se distingue par une densité remarquable et une ramification abondante, s'étendant aussi bien horizontalement que verticalement. Les racines peuvent ainsi coloniser le sol jusqu'à plus de 6 mètres de profondeur pour capter les eaux souterraines (Oihabi, 1991). Selon les travaux récents d'Al-Khaishany et *al.* (2024), les racines possèdent une capacité d'adaptation unique à la salinité élevée. Cette résilience est favorisée par le développement de tissus aérénchymes qui facilitent les échanges gazeux, assurant ainsi une absorption hydrique optimale même dans des conditions édaphiques (du sol) contraignantes.

Le palmier possède des feuilles persistantes, pennées, pouvant atteindre 3 à 6 mètres de longueur, regroupées en une couronne dense au sommet du stipe (Zaid & Arias-Jiménez, 2002). Chaque feuille, ou palme, est composée d'un rachis rigide portant des folioles transformées en épines acérées à leur base (acanthophylles). Les folioles (pennes) sont recouvertes d'une cuticule épaisse et cireuse, une adaptation xérophytique majeure qui limite la transpiration et protège la plante des rayonnements solaires intenses (Gros-Balthazard et *al.*, 2023). Selon l'étude de Munier (1973), la disposition et l'angle des folioles permettent une interception optimale de la lumière tout en réduisant la prise au vent, assurant ainsi une efficacité photosynthétique élevée même en conditions d'hyper-aridité.

Le palmier est une plante dioïque, caractérisée par une différenciation sexuelle où l'appareil reproducteur est porté par des individus mâles et femelles distincts. Cette spécificité biologique impose une pollinisation croisée (allogamie) qui, en milieu cultural, est généralement assistée par l'homme afin d'en assurer la productivité. Les fleurs se développent

initialement à l'abri de gaines coriaces appelées spathes et, à maturité, ces dernières se fendent longitudinalement pour libérer les inflorescences, nommées spadices. Ces derniers sont constitués de nombreux épillets sur lesquels sont insérées les fleurs (Munier, 1973).

Le fruit, la datté, est une baie charnue composée botaniquement de trois couches: l'épicarpe (la peau externe), le mésocarpe (la pulpe charnue) et l'endocarpe (une fine membrane cellulosique gainant la noyau). À l'intérieur se trouve le noyau, de forme oblongue et marqué par un sillon ventral longitudinal. (Al-Farsi & Lee, 2008).

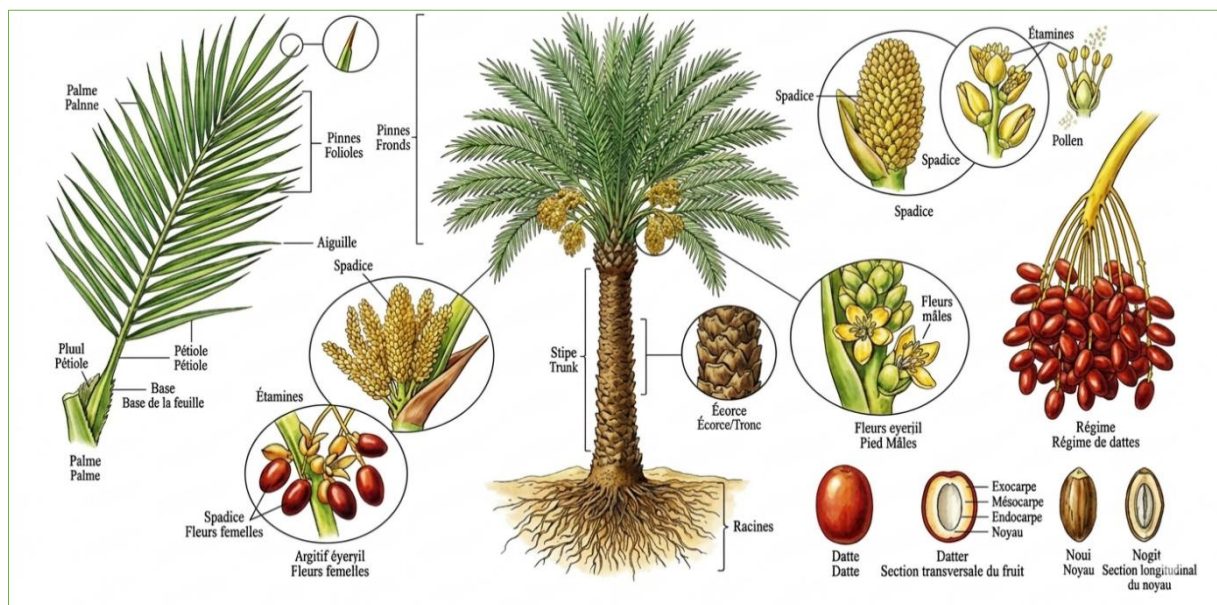


Figure 02: Illustration des parties d'une plante (Sedra, 2003; avec quelques modifications).

2. Biochimie et Composition des Noyaux

La composition chimique des noyaux de dattes varie selon le stade de maturité, les conditions de culture et surtout la variété.

2.1. Composition Biochimique Globale

Les noyaux de dattes sont caractérisés par une faible teneur en eau et une densité nutritionnelle élevée:

2.1.1. Profil métabolique des composés primaire

- **Glucides:** Les glucides constituent le principal composant du noyau de datté et se présentent majoritairement sous forme de polysaccharides complexes non digestibles (fibres alimentaires). Biologiquement, ces fibres sont essentiellement composées de cellulose et d'hémicelluloses, notamment des glucomannanes (Hamada *et al.*, 2002). Des études, telles que celle de (Hussain *et al.*, 2023), indiquent que ces biopolymères jouent un rôle structural crucial dans la protection de l'embryon au sein du noyau. Chimiquement, le noyau se distingue par une teneur en sucres

simples nettement inférieure à celle de la pulpe, ce qui en fait une matière première idéale pour la production de prébiotiques, favorisant ainsi la croissance sélective des bactéries bénéfiques dans le tube digestif (Mrabet et *al.*, 2020).

- **Lipides:** La teneur en matières grasses des noyaux de dattes est significative, généralement comprise entre 5 et 12 %. L'huile de noyau se caractérise par un profil lipidique équilibré où l'acide oléique (un acide gras mono-insaturé de la série oméga-9) est l'acide gras prédominant, représentant environ 40 à 50 % de composition totale, suivi de l'acide laurique (un acide gras saturé) (Besbes et *al.*, 2004). Sur le plan scientifique, l'acide oléique est considéré comme le constituant majeur influençant les propriétés physico-chimiques de l'huile (Gharby et *al.*, 2021). D'un point de vue biologique, ces lipides constituent une réserve énergétique essentielle pour l'embryon lors de la germination (Nehdi et *al.*, 2010).
- **Protéines:** Bien que la teneur en protéines du noyau soit relativement faible (5 à 7 %), elle présente une valeur biologique notable due à la présence d'acides aminés essentiels (Hamada et *al.*, 2002). Des recherches, telles que celle d'Al-Alawi et *al.* (2020), indiquent que ces protéines sont fonctionnellement liées à des enzymes hydrolytiques activées lors de la germination. Le noyau contient également des protéines de réserve et des protéines structurales qui stabilisent les membranes cellulaires en conditions de stress hydrique (Zaid & Arias-Jiménez, 2002).
- **Minéraux:** Les noyaux de dattes sont considérés comme une source très concentrée de minéraux essentiels. Le potassium arrive en tête, suivi du magnésium, du calcium et du phosphore, ainsi que d'oligo-éléments tels que le zinc et le fer. Sur le plan biologique, ces minéraux ne sont pas de simples composants chimiques, mais des cofacteurs essentiels aux processus enzymatiques au sein de la noyau (Al-Farsi & Lee, 2008).

2.1.2. Profil métabolique des composés secondaires

Outre les nutriments de base, le noyau de datte est particulièrement riche en métabolites secondaires, qui sont responsables de l'essentiel de ses propriétés biologiques:

- **Phénols:** Les composés phénoliques constituent la composante dominante du profil métabolique du noyau de datte, leur concentration étant souvent jusqu'à dix fois supérieure à celle de la pulpe du fruit. Ce groupe est principalement représenté par des acides phénoliques tels que les acides gallique, caféique et férulique (Al-Farsi et *al.*, 2007).

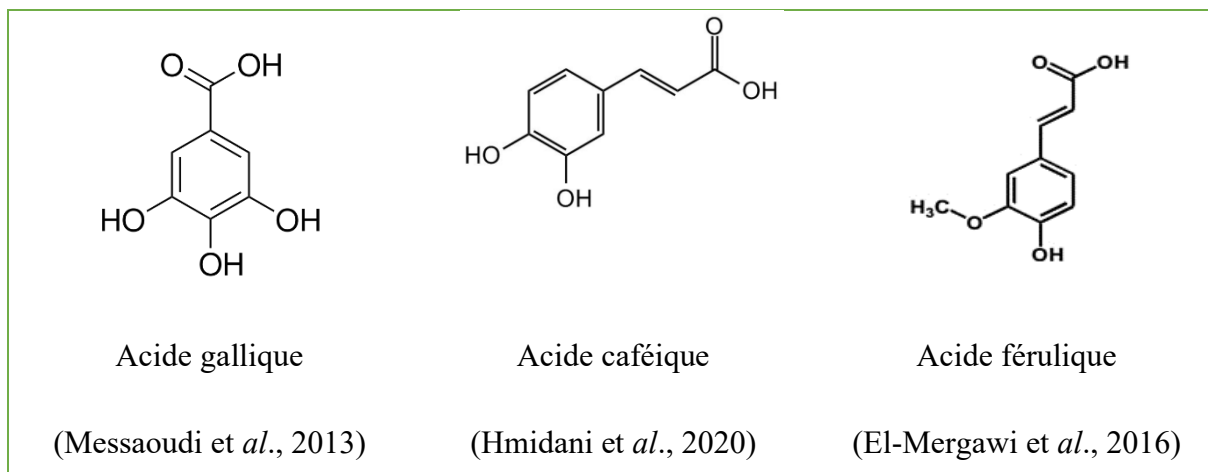


Figure 03: Structure des composés phénoliques identifiés dans les noyaux de dattes.

- **Flavonoïdes:** Cette fraction est représentée par diverses sous-classes de flavoboides, notamment les flavan-3-ols (catéchines), ainsi que des flavones et flavonols tels que la quercétine, la lutéoline et l'apigénine ((Baliga et *al.*, 2011; Hussain et *al.*, 2023).

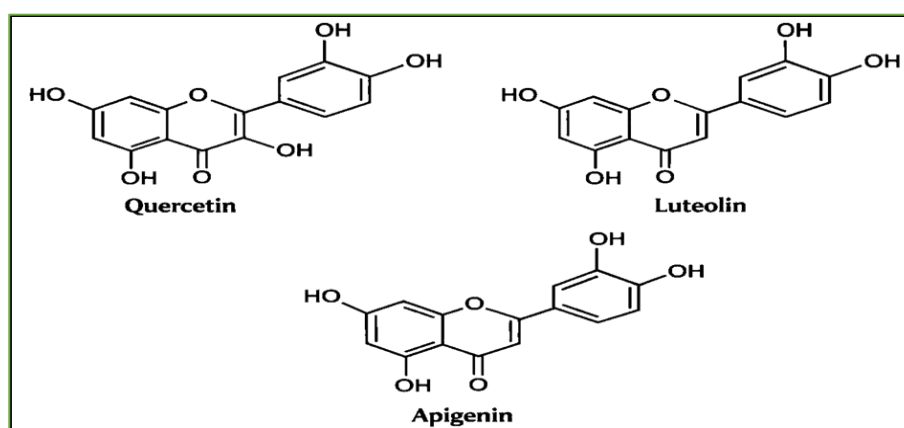


Figure 04: Structure des flavonoïdes identifiés dans les dattes (Baliga et *al.*, 2011)

- **Tanins:** Les tanins contenus dans les noyaux de dattes sont principalement des tanins condensés (proanthocyanidines), des composés polymères qui confèrent au noyau ses propriétés astringentes et sa résistance à la biodégradation (Al-Farsi & Lee, 2008). Ces composés forment des complexes stables avec les protéines et les polysaccharides, créant ainsi une barrière chimique qui protège l'embryon contre les attaques microbiennes pendant la dormance (Hussain et *al.*, 2023)

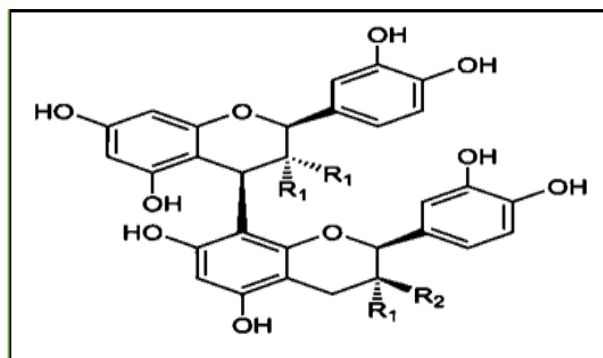


Figure 05: Structure des tanins identifiés dans les dattes (Baliga et *al.*, 2011)

- **Stérols:** L'huile extraite des noyaux de dattes contient une combinaison unique de phytostérols et de tocophérols (vitamine E), renforçant ainsi les propriétés thérapeutiques du noyau (Besbes et *al.*, 2004).

