

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Aboubekr BELKAÏD Tlemcen



Faculté des sciences de la nature et de la vie, des sciences de la terre et de l'univers

Département de Biologie

Laboratoire :

Antibiotiques Antifongiques : physico-chimie, synthèse et activité biologique

Mémoire présenté par :

M^{lle} MERAHI Sara

En vue de l'obtention du

Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie

Thème

Évaluation du potentiel antioxydant et antidiabétique des extraits de dattes originaires de Ghardaïa

Soutenu le 09/10/2025, devant le jury composé de :

Présidente	Dr. MEDJDOUB H.	MCA	Université de Tlemcen
Examinatrice	Dr. ADJDIR S.	MCB	Université de Tlemcen
Encadrante	Dr. BELMIR S.	MCB	Université de Tlemcen
Co-encadrant	Dr. BELHACHEMI M.H.	MCA	Université de Ghardaïa

Année universitaire : 2025 – 2026

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leurs encouragements permanents. Ce modeste travail est le reflet de ma profonde reconnaissance et de mon affection. Que Dieu vous garde pour moi.

À mes sœurs et à mon frère, pour leur présence et leur aide tout au long de mon parcours.

À ma grand-mère, pour son amour et ses prières sincères. Qu'Allah lui accorde santé et longue vie.

À toute ma famille, proche ou éloignée, pour leur chaleur et leur soutien.

À tous ceux que j'aime.

Remerciements

Avant toute chose, je remercie **ALLAH**, Tout-Puissant, de m'avoir donné la force de persévérer et le courage de surmonter toutes les difficultés et d'achever ce travail.

Tout d'abord, j'adresse mes sincères remerciements à mon encadrante, M^{me} BELMIR Sara, Maître de conférences classe B à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Aboubekr BELKAÏD de Tlemcen, pour sa patience, sa disponibilité et surtout pour ses conseils judicieux qui m'ont accompagnée tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à M^{me} MEDJDOUB Houria, Maître de conférences classe A à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Aboubekr BELKAÏD de Tlemcen, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

Je remercie également M^{me} ADJDIR Sara, Maître de conférences classe B à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Aboubekr BELKAÏD de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont aussi à M. BELHACHEMI Mohammed Habib, Maître de conférences classe A à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Ghardaïa, qui me fait l'honneur de co-encadrer ce mémoire.

Enfin, mes remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأنشطة المضادة للأكسدة والمضادة لمرض السكري للمستخلصات المائية والسكريات المعقدة من التمر (*Phoenix dactylifera* L.) ، صنف «تدالة» من غرداية.

بلغ المردود من المستخلص المائي ومستخلص السكريات المعقدة القابلة للذوبان في الماء 1.5 ± 37.6 % و 0.9 ± 5.62 على التوالي. تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات في المختبر باستخدام اختبار تثبيط الجذر DPPH• وارجاع الحديد باختبار (FRAP) أظهرت النتائج أن المستخلص المائي والمستخلص السكريات المعقدة يمتلكان نشاطاً مضاداً للأكسدة يعتمد على التركيز، حيث أن قيمة التركيز المثبط 50% (CI_{50}) يبلغ 0.21 ± 4.22 مل/مغ و 0.01 ± 0.23 مل/مغ لاختبار DPPH• ، وبلغت قيمة التركيز الفعال 50% (CE_{50}) 0.03 ± 1.31 مل/مغ و 0.020 ± 0.57 مل/مغ لاختبار FRAP ، على التوالي.

كشف التحليل المختبري لألفا أميلاز أن كلا المستخلصين يمكنهما تثبيط الإنزيم، حيث بلغت CI_{50} 0.0036 ± 0.12 مل/مغ للمستخلص المائي و 0.0075 ± 0.25 مل/مغ للمستخلص السكريات المعقدة.

تعد نتائجنا واعدة بالنسبة لهدفنا وتشير إلى أن المستخلصات المدروسة من التمر « تدالة » يمكن أن تشكل أساساً لبحوث لاحقة تهدف إلى تطوير نهج علاجية جديدة لمرض السكري والضغط التأكسدي .

الكلمات المفتاحية: التمر « تدالة »، المستخلص المائي، السكريات المعقدة القابلة للذوبان في الماء، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد لمرض السكري .