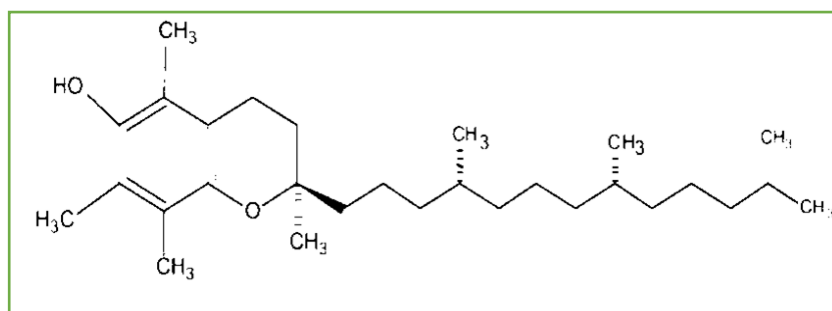


Figure 06: Structure des tocophérols (Djenotin et *al.*, 2006).

2.2. Études Comparatives entre Variétés

La littérature scientifique démontre des disparités significatives entre les variétés (ex: Deglet Nour, Ghars). Ces différences concernent principalement:

- **Profil lipidique du noyau:** la composition qualitative et quantitative des acides gras extraits des noyaux varie selon la variété. Bien que l'acide oléique (C18:1) et l'acide laurique (C12:0) dominant le profil lipidique global (Nehdi et *al.*, 2010). Les noyaux de variétés tendres, telles que le «Ghars», présentent une proportion plus élevée d'acides gras insaturés par rapport à ceux de «Deglet Nour» (Bouhlali, 2020).
- **Propriétés techno-fonctionnelles:** La structure morphologique du noyau, notamment sa dureté et sa texture, influe directement sur l'efficacité des procédés d'extraction chimique et mécanique (Belarbi et *al.*, 2000). Les noyaux de Deglet Nour se caractérisent par une dureté mécanique élevée et une forte cohésion fibreuse, rendant leur broyage laborieux et réduit la perméabilité aux solvants. Cela entraînant une baisse du rendement d'extraction par rapport aux noyaux de Ghars, dont la structure est plus tendre (Idoui & Benamara, 2022).

3. Activités Biologiques des Noyaux de Datte

Les noyaux de dattes sont considérés comme un sous-produit biologique de grande valeur, car des études phytochimiques ont démontré leurs concentrations en acides phénoliques et en flavonoïdes. Ces composés ne sont pas de simples sous-produits du métabolisme, mais plutôt des molécules bioactives aux propriétés pharmacologiques diverses, ce qui en fait un sujet d'intérêt pour les industries agroalimentaire et pharmaceutique (Maqsood et *al.*, 2020; Ghnimi et *al.*, 2019).

3.1. Activité Antioxydant

Les extraits de noyau de datte manifestent une capacité remarquable à neutraliser les radicaux libres, agissant comme de puissants agents antioxydants. Sur le plan biologique, ces extraits renforcent les défenses enzymatiques intrinsèques telles que la superoxyde dismutase (SOD) et la catalase (CAT), tout en réduisant la peroxydation lipidique et protégeant l'ADN contre les dommages oxydatifs (Al-Zahrani et *al.*, 2022). Ce rôle essentiel contribue directement à la prévention des maladies dégénératives et du vieillissement cellulaire (Bouhlali et *al.*, 2021).

3.2. Activité Antimicrobienne

Les extraits de noyau de datte présentent une activité inhibitrice à large spectre contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives, ainsi qu'une activité antifongique. Cet effet est attribué à la synergie entre les phénols et les acides gras tels que les acides laurique et oléique (Hussain et *al.*, 2023). Ces composés pénètrent la paroi cellulaire microbienne, provoquant une fuite du contenu cytoplasmique et l'inhibition d'enzymes essentielles, empêchant ainsi la réplication microbienne (Bouhlali et *al.*, 2021).

3.3. Autres Potentiels Thérapeutiques

Activité anti-inflammatoire: Les composés phénoliques présents dans les noyaux inhibent les cytokines pro-inflammatoires telles que le TNF- α et l'IL-6 via des voies de signalisation moléculaires spécifiques, réduisant ainsi la gravité de l'inflammation chronique (Maqsood et *al.*, 2020).

Activité hépatoprotectrice: Les extraits de noyau de datte contribuent à abaisser les taux élevés d'enzymes hépatiques (ALT et AST) consécutifs à une intoxication chimique, grâce à leur capacité à rétablir l'équilibre oxydatif dans le tissu hépatique (Hussain et *al.*, 2023).

Gestion du diabète: Des études récentes ont démontré la capacité des noyaux de dattes à inhiber les enzymes digestives des glucides telles que l'alpha-amylase et l'alpha-glucosidase, ce qui entraîne un ralentissement de l'absorption du glucose et une amélioration de la sensibilité à l'insuline (Ghnimi et *al.*, 2019; Maqsood et *al.*, 2020).



CHAPITRE II. Matériels et méthodes

1. Matériel biologique et réactifs

1.1. Matériel végétal

Le matériel biologique étudié est constitué de noyaux de dattes issus de deux variétés algériennes: Ghars et Deglet Nour (*P. dactylifera*). Les échantillons ont été collectés en décembre 2025 dans des palmeraies situées dans la région de Ghamra (Oued Souf, Algérie), dont les coordonnées géographiques sont les suivantes: 33° 30' 23" N et 6° 56' 17" E.

1.2. Réactifs et produits chimiques

L'ensemble des analyses a été réalisé en utilisant des réactifs de pureté. La liste inclut notamment: le réactif de Folin-Ciocalteu, le carbonate de sodium (Na_2CO_3), le chlorure d'aluminium (AlCl_3), l'acide chlorhydrique (HCl), la vanilline, l'acide gallique, la quercétine, la catéchine, l'acide ascorbique, le radical DPPH, le ferricyanure de potassium [$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$], l'acide trichloroacétique (TCA), le chlorure ferrique (FeCl_3), l'aspirine, l'acide salicylique, l'agar Mueller-Hinton (MHA), le bouillon Mueller-Hinton (MHB), le tampon Tris (TBS), une crème solaire de la marque La Roch-Posay®, le sérum physiologique (NaCl 0.9 %), la suspension d'érythrocytes (RBC) humains, ainsi que de l'albumine sérique bovine (BSA). Les solvants utilisés incluent le méthanol, l'eau distillée, le DMSO.

1.3. Matériel technique

Les analyses phytochimiques et biologiques ont été réalisées à l'aide d'équipements de précision, notamment : un spectrophotomètre UV-Vis, une balance de précision, un pH-mètre, une centrifugeuse, un bain-marie thermostaté, un bain à ultrasons, un agitateur magnétique, un vortex, un incubateur, des boîtes de Petri stériles, des microplaques à 96 puits, un emporte-pièce stérile, des micropipettes à volume variable, des tubes à essai, des tubes de prélèvement sous vide (EDTA), des flacons opaques et des écouvillons stériles.

1.4. Souches bactériennes

L'activité antibactérienne a été évaluée sur quatre souches de référence issues de la collection ATCC, comprenant des bactéries à Gram positif: *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) et *Bacillus subtilis* (ATCC 25973) ; et des bactéries à Gram négatif: *Escherichia coli* (ATCC 25922) et *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853).

2. Méthodes Expérimentales

2.1. Préparation du matériel végétal

Les noyaux de dattes des deux variétés ont été préalablement nettoyés par plusieurs lavages successifs à l'eau courante afin d'éliminer les impuretés de surface. Le séchage a été réalisé à température ambiante dans un endroit sec et ventilé, à l'abri de l'humidité et du

rayonnement solaire direct. Une fois séchés, les noyaux ont été broyés manuellement à l'aide d'un mortier traditionnel. La poudre obtenue a été tamisée à l'aide d'un tamis de granulométrie standard (0.2 mm). Le produit résultant a été conditionné dans des flacons hermétiques et conservé à 4 °C jusqu'à son utilisation.

2.2. Preparation extracts

2.2.1. Préparation de l'extrait aqueux

L'extraction aqueuse a été réalisée par macération à froid. Une masse de 20 g de poudre de noyaux de dattes a été immergée dans 200 mL d'eau distillée (ratio 1:10 m/v). Le mélange a été maintenu sous agitation modérée, à température ambiante et à l'obscurité pendant 24 heures. Afin d'optimiser le rendement d'extraction, cette opération a été renouvelée trois fois.

Après chaque cycle, la suspension a été filtrée sur papier filtre Whatman n° 1. Les filtrats réunis ont ensuite été séchés à l'aide d'une étuve réglée à une température constante de 60 °C jusqu'à l'obtention d'un extrait sec. Ce dernier a été conditionné dans des flacons ambrés et conservé à 4 °C jusqu'à son analyse (Alia et *al.*, 2026).

2.2.2. Synthèse des points de carbone (C-dots)

Les points de carbone (C-dots) ont été synthétisés par une approche de pyrolyse thermique descendante (Top-down), selon la méthode décrite par Singh et *al.* (2025) avec quelques modifications optimisées. Une masse de 10 g de poudre de chaque variété a été introduite dans un creuset en céramique, puis soumise à une carbonisation dans un four moufle à une température constante de 180 °C pendant 3 h.

Le produit carbonisé obtenu, de couleur noir brunâtre, a été refroidi à température ambiante puis finement broyé. La poudre résultante a été dispersée dans 100 mL d'eau distillée. Pour favoriser la fragmentation des structures carbonées et la stabilisation de la suspension colloïdale, le mélange a été soumis à une sonication pendant 30 min.

La purification des C-dots a été réalisée par centrifugation à 4000 tr/min pendant 30 min afin d'éliminer les agrégats de carbone de grande taille. Le surnageant a ensuite été filtré sur une membrane de précision (0.22 µm) pour isoler les nanoparticules. La solution finale de C-dots a été concentrée par évaporation, puis conservée à 4°C à l'abri de la lumière pour les caractérisations ultérieures (Singh et *al.*, 2025).

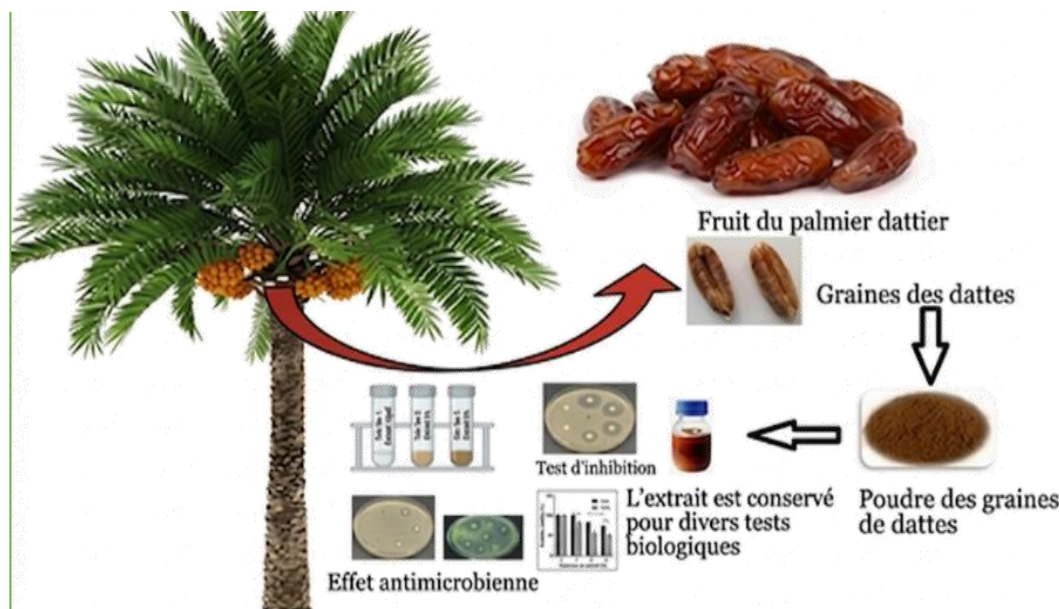


Figure 07: Représentation schématique du processus d'extraction des noyaux de dattes (*P. dactylifera*) (Abadlia et Boukenouda, 2020).

2.3. Caractérisation phytochimique des extraits aqueux

2.3.1. Dosage des polyphénols totaux (PT)

La quantification des composés phénoliques totaux a été réalisée par la méthode colorimétrique du réactif de Folin-Ciocalteu, selon le protocole décrit par Alia et *al.* (2021). Brièvement, un volume de 0.2 mL des extraits aqueux a été mélangé à 1 mL du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué à 10 % v/v). Après 2 min de réaction, 0.8 mL d'une solution de Na_2CO_3 à 7.5 % (m/v). Le mélange réactionnel a ensuite été incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant 30 min. L'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. Une courbe d'étalonnage a été préalablement établie en utilisant l'acide gallique comme standard (0.01 à 0.12 mg/mL). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g Ex).

2.3.2. Dosage des flavonoïdes totaux (FT)

La teneur totale en flavonoïdes a été estimée par la méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium (AlCl_3), selon le protocole de Alia et *al.* (2021). Cette méthode repose sur la formation d'un complexe stable entre l'ion aluminium et les groupements cétoniques ou hydroxylés des flavonoïdes. En pratique, un volume de 0.75 mL des extraits végétaux (ou de la solution standard) a été mélangé avec 0.75 mL d'une solution de AlCl_3 à 2 % (m/v). Après une période d'incubation de 60 min à température ambiante et à l'abri de la lumière, l'absorbance du mélange réactionnel a été mesurée à 420 nm. Une courbe d'étalonnage a été préparée en utilisant la quercétine comme molécule de référence (0.01 à 0.05 mg/mL). Les

teneurs en flavonoïdes sont exprimées en milligrammes d'équivalents quercétine par gramme d'extrait (mg EQ/g Ex).

2.3.3. Dosage des tanins condensés (TC)

La teneur en tanins condensés a été déterminée par la méthode à la vanilline en milieu acide (Vanilline-HCl). En pratique, un volume de 0.1 mL des extraits (ou de la solution standard) a été mélangé à 0.75 mL d'une solution méthanolique de vanilline à 4 % (m/v) fraîchement préparée. Ensuite, 0.375 mL de HCl concentré ont été ajoutés au mélange. La réaction a été conduite à une température contrôlée de 20°C pendant 15 min à l'obscurité. L'absorbance du complexe résultant a été mesurée à 500 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Une courbe d'étalonnage a été établie en utilisant la catéchine comme standard de référence (0.02 à 0.06 mg/mL). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalents catéchine par gramme d'extrait (mg EC/g Ex) (Alia et *al.*, 2026)

2.4. Évaluation de l'activité antioxydante

2.4.1. Test du radical libre DPPH[•] (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)

L'activité antioxydante des extraits aqueux et des C-dots a été évaluée par le test de piégeage du radical libre DPPH[•], selon le protocole décrit par Rehiaï et *al.* (2015). Des concentrations croissantes des échantillons ont été mélangées à un volume égal d'une solution méthanolique de DPPH (0.1 mM). Après une incubation à l'obscurité pendant 15 min à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 517 nm.

Le pourcentage d'inhibition (I%) a été calculé à l'aide de l'équation mentionnée par Chaouche et *al.* (2013):

$$I (\%) = [(A_c - A_s) / A_c] \times 100$$

Où A_c : représente l'absorbance du control négatif et A_s celle de l'échantillon.

L'activité a été exprimée en termes d'IC₅₀, définie comme la concentration nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux DPPH[•]. Cette valeur a été déterminée par régression linéaire à partir de la courbe du pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration (Truong et *al.*, 2019). L'acide ascorbique (1-40 µg/mL) a été utilisé comme standard de référence (control positif).

2.4.2. Test du pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur des extraits aqueux et des C-dots a été déterminé selon la méthode décrite par Oyaizu (1986). Diverses concentrations de chaque échantillon (250 µL) ont été mélangées à 625 µL d'un tampon phosphate (0.2 M, pH 6.6) et 625 µL d'une solution de K₃[Fe(CN)₆] à 1 %. Le mélange a été incubé au bain-marie à 50 °C pendant 20 minutes. La

réaction a ensuite été stoppée par l'ajout de 625 μL de TCA à 10 %. Après centrifugation à $3000 \times g$ pendant 10 min, un volume de 625 μL du surnageant a été prélevé et mélangé à 625 μL d'eau distillée et 125 μL d'une solution de FeCl_3 à 0,1 % fraîchement préparée. L'absorbance a été mesurée à 700 nm contre un blanc adéquat. L'acide ascorbique a été utilisé comme standard de référence. Les résultats ont été exprimés en $\mu\text{g/mL}$ et la valeur $\text{EC}_{0.5}$ définie comme la concentration efficace correspondant à une absorbance de 0.5 nm, a été déterminée par interpolation linéaire à partir de la courbe de régression (Zengin et *al.*, 2011).

2.5. Détermination du facteur de protection solaire (FPS) *in vitro*

L'efficacité photoprotectrice des extraits et des C-dots a été évaluée par la détermination du FPS *in vitro*, selon la méthode spectrophotométrique décrite par Dutra et *al.* (2004). Des solutions des échantillons ont été préparées à une concentration de 0.5 mg/mL, et leurs absorbances ont été mesurées dans la gamme spectrale allant de 290 à 320 nm, avec des incréments de 5 nm. La valeur du FPS a été calculée en utilisant l'équation de Mansur et *al.* (1986):

$$FPS = CF \times \sum_{290 \text{ nm}}^{320 \text{ nm}} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda)$$

Où ; **EE**: spectre d'effet érythémal; **I**: spectre d'intensité solaire; **Abs**: absorbance du produit de protection solaire; **CF**: facteur de correction (= 10)

Tableau 01 : Fonction produit normalisée utilisée dans le calcul du FPS

λ (nm)	EE x I (normalisé)
290	0.0150
295	0.0817
300	0.2874
305	0.3278
310	0.1864
315	0.0837
320	0.0180
Total	1

(Sayre et *al.*, 1979)

2.6. Évaluation de l'activité de stabilisation de la membrane érythrocytaire

L'activité de stabilisation de la membrane a été évaluée par le test d'hémolyse induite par une solution hypotonique, selon la méthode décrite par Mohammad A. Rashid et *al.* (2014) Le protocole comprenait six: 2 groupes d'extraits (Ghars, Deglet Nour, CDs Ghars et CDs Deglet

Nour), un témoin négatif (eau distillée) et un témoin positif (acide acétylsalicylique comme standard). Brièvement, 1 mL d'une RBC humains à 10 % a été ajouté dans chaque tube. Ensuite, 1 mL de l'extrait (500 µg/mL), d'eau distillée ou d'acide acétylsalicylique a été ajouté aux tubes respectifs. Pour induire l'hémolyse, 1 mL d'une solution hypotonique (NaCl 0.9 %) a été ajouté à chaque mélange, et le pH a été ajusté à 7.4 à l'aide d'un tampon phosphate. Les mélanges réactionnels ont été incubés au bain-marie à 56°C pendant 30 min, puis refroidis sous un flux d'eau courante avant d'être centrifugés à 2500 tr/min pendant 5 min. L'absorbance des surnageant a été mesurée à 556 nm. Le pourcentage d'inhibition de l'hémolyse a été calculé par l'équation suivante:

$$I \% = [(Abs_{\text{témoin}} - Abs_{\text{échantillon}}) / Abs_{\text{témoin}}] \times 100.$$

2.7. Évaluation de l'activité anti-inflammatoire *in vitro* par inhibition de la dénaturation protéique

Le potentiel anti-inflammatoire de deux extraits végétaux et des C-dots a été évalué par le test d'inhibition de la dénaturation thermique de BSA, selon la méthode décrite par Bailey-Shaw *et al.* (2017). Les échantillons ont été testés à des concentrations allant de 2.5 à 80 mg/mL. Le mélange réactionnel, constitué de 1.0 mL de BSA (0.3 % m/v dans TBS, pH 6.4) et de l'échantillon, a été ajusté à un volume final de 2.5 mL. L'aspirine a été utilisée comme standard de référence (témoin positif), tandis que l'eau distillée ont servi de témoins négatif et de solvant, respectivement. Après une pré-incubation à 37 °C pendant 15 min, le mélange a été soumis à un stress thermique à 70 °C pendant 10 min pour induire la dénaturation. Après refroidissement, l'absorbance a été mesurée à 660 nm. Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation a été calculé par la formule:

$$I (\%) = [(A_{\text{contrôle}} - A_{\text{échantillon}}) / A_{\text{contrôle}}] \times 100$$

2.8. Activité antibactérienne

2.8.1. Détermination de l'activité antibactérienne via la technique de diffusion en puits

L'activité antibactérienne des extraits végétaux et des C-dots a été évaluée par la méthode de diffusion en puits sur (MHA), conformément au protocole décrit par Bonev *et al.* (2008). Deux souches de référence, *E. coli* et *S. aureus*, ont été sélectionnées comme modèles bactériens à Gram négatif et Gram positif, respectivement. Les échantillons, préalablement solubilisés dans du DMSO (1 % v/v), ont été testés à différentes concentrations (10, 20, 40 et 80 mg/mL). Des inocula bactériens, standardisés à 10⁸ UFC/mL (correspondant à l'étalon 0.5 de McFarland), ont étéensemencés uniformément sur la surface de la gélose. Ensuite, un volume de 50 µL de chaque solution a été déposé dans des puits de 6 mm de diamètre

préalablement ménagés dans le milieu. Après une période d'incubation à 37 °C pendant 24 h, l'activité antibactérienne a été déterminée par la mesure du diamètre des zones d'inhibition (exprimé en mm). La gentamicine et le solvant (DMSO 1 %) ont été utilisés comme contrôles positif et négatif, respectivement.

2.8.2. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) et bactéricides (CMB)

L'activité antibactérienne des extraits végétaux et des C-dots a été quantifiée à l'aide de la méthode standardisée de microdilution en bouillon dans des microplaques à 96 puits, conformément aux directives (CLSI). Les essais ont été menés sur quatre souches de référence: *E. coli* et *P. aeruginosa* comme modèles à Gram négatif, ainsi que *S. aureus* et *B. subtilis* pour les Gram positif. Les échantillons, initialement solubilisés dans du DMSO ($\leq 1\%$ v/v), ont subi des dilutions sérielles de raison deux dans du MHB pour atteindre une gamme de 2.5, 5, 10, 20, 40 et 80 mg/mL. Des inocula bactériens standardisés (0.5 McFarland) ont été ajustés pour obtenir une concentration de travail finale dans des microplaques à 96 puits. Après une incubation aérobie à 37 °C pendant 24 h, la CMI a été définie comme la plus faible concentration sans turbidité visible. La CMB a été ensuite déterminée par repiquage (3 μ L) sur gélose MHA; elle correspond à la concentration minimale n'affichant aucune croissance coloniale après une réincubation de 24 h (Schwalbe et *al.*, 2007; Wayne, 2010).