Résumé :

Cette étude a pour objectif d'évaluer les activités antioxydantes et antidiabétiques des extraits aqueux et polysaccharidiques du fruit de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), variété « Teddala » originaire de Ghardaïa.

Les rendements obtenus de l'extrait aqueux et des polysaccharides hydrosolubles sont $37,60 \pm 1,5\%$ et $5,62 \pm 0,9\%$ respectivement. L'activité antioxydante des extraits est évaluée *in vitro* en utilisant les tests de piégeage du radical DPPH• (1,1-diphényl-2-picryl-hydrazyl) et la réduction du fer par la méthode de FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*). Les résultats ont montré que les extraits aqueux et polysaccharidiques présentaient des activités antioxydantes dépendantes de la concentration, avec des CI_{50} de $4,22 \pm 0,21\text{mg/mL}$ et $0,23 \pm 0,01\text{mg/mL}$ pour l'inhibition du radical DPPH•, et des CE_{50} de $1,31 \pm 0,030\text{mg/mL}$ et $0,57 \pm 0,020\text{ mg/mL}$ pour la réduction du fer (FRAP), respectivement.

L'évaluation de l'activité inhibitrice de l' α -amylase a révélé que les deux extraits pouvaient inhiber l'enzyme, avec des CI_{50} de $0,12 \pm 0,0036\text{mg/mL}$ pour l'extrait aqueux et de $0,25 \pm 0,0075\text{mg/mL}$ pour les polysaccharides hydrosolubles.

Nos résultats sont prometteurs par rapport à notre objectif et suggèrent que les extraits étudiés de la datte « Teddala » pourraient constituer une base pour des recherches ultérieures visant au développement de nouvelles approches thérapeutiques contre le diabète.

Mots clés : Datte « Teddala », extrait aqueux, polysaccharides hydrosolubles, activité antioxydante, activité antidiabétique.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the antioxidant and antidiabetic activities of aqueous and polysaccharide extracts obtained from the fruit of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.), « Teddala » variety from Ghardaïa.

The yields obtained from the aqueous extract and the water-soluble polysaccharide extract are $37.60 \pm 1.5\%$ and $5.62 \pm 0.9\%$, respectively. The antioxidant activity of the extracts was evaluated in vitro using the DPPH• (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging test and the FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) iron reduction test. The results showed that the aqueous extract and polysaccharide extract exhibited concentration-dependent antioxidant activities, with IC₅₀ values of $4.22 \pm 0.21\text{mg/mL}$ and $0.23 \pm 0.01\text{mg/mL}$ for the DPPH• test, and EC₅₀ values of $1.31 \pm 0.03\text{mg/mL}$ and $0.57 \pm 0.02\text{mg/mL}$ for the FRAP test, respectively. In vitro analysis of α-amylase revealed that both extracts could inhibit the enzyme, with IC₅₀ values of $0.12 \pm 0.0036\text{mg/mL}$ for the aqueous extract and $0.25 \pm 0.007\text{mg/mL}$ for the polysaccharide extract.

Our results are promising in relation to our objective and suggest that «Teddala» date extracts studied could form the basis for further research aimed at developing new therapeutic approaches to diabetes and oxidative stress.

Keywords: « Teddala » date, aqueous extract, water-soluble polysaccharides, antioxidant activity, antidiabetic activity.

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

الملخص

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction	1
Matériel et méthodes	7
1. Matériel végétal	7
2. Méthodes	8
2.1. Extraction aqueuse par macération	8
2.2. Extraction des polysaccharides hydrosolubles	8
2.3. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de la datte « Teddala »	9
2.3.1. Méthode de piégeage du 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH•)	9
a. Principe	9
b. Préparation des réactifs	10
- <i>Solution de DPPH•</i>	10
c. Protocole	10
2.3.2. Méthode de réduction du fer (Ferric ion Reducing Antioxidant Power : FRAP)	11
a. Principe	11
b. Préparation des réactifs	11
- <i>Solution tampon (0,2 M ; pH 6,6)</i>	11
- <i>Solution de ferricyanure de potassium ($K_3[Fe(CN)_6]$) à (1 %)</i>	12
- <i>Solution d'acide trichloracétique (TCA) à (10 %)</i>	12