2.9. Analyse statistique

Toutes les analyses biologiques et phytochimiques ont été réalisées en triplicat (n=3). Les résultats sont exprimés sous forme de moyenne $\pm$ SD. La comparaison entre les différents groupes a été effectuée par analyse de la variance (ANOVA). Le seuil de significativité statistique a été fixé à $p < 0,001$, indiqué par (**). Le traitement des données et les analyses statistiques ont été réalisés à l'aide des logiciels Microsoft Excel (version 2016).



CHAPITRE III. Résultats et discussion

1. Caractérisation phytochimique des extraits de noyau de dattes

La caractérisation phytochimique des extraits aqueux de noyau de dattes (variétés Ghars et Deglet Nour) a porté sur la quantification des métabolites secondaires prépondérants, à savoir les composés phénoliques totaux, les flavonoïdes et les tanins condensés. L'intérêt porté à ces fractions bioactives découle de leur rôle crucial, largement documenté dans la recherche scientifique, dans la médiation des activités antioxydante, anti-inflammatoire et antibactérienne.

Le profil biochimique a été déterminé par des méthodes spectrophotométriques, en s'appuyant sur des courbes d'étalonnage rigoureuses. La teneur en polyphénols totaux a été estimée à l'aide de l'acide gallique comme standard ($y = 0.0327x - 7.1385$; $R^2 = 1$). Parallèlement, les teneurs totales en flavonoïdes et en tanins condensés ont été évaluées respectivement en équivalents quercétine ($y = 6.77x + 0.0027$; $R^2 = 0.9957$) et catéchine ($y = 8.63x + 0.0178$; $R^2 = 0.9957$). Les concentrations finales ont été normalisées et exprimées en mg ES/g Ex, les courbes de titrage étant détaillées en Annexe 01.

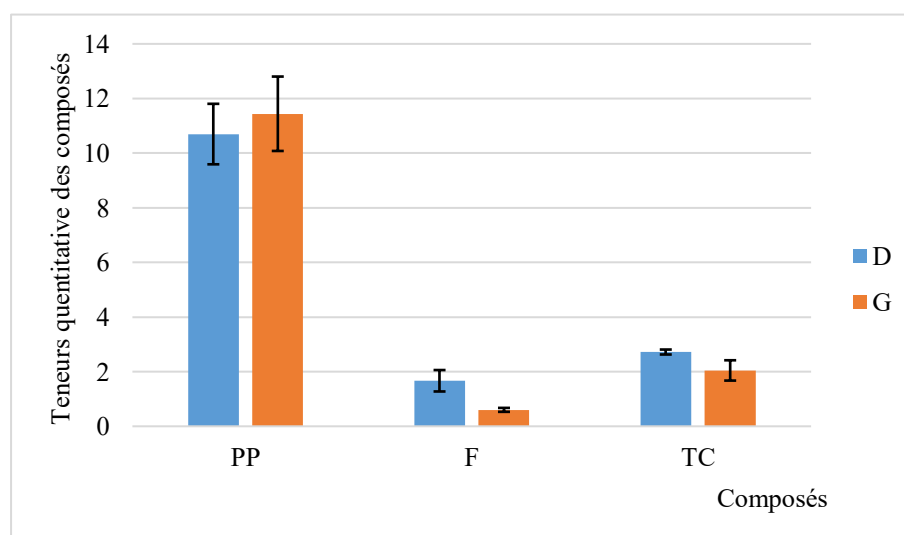


Figure 08: Teneur en composés phénoliques des différents extraits aqueux.

PP: polyphénols totaux; **F:** Flavonoides; **TC:** Tanins condensés; **D:** Deglet Nour; **G:** Ghars; Les valeurs représentent la moyenne de 3 mesures ± SD.

Comme l'illustre la Figure 08, l'analyse quantitative révèle des profils phénoliques distincts selon la variété étudiée. En ce qui concerne les polyphénols totaux, l'extrait de la variété Ghars affiche une teneur supérieure à celle de Deglet Nour, atteignant 11.442 ± 1.362 mg EAG/g Ex contre 10.699 ± 1.107 mg EAG/g Ex. À l'inverse, la variété Deglet Nour se distingue par une richesse plus marquée en flavonoïdes et en tanins condensés, avec des teneurs respectives de 1.667 ± 0.392 mg EQ/g Ex et 2.719 ± 0.091 mg EC/g Ex, dépassant ainsi les valeurs enregistrées pour la variété Ghars.

L'analyse comparative des teneurs en polyphénols totaux obtenues dans cette étude avec la littérature scientifique révèle des divergences quantitatives notables, illustrant l'influence cruciale du génotype et de l'origine géographique. Nos valeurs (10.699 à 11.442 mg EAG/g) sont nettement supérieures à celles rapportées par Al-Farsi et *al.* (2007) pour des variétés omanaises (3.102 – 4.430 mg EAG/100 g MS). Par ailleurs, nos résultats s'insèrent dans la limite inférieure de la gamme établie par Ardekani et *al.* (2010) pour des variétés iraniennes (3.81 à 36.58 mg EAG/g Ex). Comparativement aux travaux d'El-Rahman et Al-Mulhem (2014) sur des cultivars d'Arabie Saoudite (7.30 mg EAG/g), nos extraits affichent une concentration plus élevée. Toutefois, ces teneurs restent en deçà de celles identifiées par Mistrello et *al.* (2014) pour des variétés d'Afrique du Nord, notamment «Deglet Nour», pour laquelle des concentrations variant entre 20.58 et 29.83 mg EAG/g ont été enregistrées. À l'instar des polyphénols, la concentration en flavonoïdes montre une variabilité significative. Nos résultats (1.18 à 1.66 mg EQ/g Ex) s'alignent avec les travaux de Masmoudi-Allouche et *al.* (2016) sur des variétés tunisiennes (1.18 à 14.5 mg/g MS). Cependant, nos valeurs demeurent inférieures à celles rapportées par El-Mergawi et *al.* (2016) en Arabie Saoudite (8.4 à 71.8 mg/g) ainsi qu'aux résultats de Rijami et *al.* (2020) (12.83 mg/g). La comparaison des teneurs en tanins révèle également une hétérogénéité marquée. Nos données (2.03 à 2.71 mg EC/g Ex) contrastent avec plusieurs études de référence; elles sont inférieures aux concentrations rapportées par Al-Harasi et *al.* (2014) (6.5 à 9.8 mg EC/g MS) et par Amani et Shaker (2018) en Égypte (7.2 à 8.9 mg/g). De même, nos valeurs se situent en dessous de la moyenne enregistrée dans une variété soudanaise (7.5 mg EC/g MS). À l'inverse, nos résultats s'avèrent relativement plus élevés que les moyennes documentées par Mohammed et *al.* (2020).

Les différences observées sont attribuées à une interaction complexe de facteurs intrinsèques et extrinsèques. D'une part, le stade de maturité physiologique joue un rôle primordial; la concentration en métabolites secondaires, particulièrement les fractions phénoliques, tend à décroître lors de la maturation. Ce phénomène est souvent associé à l'oxydation enzymatique ou à la polymérisation des monomères au cours du développement du fruit. D'autre part, l'efficacité de la solubilisation des molécules bioactives est étroitement tributaire des protocoles d'extraction, où la polarité des solvants et les technologies employées (notamment la macération assistée par ultrasons vs la macération conventionnelle) modulent significativement les rendements obtenus. Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle cette distribution est finement régulée par le binôme génotype-environnement. En effet, si le patrimoine génétique fixe le potentiel de biosynthèse, les facteurs pédoclimatiques (tels que le stress hydrique et les fluctuations thermiques) et les pratiques culturales (irrigation,

fertilisation) agissent comme des modulateurs environnementaux cruciaux, dictant la composition chimique finale des semences.

Sur le plan biochimique, les tanins identifiés dans les noyaux de dattes sont majoritairement des tanins condensés (proanthocyanidines). Ces polymères phénoliques revêtent une importance biologique capitale; outre leur contribution à l'astringence, ils confèrent une robustesse accrue face à la biodégradation (Al-Farsi & Lee, 2008). En formant des complexes stables avec les protéines et les polysaccharides cellulaires, ils érigent une barrière chimique protectrice, préservant ainsi l'intégrité de l'embryon contre les agressions microbiennes durant la phase de dormance (Hussain *et al.*, 2023).

Enfin, la divergence observée entre nos valeurs et celles de la littérature (ex. Al-Farsi *et al.*, 2007; Mistrello *et al.*, 2014) souligne la nature multifactorielle de ces métabolites. Comme l'ont souligné Hmidani *et al.* (2020), la charge phénolique est le produit d'une synergie entre la variabilité inter-variétale et les paramètres techniques intrinsèques au processus d'extraction, tels que le ratio solide-liquide, la température et le temps de contact. Cette hétérogénéité confirme la nécessité de standardiser les méthodes d'analyse pour une meilleure comparaison inter-études.

2. Évaluation du pouvoir antioxydant *in vitro*

L'évaluation du potentiel antioxydant des extraits aqueux de noyaux de dattes (D et G) ainsi que de leurs dérivés carbonés (CDs D et CDs G) constitue une étape fondamentale dans la caractérisation de leur bioactivité. À cette fin, deux méthodes complémentaires basées sur des mécanismes d'action distincts ont été mises en œuvre : le test de piégeage du radical libre DPPH et le test du pouvoir réducteur ferrique (FRAP). L'ensemble des résultats est consigné dans le Tableau 02.

Tableau 02 : Évaluation comparative des capacités antioxydantes (IC_{50} et $EC_{0.5}$) des extraits de noyaux de dattes et de leurs dérivés (CDs) par les tests DPPH et FRAP.

Extraits	Test	DPPH	FRAP
		IC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)	$EC_{0.5}$ ($\mu\text{g/mL}$)
D		102.543 $\pm$ 0.716***	235.067 $\pm$ 1.041***
G		115.143 $\pm$ 1.407***	263.590 $\pm$ 1.157***
CDs D		139.834 $\pm$ 0.894***	241.65 $\pm$ 1.163***
CDs G		195.318 $\pm$ 0.439***	301.6466 $\pm$ 0.564***
A As		21.397 $\pm$ 0.330	21.217 $\pm$ 0.974

D: Deglet Nour; **G:** Ghars; **CDs D:** Carbon Dots Deglet Nour; **CDs G:** Carbon Dots de Ghars; **A As:** acide ascorbique ; Les valeurs représentent la moyenne de 3 mesures $\pm$ SD ; ***: $p < 0.001$

Le test DPPH est largement plébiscité dans la littérature pour sa sensibilité et sa rapidité de mise en œuvre, permettant une évaluation directe de la capacité de transfert d'atomes

d'hydrogène ou d'électrons par les composés antioxydants. L'activité antioxydante est exprimée par la valeur IC_{50} , définie comme la concentration nécessaire pour inhiber 50% du radical DPPH; ainsi, une valeur IC_{50} faible est corrélative d'une activité antiradicalaire élevée (Brand-Williams et *al.*, 1995).

L'analyse des résultats du Tableau 02 révèle, sans surprise, que l'acide ascorbique, utilisé comme témoin positif, présente l'activité la plus puissante avec une IC_{50} de 21.397 ± 0.330 $\mu\text{g/mL}$. Parmi les échantillons de noyaux de dattes, l'extrait aqueux de la variété D manifeste l'activité la plus significative ($IC_{50} = 102.543 \pm 0.716$ $\mu\text{g/mL}$), suivi par l'extrait de la variété G ($IC_{50} = 115.143 \pm 1.407$ $\mu\text{g/mL}$). Concernant les dérivés carbonés, on observe une augmentation notable des valeurs IC_{50} , traduisant une diminution de l'activité antiradicalaire par rapport aux extraits d'origine, atteignant 139.834 ± 0.894 $\mu\text{g/mL}$ pour les CDs D et 195.318 ± 0.439 $\mu\text{g/mL}$ pour les CDs G.

Parallèlement, le pouvoir réducteur des extraits a été déterminé par la méthode FRAP. Ce test est basé sur la capacité des composés antioxydants à réduire le complexe ferrique (Fe^{3+}) en complexe ferreux (Fe^{2+}), cette réduction étant corrélée à l'apparition d'une coloration bleue de Prusse mesurable par spectrophotométrie. Les résultats sont exprimés en $EC_{0.5}$, correspondant à la concentration nécessaire pour obtenir une absorbance de 0.5 (Benzie et Strain, 1996).

En accord avec les observations faites pour le test DPPH, l'extrait de la variété D et son dérivé carboné (CDs D) affichent un pouvoir réducteur supérieur (Tableau 02), avec des valeurs $EC_{0.5}$ respectives de 235.067 ± 1.041 $\mu\text{g/mL}$ et 241.65 ± 1.163 $\mu\text{g/mL}$. Ces concentrations sont inférieures à celles mesurées pour l'extrait G (263.590 ± 1.157 $\mu\text{g/mL}$) et son dérivé CDs G (301.6466 ± 0.564 $\mu\text{g/mL}$). Il est à noter que l'acide ascorbique conserve son hégémonie avec une $EC_{0.5}$ de 21.217 ± 0.974 $\mu\text{g/mL}$. Globalement, ces résultats démontrent que les extraits de noyaux de dattes et leurs dérivés CDs possèdent une activité antiradicalaire et un pouvoir réducteur statistiquement significatifs.

Comparativement aux données de la littérature, les résultats obtenus s'inscrivent dans une dynamique de cohérence avec les travaux de Bouhlali et *al.* (2015), qui ont rapporté pour l'extrait hydrométhanolique de noyaux de dattes une IC_{50} variant entre 0.112 à 0.166 g/L. Toutefois, une analyse comparative avec l'étude de Masmoudi-Allouche et *al.* (2016), portant sur des extraits méthanol-acétate d'éthyle de quatre variétés tunisiennes (Deglet Nour, Ruchdi, Ftimi et Kentichi), révèle que leurs échantillons affichent une efficacité supérieure. En effet, leurs valeurs d' IC_{50} (31.05 - 85.31 $\mu\text{g/mL}$) sont nettement inférieures aux nôtres (102.54 à

195.31 $\mu\text{g/mL}$). Par ailleurs, nos résultats témoignent d'un potentiel biologique remarquable face aux travaux de Dhaouadi et *al.* (2011), ayant rapporté des valeurs FRAP d'environ 382.87 $\mu\text{g}/100\text{ g M}$ pour la variété Deglet Nour. En revanche, nos observations divergent des tendances publiées par Toumi et Cheriet (2017) pour la région de Ghardaïa, dont les valeurs se situaient entre 4.25 à 33.31 mmol.

La variation observée de l'activité de piégeage des radicaux libres et du pouvoir antioxydant parmi les échantillons étudiés est attribuée à leur forte corrélation positive avec la concentration en composés phénoliques et en flavonoïdes (Platat et *al.*, 2014). Les extraits présentant les teneurs les plus élevées en ces composés ont montré une activité antioxydante plus importante. Par conséquent, la conclusion selon laquelle la polarité du solvant influence la solubilité de certains composés antioxydants et l'estimation de leur activité (Thouri et *al.*, 2017) explique la comparaison avec d'autres études. La différence de type de solvant utilisé, comme le méthanol, l'acétate d'éthyle ou un extrait méthanolique aqueux, entraîne nécessairement des variations dans l'extraction des composés actifs, justifiant ainsi les différences observées dans les valeurs IC_{50} enregistrées.

Dans ce contexte, la variation des valeurs IC_{50} des CDs préparés peut être attribuée aux facteurs génétiques inhérents à chaque variété, qui déterminent la nature des voies métaboliques et la composition biochimique de la matière première, influençant ainsi les propriétés fonctionnelles du produit final. Chimiquement, ces résultats sont logiques étant donné que les points quantiques de carbone sont des structures stables qui ne perdent pas facilement d'électrons, rendant leur activité biologique dépendante des mécanismes de réaction de surface liés à la qualité du précurseur végétal (Atchudan et *al.*, 2017).

3. Détermination du facteur de protection solaire (FPS) *in vitro*

La capacité photoprotectrice des différents extraits a été évaluée par spectrophotométrie UV via la détermination de leur FPS. Les valeurs de FPS obtenues pour l'ensemble des échantillons, présentées dans la Figure 09, révèlent des variations significatives d'efficacité photoprotectrice selon la nature de l'extrait.

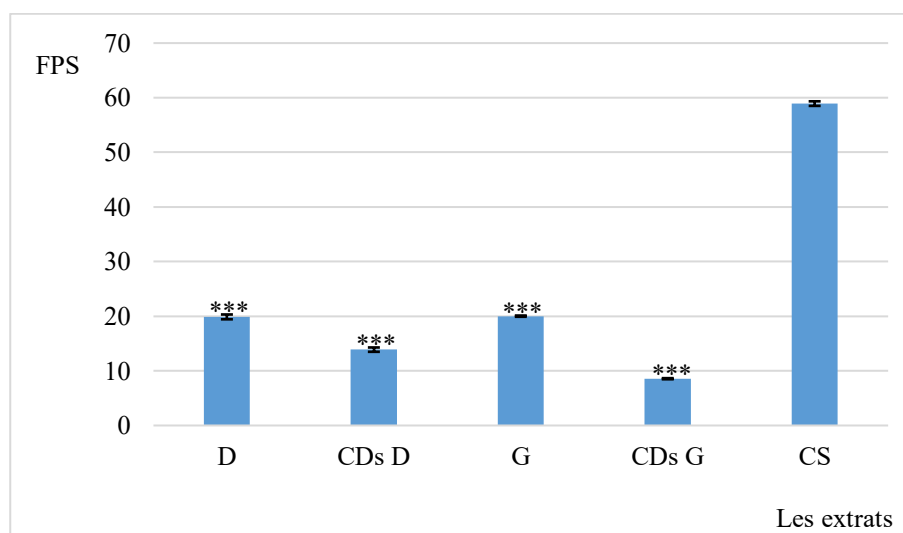


Figure 09: Comparaison des valeurs de FPS entre différents extraits.

D: Deglet Nour ; **G:** Ghars; **CDs D:** Carbon Dots Deglet Nour ; **CDs G:** Carbon Dots de Ghars; **CS:** Crème solaire (La Roch-Posay®); Les valeurs représentent la moyenne de 3 mesures ± SD ; ***: $p < 0.001$

L'analyse quantitative montre que la crème solaire de référence (CS : La Roch-Posay®) affiche, comme attendu, la valeur de protection la plus élevée avec un FPS de 58.925 ± 0.418 . En ce qui concerne les extraits de noyaux de dattes, les extraits aqueux bruts des variétés G et D présentent des valeurs de FPS intermédiaires, s'élevant respectivement à 20.014 ± 0.109 et 19.880 ± 0.438 . À l'inverse, les dérivés carbonés (CDs) manifestent une efficacité photoprotectrice moindre, avec un FPS de 13.884 ± 0.395 pour les CDs D et la valeur la plus faible enregistrée pour les CDs G (8.564 ± 0.099). L'analyse statistique corrobore ces observations, indiquant des différences hautement significatives ($p < 0,001$) entre les valeurs de FPS de tous les échantillons étudiés.

Tableau 03: Classification normalisée des niveaux de SPF.

Catégorie étiquetée	Valeur SPF référence
Protection faible	4-14
Protection moyenne	15-29
Haute protection	30-59
Très haute protection	≥ 60

ISO 24444 (2019)

En se référant à la classification standardisée présentée dans le Tableau 03, et sur la base des résultats expérimentaux de la Figure 09, le pouvoir photoprotecteur de chaque extrait a été catégorisé. Il ressort que les deux extraits aqueux bruts de noyaux de dattes (D et G) se situent dans la catégorie «Protection moyenne». En revanche, les dérivés carbonés (CDs D et CDs G)

se classent dans la catégorie «Protection faible». L'extrait de référence (CS) conserve son statut de «Haute protection».

Le classement final des échantillons par ordre croissant d'efficacité photoprotectrice s'établit comme suit:

$$\text{CDs G} < \text{CDs D} < \text{D} \approx \text{G} < \text{CS}.$$

L'indice de protection solaire (FPS) indiqué dans le tableau est basé sur la norme ISO 24444 (2019) et reflète l'efficacité biologique des composés biochimiques pour protéger les tissus cutanés des effets nocifs du rayonnement ultraviolet, notamment l'érythème solaire. Cette protection varie de faible (14 - 4) à très élevée (≥ 60) selon la capacité des groupements fonctionnels chromophores présents dans les extraits à absorber ou diffuser le rayonnement électromagnétique. Ces substances agissent comme des filtres naturels, augmentant le seuil de résistance biologique au stress oxydatif et prévenant les dommages à l'ADN cellulaire. Par conséquent, un FPS élevé est un indicateur direct de la richesse des échantillons en composés bioactifs aux propriétés photoprotectrices.

4. L'activité anti-inflammatoire

Afin d'obtenir une caractérisation exhaustive du profil bioactif des extraits de noyaux de dattes (D, G) et de leurs points de carbone dérivés (CDs D, CDs G), deux modèles *in vitro* complémentaires ont été mis en œuvre. Le premier a évalué le potentiel anti-inflammatoire via la capacité à inhiber la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA). Le second a examiné l'activité de stabilisation membranaire à travers un test d'hémolyse induite sur des globules rouges humains. L'ensemble des résultats quantitatifs est consigné dans le Tableau 04.

Tableau 04: Évaluation de l'activité anti-inflammatoire *in vitro* des différents extraits par les tests de la dénaturation thermique de la BSA et de l'inhibition de l'hémolyse.

Test Extraits	Inhibition de la dénaturation de BSA (IC ₅₀ : mg/mL)	Inhibition totale de l'hémolyse (%)
D	34.049±0.272***	61.947±0.104***
G	43.459±0.272***	63.357±0.102***
CDs D	40.186±0.186***	65.802±0.120***
CDs G	56.440±0.304***	67.099±0.580***
Acide salicylique	/	74.355±0.358
Aspirine	4.517±0.049	/

D: Deglet Nour ; **G:** Ghars; **CDs D:** Carbon Dots Deglet Nour ; **CDs G:** Carbon Dots de Ghars; Les valeurs représentent la moyenne de 3 mesures $\pm$ SD ; ***: $p < 0.001$

L'analyse intégrée des données révèle une concordance intéressante entre les deux tests pour la majorité des échantillons. En ce qui concerne l'activité anti-inflammatoire (Tableau 04),

les résultats, exprimés en concentration inhibitrice médiane (IC_{50}), montrent que l'extrait aqueux brut de la variété D affiche l'efficacité la plus remarquable parmi les extraits bruts, avec une IC_{50} de 34.049 ± 0.272 mg/mL. Cette performance est supérieure à celle de l'extrait de la variété G ($IC_{50} = 43.459 \pm 0.272$ mg/mL). De manière correspondante, dans le test de stabilisation membranaire à une concentration de 500 μ g/mL, l'extrait G montre un pourcentage d'inhibition de l'hémolyse légèrement supérieur (63.357 ± 0.102 %) par rapport à l'extrait D (61.947 ± 0.104 %).

Quant à l'impact de la dérivation carbonée, une divergence de tendance notable est observée entre les deux modèles. Pour l'activité anti-inflammatoire (BSA), les dérivés CDs D conservent une efficacité supérieure à celle de leurs homologues CDs G, avec une IC_{50} de 40.186 ± 0.186 mg/mL contre 56.440 ± 0.304 mg/mL. À l'inverse, pour la stabilisation membranaire (hémolyse), les dérivés CDs D et CDs G manifestent une efficacité encore accrue par rapport à leurs extraits aqueux parents respectifs, atteignant 65.802 ± 0.120 % et 67.099 ± 0.580 % respectivement.

Bien que les valeurs enregistrées pour l'aspirine ($IC_{50} = 4.517 \pm 0.049$ mg/mL pour BSA) et l'acide salicylique (74.355 ± 0.358 % pour hémolyse), utilisés comme témoins positifs, confirment leur hégémonie thérapeutique, cette étude intégrée démontre que les extraits de noyaux de dattes, et plus particulièrement leurs dérivés CDs, possèdent un fort potentiel en tant qu'agents anti-inflammatoires et stabilisateurs de membrane non cytotoxiques. L'analyse statistique rigoureuse (Tableau 03) corrobore que toutes ces différences d'activité sont hautement significatives ($P < 0.001$) entre tous les échantillons testés (Voir également l'annexe n° 2).