- Solution de chlorure ferrique ($FeCl_3$) à (0,1 %)	12
c. Protocole	12
2.4. Evaluation de l'activité antidiabétique des extraits de la datte « Tedalla » par inhibition de l' α -amylase	13
2.4.1. Principe	13
2.4.2. Préparations des réactifs	13
a. Réactif d'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNSA)	13
b. Solution de l' α -amylase	13
c. Solution tampon phosphate (0,02 M ; pH=6,9)	14
d. Solution de substrat (amidon)	14
f. Solution d'acarbose	15
2.4.2. Protocole	15
Résultats et discussion	17
1. Rendement	17
2. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de la datte « Tedalla »	18
2.1. Piégeage du 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH•)	18
2.2. Réduction du fer (<i>Ferric ion Reducing Antioxidant Power</i> : FRAP)	20
3. Evaluation de l'activité antidiabétique des extraits de datte « Tedalla » par inhibition de l' α -amylase	22
Conclusion	25
Références bibliographiques	26

Liste des figures

Figure N°1: Coupe longitudinale de la datte au stade « Tamr »	4
Figure N°2: Différentes catégories de dattes, (a) Dattes molles, (b) Dattes semi-molles, (c) Dattes sèches.	5
Figure N°3: Forme de la datte «Tedalla ».....	7
Figure N°4: Mécanisme de piégeage du radical DPPH• par un antioxydant (AH)	9
Figure N°5: Rendements des différents extraits aqueux et polysaccharidiques de la datte « Tedalla ».....	17
Figure N°6: Pourcentages d'inhibition du radical DPPH• en fonction de la concentration des extraits de la datte « Tedalla » : extrait aqueux (A), polysaccharides hydrosolubles (B) et le standard : acide ascorbique (C).	18
Figure N°7: Pouvoir réducteur mesuré à 700 nm en fonction de la concentration des extraits de la datte « Tedalla » : extrait aqueux (A), polysaccharides hydrosolubles (B) et le standard : acide ascorbique (C).	20
Figure N°8 : Pourcentages d'inhibition de l' α -amylase en fonction de la concentration des extraits de la datte « Tedalla » : extrait aqueux (A), polysaccharides hydrosolubles (B), et le standard : acarbose (C).	23

Liste des tableaux

Tableau N°1: Les principaux pays producteurs de dattes dans le monde entre 2020 et 2022 (en tonnes métriques).....	3
Tableau N°2: Valeurs des CI_{50} des différents extraits de la datte « Tedalla » et du standard.....	19
Tableau N°3: Valeurs des CE_{50} des différents extraits de la datte « Tedalla » et du standard.....	21
Tableau N°4: Valeurs des CI_{50} des différents extraits de la datte « Tedalla » et du standard.....	23

Liste des abréviations

DT2: Diabète de type 2.

DPPH[•]: 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle.

FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power.

CI₅₀: Concentration inhibitrice à 50 %.

CE₅₀: Concentration efficace.

K₃Fe(CN)₆: Ferricyanure de potassium.

FeCl₃: Chlorure ferrique.

TCA: Acide trichloracétique.

NaCl: Chlorure de sodium.

NaOH: Hydroxyde de sodium.

DNSA: Acide 3,5-dinitrosalicylique.

NaH₂PO₄·2H₂O: Phosphate monosodique dihydraté.

Na₂HPO₄: Phosphate disodique anhydre.

Première partie

Introduction

Le diabète est un ensemble d'affections métaboliques associées à une hyperglycémie, causées par une insuffisance partielle ou totale de la sécrétion d'insuline, qui représente un problème de santé majeur à l'échelle mondiale **(Egan & Dinneen, 2019)**.

Selon les données de la fédération internationale du diabète (*IDF : International Diabetes Federation*), environ 537 millions d'adultes âgés de 20 à 79 ans sont atteints de diabète en 2021 dans le monde. Ce nombre pourrait atteindre 643 millions d'ici 2030 et dépasser 783 millions à l'horizon 2045, posant ainsi un défi de santé publique et économique majeur à l'échelle mondiale **(IDF, 2021)**. Il existe principalement trois types : le diabète de type 1, le diabète de type 2 et le diabète gestationnel **(Egan & Dinneen, 2019)**.