Ces résultats ont été comparés à ceux d'études antérieures, notamment celles de Sasikumar et *al.* (2015) et de Bouhlali et *al.* (2017), qui ont mis en évidence une différence dans les valeurs d' IC_{50} . Ces valeurs allaient respectivement de 40 à 65 μ g/mL et de 105 à 215 μ g/mL. Cette différence pourrait être principalement due à la nature des extraits utilisés (extraits ou nanoparticules) et au type de solvant (eau distillée dans notre étude, afin d'assurer la solubilité des composés phytochimiques).

Malgré la variation des valeurs numériques, les résultats confirment sans équivoque le potentiel anti-inflammatoire de ces substances et leur capacité à prévenir les modifications structurales des protéines susceptibles d'exposer des sites antigéniques pouvant déclencher des cascades inflammatoires.

Cette activité biologique est attribuée à la capacité des composés actifs et des nanoparticules de carbone (CDs) à stabiliser la membrane en se liant aux complexes protéiques et lipidiques de la membrane cellulaire. Ceci renforce sa stabilité structurale face aux contraintes thermiques et chimiques et prévient les fuites d'hémoglobine, un mécanisme qui imite l'action des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) en inhibant la libération de médiateurs inflammatoires. De plus, les CDs nanostructures présentent des performances supérieures aux extraits bruts, ce qui indique que la nanostructure améliore l'efficacité de l'interaction spécifique avec la bicouche phospholipidique de la membrane.

Cette étude confirme que les matériaux testés, qu'il s'agisse d'extraits bruts ou de dérivés nanométriques, présentent une activité inhibitrice de la dénaturation des protéines induite par la chaleur et les agents chimique, dépendante de la concentration. Ces résultats suggèrent que les composés bioactifs présents dans ces plantes possèdent un potentiel anti-inflammatoire. Cela renforce l'intérêt de les utiliser pour développer de nouveaux agents thérapeutiques anti-inflammatoires.

5. Activité antibactérienne

5.1. L'activité antibactérienne via la technique de diffusion en puits

L'activité antibactérienne des extraits aqueux de noyaux de dattes (D et G) ainsi que de leurs points quantiques de carbone dérivés (CDs D et CDs G) a été évaluée contre deux souches bactériennes distinctes: *E. coli* et *S. aureus*, en utilisant la méthode de diffusion en puits sur gélose. L'objectif principal de ce test était de déterminer le profil de sensibilité ou de résistance de ces souches vis-à-vis des agents testés. Bien que des concentrations de 10, 20, 40 et 80 mg/mL aient été testées, seuls les résultats obtenus à la concentration la plus élevée (80 mg/mL), ainsi que ceux des témoins, sont consignés dans le Tableau 05, car ils représentent l'activité maximale observée.

Tableau 05: Activité antibactérienne des extraits aqueux et de leurs points quantiques de carbone dérivés.

Ex	Zone d'inhibition (mm)					
	D	G	CDs D	CDs G	Gentamicine	DMSO
	80 mg/mL				1 mg/mL	1 %
<i>E. Coli</i>	12	NI	NI	NI	20	NI
<i>S. aureus</i>	19	11	NI	NI	16	NI

Ex: Les extraits; **SB:** Les souches Bactériennes; **NI:** Non Inhibition; **D:** Deglet Nour; **G:** Ghars; **CDs D:** Carbon Dots Deglet Nour; **CDs G:** Carbon Dots de Ghars.

Les résultats synthétisés dans le Tableau 05 révèlent une variabilité marquée de l'activité antibactérienne entre les extraits bruts (D et G) et leurs dérivés nanostructurés (CDs D et CDs G) à la concentration de 80 mg/mL. L'extrait brut D a manifesté un spectre d'action plus large, avec des zones d'inhibition de 12 mm contre *E. coli* et 19 mm contre *S. aureus*. À l'inverse, l'extrait G a montré une spécificité sélective envers la souche à Gram positif, enregistrant une zone de 11 mm, tandis qu'aucune activité (NI) n'a été décelée face à *E. coli*. De manière notable, les points de carbone nanostructurés (CDs) n'ont induit aucune inhibition (NI) vis-à-vis des deux souches testées à cette concentration.

Concernant les témoins, la gentamicine (1 mg/mL) a affiché l'efficacité la plus élevée contre *E. coli* (20 mm). Toutefois, il est intéressant de noter que l'extrait D a surpassé l'antibiotique de référence contre *S. aureus*, avec un diamètre d'inhibition supérieur (19 mm contre 16 mm). Par ailleurs, le témoin négatif, le DMSO (1%), n'a exercé aucun effet sur la croissance des souches bactériennes étudiées.

Ces résultats soulignent que l'efficacité antimicrobienne des extraits varie significativement selon la variété de datte. L'activité marquée observée à 80 mg/mL pourrait être attribuée à la nature et à la concentration des principes actifs présents dans les noyaux, ainsi qu'aux caractéristiques structurales des micro-organismes ciblés. Ces observations sont en accord avec les travaux de Cowan (1999) soulignant l'impact crucial de la matrice biologique sur l'activité antimicrobienne.

5.2. La CMI et de la CMB des extraits et des CDs dérivés contre des souches bactériennes de référence

Suite au criblage préliminaire, une évaluation quantitative a été réalisée pour déterminer les concentrations minimales inhibitrices (CMI) et concentrations minimales bactéricides (CMB) des extraits bruts (D et G) et de leurs points de carbone dérivés (CDs D et CDs G). Les résultats, consignés dans le Tableau 06, révèlent, de manière générale, des valeurs de CMI et CMB élevées pour la majorité des échantillons testés, souvent supérieures au seuil de 80 mg/mL.

Tableau 06: Évaluation *in vitro* de CMI, CMB et détermination de l'effet bactéricides des extraits bruts et des nano-dérivés contre quatre souches bactériennes.

Ex	SB	<i>E. Coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>	<i>S. subtilis</i>
CMI (mg/mL)	D	40±0.00	>80±0.00	40±0.00	>80±0.00
	G	40±0.00	>80±0.00	40±0.00	>80±0.00
	CDs D	>80±0.00	>80±0.00	>80±0.00	>80±0.00
	CDs G	>80±0.00	>80±0.00	80±0.00	>80±0.00

CMB (mg/mL)	D	40±0.00	>80±0.00	40±0.00	>80±0.00
	G	40±0.00	>80±0.00	40±0.00	>80±0.00
	CDs D	>80±0.00	>80±0.00	>80±0.00	>80±0.00
	CDs G	>80±0.00	>80±0.00	80±0.00	>80±0.00
CMB/CMI	D	1	ND	1	ND
	G	1	ND	1	ND
	CDs D	ND	ND	ND	ND
	CDs G	ND	ND	1	ND
Effet Antibactérien	D	Bactéricide	-	Bactéricide	-
	G	Bactéricide	-	Bactéricide	-
	CDs D	-	-	-	-
	CDs G	-	-	Bactéricide	-

ND: non déterminé; Ex: Les extraits; SB: Les souches Bactériennes; D: Deglet Nour ; G: Ghars; CDs D: Carbon Dots Deglet Nour ; CDs G: Carbon Dots de Ghars.

Au vu des résultats présentés dans le tableau ci-dessus, les dérivés nanostructurés ont manifesté une activité antibactérienne limitée par rapport aux extraits bruts. Les CMI et CMB des CDs D ont systématiquement excédé 80 mg/mL pour l'ensemble des souches testées. Similairement, l'échantillon CDs G a présenté des valeurs de CMI et CMB > 80 mg/mL contre la quasi-totalité des souches, à l'exception notable de *S. aureus*, pour laquelle une CMI et une CMB de 80 mg/mL ont été enregistrées. À l'inverse, les extraits bruts (D et G) ont démontré un potentiel antibactérien relativement supérieur, les valeurs de CMI et de CMB se sont établies à 40 mg/mL vis-à-vis de *E. coli* et de *S. aureus*, indiquant une efficacité accrue contre ces souches spécifiques par rapport aux dérivés CDs. Néanmoins, ces extraits sont demeurés inefficaces (> 80 mg/mL) contre *P. aeruginosa* et *S. subtilis*.

De surcroît, le calcul du rapport CMB/CMI (Tableau 5) révèle un effet bactéricide des extraits D et G contre *E. coli* et *S. aureus*, caractérisé par un ratio égal à 1. Un effet bactéricide similaire (ratio = 1) a été observé pour CDs G uniquement contre *S. aureus*.

Ces résultats indiquent en évidence que des composés présents dans les extraits bruts testés ont des propriétés antibactériennes sélectives, particulièrement contre *E. coli* et *S. aureus*. Toutefois, des investigations approfondies sont requises pour élucider les mécanismes d'action et évaluer l'innocuité ainsi que l'efficacité thérapeutique de ces agents.

6. Analyse statistique

Les relations linéaires entre les différents échantillons testés, basées sur les coefficients de corrélation, sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 07: Matrice de corrélation de Pearson des variables mesurées pour les extraits bruts et les points de carbone.

	D	CDs D	G	CDs G
D	1			
CDs D	0.988	1		
G	0.999	0.989	1	
CDs G	0.974	0.996	0.977	1

D: Deglet Nour ; **G:** Ghars; **CDs D:** Carbon Dots Deglet Nour ; **CDs G:** Carbon Dots de Ghars.

L'analyse statistique des coefficients de corrélation linéaire a révélé une relation forte et significative pour toutes les combinaisons d'échantillons étudiées, les valeurs enregistrées étant très proches de 1. Ces résultats indiquent, d'une part, une grande similitude dans les tendances de variation des propriétés chimiques pour tous les échantillons. En effet, une corrélation presque parfaite a été observée entre les deux échantillons bruts (D et G), avec une valeur atteignant 0.999. De manière analogue, une forte corrélation de 0.996 a été enregistrée entre les deux types de points quantiques de carbone (CDs D et CDs G). D'autre part, les résultats mettent en évidence une forte corrélation statistique entre les extraits bruts et leurs nano-dérivés correspondants. Le coefficient de corrélation s'élève à 0.988 entre l'échantillon D et CDs D, et à 0.977 entre l'échantillon G et CDs G.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale et perspectives

La présente étude s'est assignée pour mission d'explorer le potentiel phytochimique et biologique des noyaux de deux variétés algériennes de dattes issues de la région d'El-Oued, à savoir «Deglet Nour» et «Ghars». Ce travail intègre une dimension biotechnologique novatrice via la synthèse de nanoparticules de carbone (Carbon Dots). Les résultats obtenus soulignent l'intérêt stratégique de ce sous-produit, longtemps marginalisé, en tant que source durable de biomolécules hautement bioactives.

Sur le plan phytochimique, nos analyses quantitatives ont révélé que les noyaux de dattes recèlent des teneurs remarquables en métabolites secondaires. Les concentrations en polyphénols totaux oscillent entre 10.699 ± 1.107 et 11.442 ± 1.362 mg EAG/g Ex, tandis que celles des flavonoïdes varient de 0.602 ± 0.072 à 1.667 ± 0.392 mg EQ/g Ex. Les tanins condensés, quant à eux, présentent des valeurs comprises entre 2.045 ± 0.372 et 2.719 ± 0.091 mg EC/g Ex. Bien que la variété «Deglet Nour» affiche une légère prééminence dans certains dosages, la variété «Ghars» démontre un profil bioactif tout aussi compétitif. Cela confirme que le potentiel thérapeutique de la biomasse phœnicicole ne dépend pas uniquement du prestige commercial de la variété, mais de sa complexité métabolique intrinsèque.

L'évaluation des activités biologiques a mis en évidence un pouvoir antioxydant exceptionnel, illustré par une forte capacité de piégeage du radical DPPH et une réduction notable du fer (FRAP). Par ailleurs, les extraits ont manifesté des propriétés anti-inflammatoires significatives, agissant par la stabilisation des membranes érythrocytaires et l'inhibition de la dénaturation protéique, avec des valeurs d'IC₅₀ allant de 34.049 ± 0.272 à 56.440 ± 0.304 mg/mL et un taux d'ITH % compris entre 61.947 ± 0.104 et 67.099 ± 0.580 %. Une activité antibactérienne sélective a également été observée, particulièrement marquée à l'encontre des souches à Gram positif.