À ce jour, la forme la plus fréquente est le diabète de type 2 (DT2), qui représente plus de 90% des cas de diabète **(American Diabetes Association, 2024)**. Il se caractérise principalement par une hyperglycémie chronique due à une dysfonction des cellules pancréatiques β , qui résulte d'un trouble métabolique complexe favorisé par des facteurs génétiques ou environnementaux comme l'obésité, la sédentarité, le déséquilibre nutritionnel et le vieillissement **(Egan & Dinneen, 2019 ; Zheng et al., 2018)**.

Parmi les principaux mécanismes physiopathologiques, le stress oxydatif joue un rôle déterminant dans la progression de la maladie. Ce phénomène résulte d'un déséquilibre entre la production excessive d'espèces réactives de l'oxygène et l'efficacité des systèmes antioxydants de l'organisme **(Rains & Jain, 2011)**.

Ces agents oxydants perturbent la signalisation de l'insuline dans les tissus périphériques tels que le foie, les muscles squelettiques et le tissu adipeux, induisant une résistance à l'insuline **(Houstis et al., 2006)**. De plus, les cellules β pancréatiques, qui possèdent une faible capacité antioxydante, sont particulièrement sensibles aux dommages oxydatifs, ce qui favorise leur dysfonctionnement et leur apoptose **(Robertson, 2004)**.

Ce processus contribue également au développement des complications vasculaires associées au diabète, notamment la néphropathie, la rétinopathie et les maladies cardiovasculaires **(Yang et al., 2024)**.

Malgré la disponibilité de divers traitements médicamenteux pour la régulation de la glycémie, leur utilisation à long terme est souvent associée à des effets indésirables, tels que l'hypoglycémie, la prise de poids et les complications gastro-intestinales (les nausées et les diarrhées). Leur intensité peut conduire à l'arrêt du traitement ou à une réduction de dose inefficace **(Nathan, 2015)**.

Face à ces contraintes, l'intérêt de la recherche s'est progressivement tourné vers l'identification de composés naturels d'origine végétale qui présentent des effets hypoglycémifiants et antioxydants. La phytothérapie est depuis longtemps une source de produits médicinaux. En effet, elle suscite un intérêt croissant en raison de la diversité de ses molécules bioactives capables de moduler les voies métaboliques impliquées dans la pathogenèse du DT2 **(El-Abhar & Schaalan, 2014)**.

Dans ce contexte, plusieurs plantes du nord de l'Afrique ont été étudiées pour leurs propriétés antidiabétiques et antioxydantes, parmi lesquelles *Anabasis articulata*, *Camellia sinensis* (L.), *Curcuma longa* L., *Phoenix dactylifera* L., *Rosmarinus officinalis* et bien d'autres. Ces recherches reposent souvent sur l'évaluation de nombreux mécanismes d'action, notamment l'inhibition de l' α -amylase et de l' α -glucosidase, la régulation de l'absorption du glucose, la stimulation de la sécrétion d'insuline, la prolifération des cellules β -pancréatiques et l'activité antioxydante des extraits hydriques, alcooliques et polysaccharidiques obtenus à partir de différentes parties de plantes **(Abouzekry et al., 2020; Governa et al., 2018)**.

Pour cela, notre choix a porté sur le fruit du palmier dattier *Phoenix dactylifera* L. qui se distingue par son importance sur le plan nutritionnel, thérapeutique, culturel et économique. L'Algérie figure parmi les principaux producteurs mondiaux de dattes, avec une production estimée à 1,25 million de tonnes **(tableau N°1)**. Son secteur phœnicicole présente une diversité génétique, avec plus de 1000 cultivars recensés sur le territoire **(FAO, 2022)**.

Tableau N°1: Les principaux pays producteurs de dattes dans le monde entre 2020 et 2022 (en tonnes métriques) **(FAOSTAT, 2024)**

Rang	Pays	Production 2020 (tonnes)	Production 2021 (tonnes)	Production 2022 (tonnes)
1	Égypte	1 711 200	1 747 715	1 733 432
2	Arabie Saoudite	1 541 769	1 565 830	1 610 731
3	Algérie	1 151 909	1 188 803	1 247 404
4	Iran	1 281 976	1 303 717	1 030 460
5	Pakistan	560 184	532 880	732 936
6	Irak	735 353	750 225	715 293
7	Soudan	465 323	460 097	442 667
8	Émirats Arabes Unis	351 462	351 077	397 329
9	Oman	368 577	374 200	376 980
10	Tunisie	332 000	345 000	369 000

A l'échelle nationale, la phœniciculture est principalement localisée dans les régions sahariennes, réparties en quatre grandes zones : l'Est : (Zibans (Biskra), Oued Righ, Oued Souf (El Oued) et bassin d'Ouargla), le Centre : (El Goléa, M'zab (Ghardaïa) et (Laghouat)), l'Ouest : (Saoura (Béni Abbès), Touat (Adrar), Gourara (Timimoun) et Tidikelt (Reggane)) et les contreforts de l'Atlas saharien : (Ksour, monts Ouled Naïl, Aurès). Cette répartition est expliquée par l'adaptation du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) aux conditions arides et aux oasis sahariennes et par les caractéristiques morpho-anatomiques de la datte (*Phoenix dactylifera* L.) **(Bouguedoura et al., 2015)**.

En effet, elle se présente sous forme de baie ellipsoïde ou allongée, composée d'un péricarpe en trois couches **(Figure N°1)** : l'épicarpe, fine couche externe de nature cellulosique ; le mésocarpe, partie principale de la pulpe, constitué de cellules parenchymateuses réparties en deux zones (externe compacte et interne fibreuse); et l'endocarpe, mince membrane entourant le noyau **(Misbah et al., 2022)**.

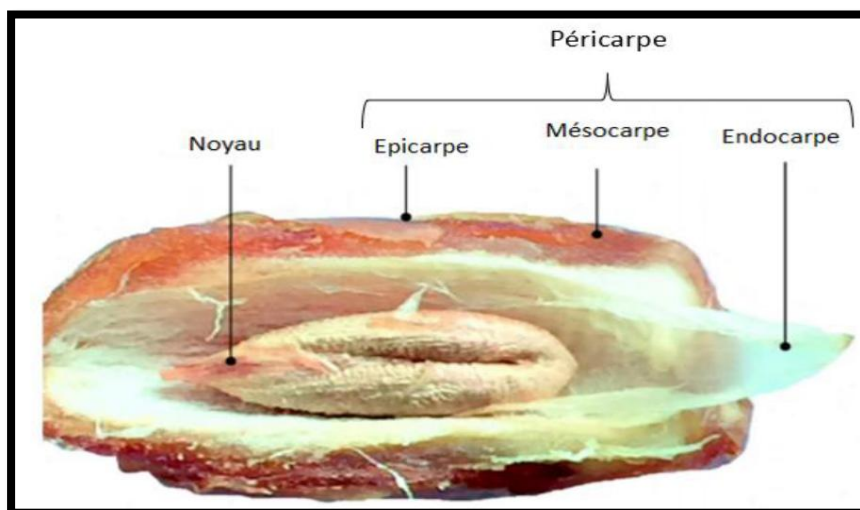


Figure N°1: Coupe longitudinale de la datte au stade « Tamr » (Ghnimi et al., 2017)

Au stade mature, appelé « Tamr », les dattes se distinguent par leur teneur en eau, la nature des sucres qu'elles renferment et leur texture, des éléments qui influencent directement leur qualité de conservation. Selon Jemni et ses collaborateurs (2019), la classification des dattes à ce stade repose sur le rapport sucre/eau (R), qui reflète l'équilibre entre les glucides (glucose, fructose, saccharose) et l'humidité de la pulpe. Sur cette base, on distingue trois grandes catégories (Figure N°2):

- Dattes molles ($R < 2,5$) : à forte humidité (environ 30 %), elles sont riches en sucres réducteurs (glucose et fructose) et pratiquement dépourvues de saccharose. Leur texture est très tendre, ce qui les rend plus périssables. Exemple : « Ghars ».
- Dattes semi-molles ($2,5 < R < 3,5$) : elles contiennent une proportion importante de saccharose et une humidité modérée (20 à 30 %), ce qui leur confère un bon compromis entre goût et durée de conservation. Exemple : « Deglet-Nour ».
- Dattes sèches ($R > 3,5$) : avec une humidité faible (< 20 %), elles renferment des proportions similaires de saccharose et de sucres réducteurs. Leur texture ferme et leur faible teneur en eau les rendent particulièrement adaptées au stockage prolongé. Exemple : « Degla-Beida ».