L'apport le plus novateur de cette recherche réside dans la synthèse de Carbon Dots à partir de ces extraits, lesquels ont démontré une efficacité biologique accrue, notamment en termes de propriétés anti-inflammatoires et antimicrobiennes. L'analyse statistique, appuyée par la matrice de corrélation de Pearson ($R \approx 0.99$), démontre une fidélité structurelle et fonctionnelle entre les extraits bruts et leurs nano-dérivés. Cette transition vers l'échelle nanométrique ouvre des perspectives prometteuses pour la valorisation des noyaux de dattes dans des applications de pointe, telles que l'imagerie biologique ou la vectorisation de principes actifs (Drug Delivery).

En conclusion, ce travail réhabilite les noyaux de dattes en les élevant du statut de déchet agricole à celui de plateforme biochimique à haute valeur ajoutée. Afin d'étendre la portée de ces travaux, les perspectives suivantes sont envisagées:

1. Caractérisation moléculaire avancée: Approfondir l'identification des phytoconstituants par des techniques de couplage (LC-MS/GC-MS) pour élucider les molécules pivots de l'activité biologique.
2. Investigations pharmacologiques *in vivo*: Évaluer la toxicité systémique et l'efficacité thérapeutique des extraits et des Carbon Dots sur des modèles animaux.
3. Valorisation industrielle: Explorer l'intégration de ces bio-extraits comme additifs naturels dans l'industrie agroalimentaire ou comme agents actifs dans des formulations dermo-cosmétiques.
4. Optimisation nanotechnologique: Étudier les propriétés optiques et de photoluminescence des Carbon Dots pour des applications en biodétection et biosensing.

In fine, cette étude s'inscrit dans une dynamique de bioéconomie circulaire, transformant un résidu de biomasse oasienne en une ressource stratégique pour les industries pharmaceutiques et biotechnologiques.



BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographies



- 1) Al-Alawi, R. A., Al-Mashiqri, J. H., Al-Busaidi, J. S., & Al-Adawi, A. M. (2020). Nutritional and functional properties of active hydrolytic enzymes in germinating date palm seeds. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 121, 109593.
- 2) Al-Farsi, M. A., & Lee, C. Y. (2007). Phenolic profile and antioxidant capacity of date seeds (*Phoenix dactylifera* L.) water and ethanol extracts. *Food Chemistry*, 104(3), 943–947.
- 3) Al-Farsi, M. A., & Lee, C. Y. (2008). Nutritional and functional properties of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(10), 877–887.
- 4) Al-Farsi, M. A., & Lee, C. Y. (2008). Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds. *Food Chemistry*, 108(3), 977-985.
- 5) Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M., & Al-Rawahy, F. (2007). Compositional and functional characteristics of dates, date syrups, and date pits. *Food Chemistry*, 104(3), 943-953.
- 6) Al-Harasi, A., Rahman, M. S., Philip, A. K., Bouguedoura, N., & Al-Rawahi, A. (2014). Total phenolics, flavonoids, and condensed tannins of various date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Oman and Algeria. *International Journal of Food Properties*, 17(8), 1732-1744.
- 7) Alia, F., Tlili, M. L., Touati, S., Zaater, A., Sahraoui, Z., & Ba, I. (2026). Phytochemical profiling and biological activity assessment of aqueous extract from sweet pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels collected in the El Oued region, Algeria. *Acta Periodica Technologica*, (00), 7-7.
- 8) Aljazy, S., Al-Rawahi, A., & Rahman, M. S. (2019). Pharmacological properties and therapeutic potential of date palm (*Phoenix dactylifera* L.): A comprehensive review. *Journal of Ethnopharmacology*, 235, 290–304.
- 9) Al-Khaishany, N., Al-Quwaie, D. A., & Al-Amro, A. (2024). Anatomical and physiological adaptations of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) root systems under severe salinity and hyper-arid edaphic conditions. *Journal of Arid Land Agriculture*, 40(2), 115–128.
- 10) Al-Zahrani, S. S., Al-Ghamdi, A. A., & Al-Fifi, Z. I. (2022). Antioxidant defense modulation (SOD and CAT expression) by date seed extracts against lipid peroxidation and DNA damage. *Journal of King Saud University - Science*, 34(4), 101912.

- 11) Amani, F. A., & Shaker, K. H. (2018). Phytochemical screening, phenolic content, and antioxidant activity of Egyptian date palm seed extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry (Egyptian Section)*, 66(2), 112-121.
- 12) Ardekani, M. R. S., Khanavi, M., Hajimahmoodi, M., Jahani, M., & Kudatova, S. (2010). Comparison of antioxidant activity and total phenolic compounds of Iranian date palm cultivars. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 9(2), 141-146.



- 13) Baliga, M. S., Baliga, B. R. V., Kandathil, S. M., Bhat, H. P., & Vayalil, P. K. (2011). A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Research International*, 44(7), 1812–1822.
- 14) Belarbi, A., Ayachi, A., & Chafia, M. (2000). Techno-functional properties, hardness, and fiber cohesion of Algerian Deglet Nour dates: Structural constraints in chemical extraction. *Journal of Food Engineering*, 44(2), 89–96.
- 15) Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
- 16) Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C., Lognay, G., Drira, N. E., & Attia, H. (2004). Date seeds: Chemical composition and characteristic profiles of the lipid fraction of two Tunisian cultivars (Deglet Nour and Allig). *Food Chemistry*, 84(4), 577–584.
- 17) Bouaziz, M., Ammar, I., & El-Feki, A. (2021). Agro-industrial by-products in Algeria: Phytochemical screening and valorization of date seeds (*Phoenix dactylifera* L.) in the circular economy. *Waste and Biomass Valorization*, 12(4), 1845–1859.
- 18) Bouhlali, E. d. T., Alem, C., Milenkovic, D., Gainche, M., Niang, M., Bamni, J., & Rock, E. (2017). Evaluation of antioxidant, anti-hemolytic and anti-inflammatory activities of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Morocco. *International Journal of Food Properties*, 20(sup3), S2877-S2888.
- 19) Bouhlali, E. D. T., Bammou, M., Sellam, K., Benlyas, M., & Alem, C. (2021). Antimicrobial, anti-inflammatory, and cellular anti-aging properties of extracts from Moroccan date palm seeds. *Journal of Ethnopharmacology*, 273, Article 113948.
- 20) Bouhlali, E. d. T., Ramchoun, M., Alem, C., Ghaffari, H., Alorigeli, S., & El Khyat, Z. (2015). Functional composition, antioxidant and anti-hemolytic activities of some Moroccan date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(4), 348-354.

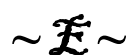
- 21) Bouhlali, E. D. T., Ramchoun, M., Alem, C., Ghafoor, K., & Ennassir, J. (2020). Comparative lipid profile and fatty acid composition of Ghars and Deglet Nour date seed oil fractions. *Grasas y Aceites*, 71(3), e369.
- 22) Bouhlali, E. d. T., Ramchoun, M., Alem, C., Ghafoor, K., Ennassir, J., & Zegzouti, Y. F. (2021). Functional properties, antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial activities of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seed extracts. *Journal of Food Biochemistry*, 45(3), e13649.
- 23) Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.



- 24) Chase, M. W., Christenhusz, M. J., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S. & Stevens, P. F. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical journal of the Linnean Society*, 181(1), 1-20.
- 25) Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582.



- 26) Dhaouadi, F., Belkhodja, S. M., Akrimi, B., & Boukhchina, S. (2011). Physicochemical characteristics and antioxidant activity of some Tunisian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties. *International Journal of Food Properties*, 14(6), 1210-1221.
- 27) Djenotin N, T. S., Dangou, J., Wotto, V. D., DjenotinN, T. S., Dangou, J., Wotto, V. D., Sohounlhoue, D. K. C., Lozano, P., & Pioch, D. (2006). Composition en acides gras, sterols et tocopherols de l'huile végétale non conventionnelle extraite des noyaux de *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) du Benin. *Journal-Societe Ouest Africaine De Chimie*, 22, 59.
- 28) Djenotin, T. S., Wotto, V. D., Avlessi, F., Lozano, P., & Sohounlhoue, D. K. (2006). Physico-chemical characterization and tocopherol composition of vegetable oils extracted from specific arid seeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 83(9), 775–781.

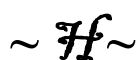


- 29) El-Mergawi, R. A., Al-Humaid, A. I., & El-Shafei, A. A. (2016). Total phenolics, flavonoids, and antioxidant capacity of various date palm cultivars grown in Saudi Arabia. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1523-S1529.

- 30) El-Mergawi, R., Al-Harhi, M., & El-Anany, A. (2016). Characterization of phenolic acids (ferulic, caffeine, gallic) in date palm seeds using HPLC-DAD. *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 34–41.
- 31) El-Rahman, A. A., & Al-Mulhem, A. S. (2014). Quantitative determination of total phenolic and flavonoid contents in Saudi Arabian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds. *Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 155-162.



- 32) Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., & Charrouf, Z. (2021). Chemical composition, physicochemical properties, and oxidative stability of date seed oil (*Phoenix dactylifera* L.). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, Article 101962.
- 33) Ghnimi, S., Al-Shagali, A., Al-Mamary, M., & Karama, R. (2023). Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds: A rich source of bioactive compounds with multiple industrial applications - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 133, 45–62.
- 34) Ghnimi, S., Umer, S., Karim, A., & Kamal-Eldin, A. (2019). Date fruit and seed (*Phoenix dactylifera* L.): An overview of biochemical, nutritional, and industrial applications. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1626–1643.
- 35) Gros-Balthazard, M., Battesti, V., Ivorra, S., & Newton, C. (2023). Xerophytic adaptations and structural optimization of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaflets under intense solar radiation. *Frontiers in Plant Science*, 14, 105432.
- 36) Gros-Balthazard, M., Flowers, J. M., Groen, S. C., Olivos, S., & Purugganan, M. D. (2018). The developmental and evolutionary genomics of date palm domestication and selection. *Nature Communications*, 9(1), 398–412.



- 37) Hamada, J. S., Hashim, I. B., & Sharif, F. A. (2002). Preliminary evaluation of the chemical composition and dietary fiber content of date seeds. *Food Chemistry*, 76(2), 135–142.
- 38) Hazzouri, K. M., Flowers, J. M., Visser, H. J., & Khierallah, H. S. (2019). Whole-genome resequencing reveals the evolutionary history and ecological resilience of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Molecular Ecology*, 28(15), 3465–3482.
- 39) Hazzouri, K. M., Gros-Balthazard, M., Flowers, J. M., & Purugganan, M. D. (2022). Genomic insights into the stipe vascular system and carbohydrate storage dynamics of the date palm during prolonged drought. *New Phytologist*, 233(4), 1845–1859.

- 40) Hmidani, A., Bouhlali, E. d. T., Khouya, T., Ramchoun, M., & Alem, C. (2020). Quantification of caffeic acid and related hydroxycinnamic derivatives in Moroccan date palm cultivars. *Vegetable Crops Research Bulletin*, 86(1), 45–56.
- 41) Hmidani, A., Bouhlali, E. d. T., Ramchoun, M., & Alem, C. (2020). Genotype and environmental effects on the physicochemical properties and bioactive compounds of date palm seeds. *Scientia Horticulturae*, 272, 109559.
- 42) Hussain, A., Khan, M. A., Muhammad, Z., & Ali, S. (2023). Structuring and protective role of biopolymers (cellulose, hemicellulose, tannins) in the date seed embryo against microbial and environmental stresses. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242(Pt 2), 124911.
- 43) Hussain, M. I., Farooq, M., & Al-Ghamdi, A. A. (2023). Secondary metabolites in date palm seeds: Condensed tannins and their biological roles in seed dormancy and antimicrobial defense. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 432-445.

~ J ~

- 44) Idoui, T., & Benamara, S. (2022). Mechanical extraction yields and morphological tenderness of Algerian date cultivars: A comparative study between Ghars and Deglet Nour seeds. *Algerian Journal of Bioscience*, 3(1), 12–19.

~ L ~

- 45) Jaganathan, G. K., Baeshen, M., & Liu, B. (2018). The role of date palm tree in circular economy and sustainable desert agro-ecosystems. *Science of the Total Environment*, 639, 1221–1232.

~ M ~

- 46) Mansur, J. D. S., Breder, M. N. R., Mansur, M. C. D. A., & Azulay, R. D. (1986). Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. *Brasileiros de Dermatologia*, 121-124.
- 47) Maqboul, A., El-Moussaoui, A., & Bourhia, M. (2024). Genotype-environment interactions and extraction optimization modulating the phenolic profile of date (*Phoenix dactylifera* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, 210, 117–129.
- 48) Maqsood, S., Adiamo, O., Ahmad, M., & Mudgil, P. (2020). Bioactive compounds from date palm seeds: Anti-inflammatory, anti-diabetic (alpha-amylase inhibition), and agro-food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 220–234.

- 49) Masmoudi-Allouche, F., Souli, I., Majdoub, H., El Feki, A., & Allouche, N. (2016). Phytochemical profile and antioxidant activity of different varieties of Tunisian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds. *Industrial Crops and Products*, 94, 742-749.
- 50) Masmoudi-Allouche, F., Touati, S., & Elfeki, A. (2016). Phytochemical profiling and comparative evaluation of total flavonoids in Tunisian date palm by-products. *Industrial Crops and Products*, 89, 214-222.
- 51) Messaoudi, M., Bensegueni, A., & Rebiai, A. (2013). Phytochemical screening and determination of gallic acid concentration in the seeds of Algerian date palm varieties. *Arabian Journal of Chemistry*, 6(3), 289–295.
- 52) Mistrello, J., Sforza, S., & Galaverna, G. (2014). Phenolic profile and antioxidant capacity of North African date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds: A comparative study of 'Deglet Nour' and local varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 34(1), 56-64.
- 53) Mohammed, S. O., Al-Amin, M. A., & Nour, A. A. (2020). Assessment of bioactive components and condensed tannins in Sudanese date palm cultivars. *Sudan Journal of Science and Technology*, 21(1), 88-97.
- 54) Mrabet, A., Jiménez-Araujo, A., Guillén-Bejarano, R., Rodríguez-Arcos, R., & Sindic, M. (2020). Date seeds (*Phoenix dactylifera* L.) as a promising source of dietary fiber and prebiotic compounds for gut microbiota. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 22, Article 100214.
- 55) Munier, P. (1973). *Le palmier-dattier: Écologie, production et traitement*. G.-P. Maisonneuve & Larose. Paris, France.



- 56) Naeem, M., Khan, M. M., & Nasir, M. (2020). Carbon sequestration potential and oasis microclimate effects of *Phoenix dactylifera* L. in arid ecosystems: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 22145–22160.
- 57) Nehdi, I., Omri, S., Khalil, M. I., & Al-Resayes, S. I. (2010). Characteristics and chemical composition of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds and seed oil from Saudi Arabia. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 360–365.
- 58) Neves, M. J., & Harrison, B. L. (2023). Structural complexity of date palm seed polysaccharides and lipid fractions rich in oleic acid. *Food Chemistry*, 402, 134–146.



- 59) Oihabi, A. (1991). Étude du système racinaire du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et de sa colonisation par les endomycorhizes à vésicules et arbuscules. Thèse de Doctorat. Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.
- 60) Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 44 (6), 307-315.



- 61) Platat, C., Habib, H. M., Al Maqbali, F. D., Jaber, N. N., & Ibrahim, W. H. (2014). Antioxidant and antimicrobial activities of Emirati date pit extracts. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(3), 322-327.
- 62) Plaza, M., Pozzo, T., & Turner, C. (2022). Comparative phytochemical analysis of date fruit pulp and seeds: Concentration gradients of phenolic acids and flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(14), 4321–4333.



- 63) Rijami, A. A., Al-Osei, K. A., & Rahman, M. S. (2020). Variation in total flavonoids and antioxidant potential of date pits from different geographical origins. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 17, 100244.



- 64) Sasikumar, V., Kalaisezhiyen, P., & Selvaraj, V. (2015). *In vitro* anti-inflammatory activity of various extracts of whole plant of *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 4(1), 105-108.
- 65) Sayre, R. M., Agin, P. P., LeVee, G. J., & Marlowe, E. (1979). A comparison of *in vivo* and *in vitro* testing of sunscreens formulas. *Photochemistry and photobiology*, 29(3), 559-566.
- 66) Sedra, M. H. (2003). Le palmier dattier au Maroc: Guide du phoeniciculteur. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Rabat, Maroc.
- 67) Sedra, M. H. (2003): Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc: techniques phoénicoles et création d'oasis. INRA Editions, 265 p.

68) Singh, A. K. J. P., Adnan, M., Patel, M., & Sasidharan, S. (2025). Green Synthesis of Eco-Friendly Fluorescent Carbon Dots from *Polyalthia longifolia* Leaves for Enhanced Photoactivated Antimicrobial Activity and Biocompatibility. Chemical Physics Impact, 100955.

~J~

69) Thouri, A., Chahdoura, H., El Arem, A., Hichri, A. O., Ben Hassin, R., & Achour, L. (2017). Effect of solvent extraction on phytochemical components and antioxidant activities of Tunisian date seeds (*Phoenix dactylifera* L.) varieties. Food Chemistry, 218, 51-57.

70) Toumi, A., & Cheriet, T. (2017). Evaluation of phytochemical composition and antioxidant activity of some date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars grown in Ghardaïa region (Algeria). Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9(2), 1011-1025.

~Z~

71) Zaid, A., & Arias-Jiménez, E. J. (Eds.). (2002). Date palm cultivation (FAO Plant Production and Protection Paper No. 156). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy.

72) Zaid, A., & Arias-Jiménez, E. J. (2021). Biological resilience of *Phoenix dactylifera* L. under extreme climate shifts: Modern agro-ecological perspectives. International Journal of Biometeorology, 65(8), 1291–1305.

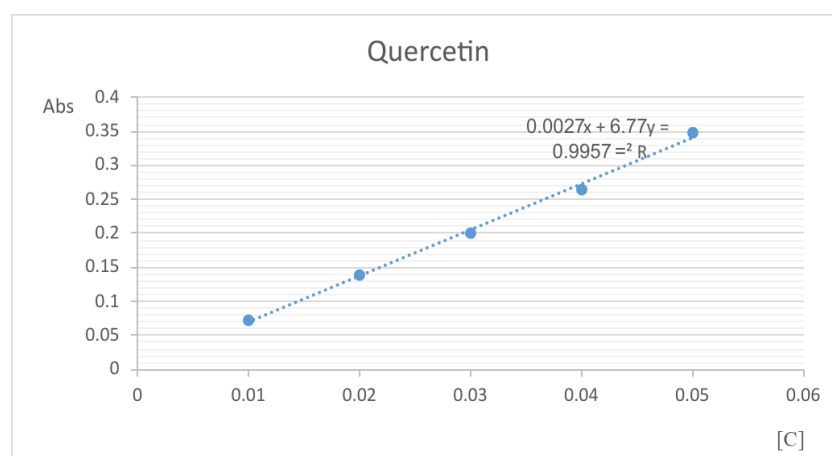
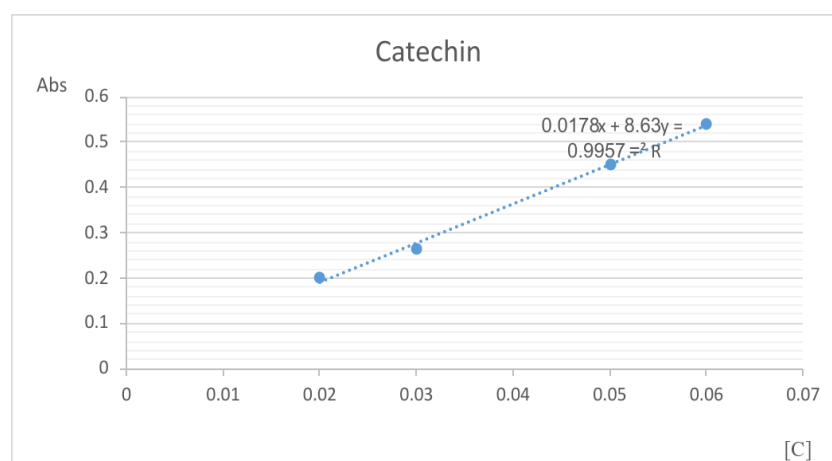
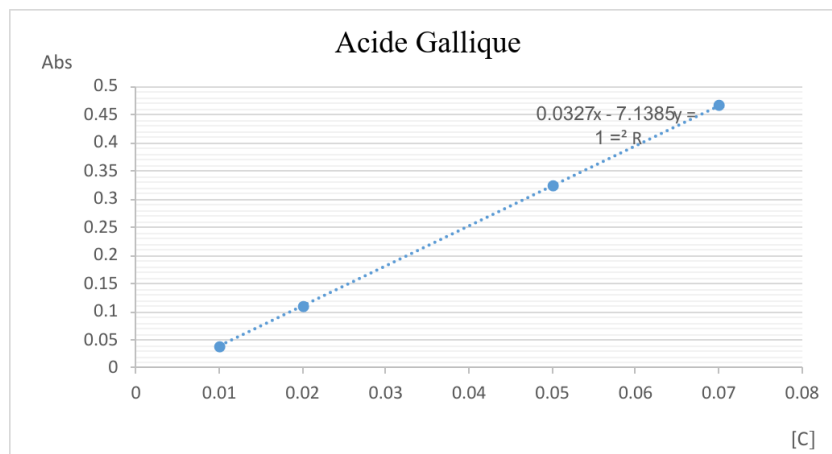
73) Zengin, G., Aktumsek, A., Guler, G. O., Cakmak, Y. S., & Yildiztugay, E. (2011). Antioxidant Properties of Methanolic Extract and Fatty Acid Composition of *Centaurea urvillei* DC. subsp. hayekiana Wagenitz. Records of Natural Products, 5(2).

74) Ziaei, S., & Harrison, B. L. (2024). *In vitro* inhibition of carbohydrate-hydrolyzing enzymes (α -amylase and α -glucosidase) by date seed polyphenols: Kinetics and molecular docking. Phytomedicine, 124, 155–168.



Annexes

Annexe n° 1 : Courbes d'étalonnage d'acide gallique à 765 nm , quercétine à 420 nm , catechin à 500 nm



Annexe n° 2 : ANOVA: Two-Factor With Replication

SUMMARY	D	CDs D	Total			
<i>DPPH</i>						
Count	3	3	6			
Sum	307.63	419.5031	727.133			
Average	102.5433	139.8344	121.1888			
Variance	0.51307	0.798935	417.7111			
<i>FRAP</i>						
Count	3	3	6			
Sum	705.2	724.95	1430.15			
Average	235.0667	241.65	238.3583			
Variance	1.084444	1.3525	13.97686			
<i>SPF</i>						
Count	3	3	6			
Sum	59.64025	41.65324	101.2935			
Average	19.88008	13.88441	16.88225			
Variance	0.191518	0.155789	10.92334			
<i>Hemolysis</i>						
Count	3	3	6			
Sum	185.841	197.407	383.248			
Average	61.947	65.80234	63.87467			
Variance	0.010864	0.014357	4.469181			
<i>Intiinflammatory</i>						
Count	3	3	6			
Sum	102.1459	120.5577	222.7036			
Average	34.04863	40.1859	37.11726			
Variance	0.073984	0.034467	11.34324			
<i>Total</i>						
Count	15	15				
Sum	1360.457	1504.071				
Average	90.69714	100.2714				
Variance	6436.033	7246.243				
ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Sample	189947.2	4	47486.81	112263.9	3.38E-43	7.096034
Columns	687.4987	1	687.4987	1625.32	1.25E-20	14.81878
Interaction	1596.16	4	399.04	943.3731	1.82E-22	7.096034
Within	8.459855	20	0.422993			
Total	192239.4	29				