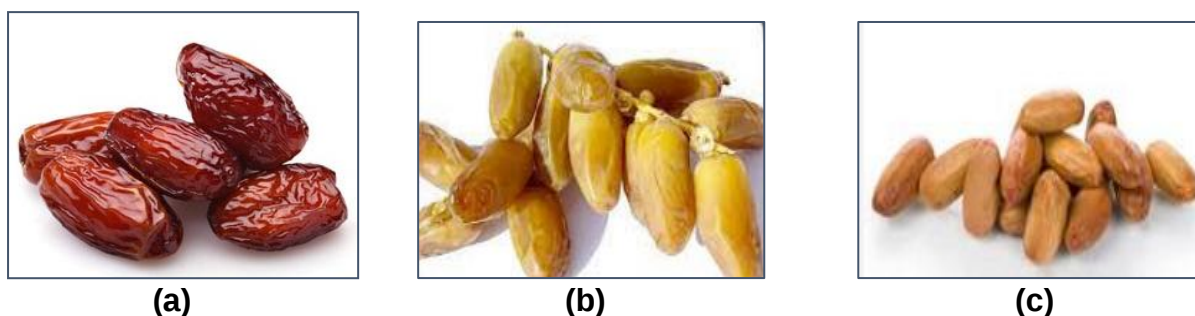


Figure N°2: Différentes catégories de dattes, (a) Dattes molles, (b) Dattes semi-molles, (c) Dattes sèches (**Jemni et al., 2019**)

Sur le plan nutritionnel, la dattes est un fruit riche en glucides qui constituent plus de 70% de la matière sèche, principalement sous forme de sucres simples (glucose, fructose), de polysaccharides solubles et insolubles, tels que la cellulose (un homopolysaccharide) et les pectines (des hétéropolysaccharides). Ces composés présentent des propriétés biologiques d'intérêt, notamment un pouvoir antioxydant contre le stress oxydatif, ainsi que des effets antidiabétiques, antibactériens et antitumoraux (**Barakat & Alfheaid, 2023**).

D'après le travail de **Djaoud** et son équipe (**2022**), les pectines extraites à partir des dattes variétés « Degla-Beida » ont montré une activité antidiabétique *in vitro* notable, via la capacité d'adsorption du glucose libre et l'inhibition de l'enzyme α -amylase ainsi qu'un effet de ralentissement de la diffusion du glucose est observé à travers une membrane semi-perméable simulant l'intestin. Ces effets sont attribués à la structure des pectines, caractérisée par une teneur élevée en acide galacturonique et un poids moléculaire important.

D'autre part, des polysaccharides extraits de la dattes « Ajwa » ont montré une activité antioxydante intéressante par les tests de DPPH• (2,2-diphenyl-1-picryl-hdrazyl), ABTS (2,2'-azinobis (3 ethylbenzthiazoline-6-sulfonate)) et FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*). Ces activités sont attribuées à une teneur élevée en acides uroniques (15,8 %) et à une structure ramifiée riche en galactose et arabinose. Elles dépendent également du degré de polymérisation, de la solubilité et des interactions possibles avec d'autres constituants du fruit (**Dhahri et al., 2023**).

Les dattes renferment aussi une diversité de micronutriments (potassium, magnésium, calcium et vitamines) et une richesse en composés bioactifs tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les caroténoïdes et les tanins, qui leur confèrent des activités biologiques marquées (**Bentrad & Hamida-Ferhat, 2020 ; Fernández-López et al., 2022**).

Des études menées *in vivo* sur l'extrait aqueux de la pulpe et des noyaux de dattes ont montré une amélioration du transit intestinal chez les souris (**Al-Qarawi et al., 2003**). Par ailleurs, les travaux de **Chaira** et ses collaborateurs (**2009**), ont révélé que l'extrait aqueux des dattes variété « Garn Ghzal » présente une forte activité antioxydante vis-à-vis des radicaux libres DPPH^{*}, liée à sa richesse en composés phénoliques (**Chaira et al., 2009**).

D'autres recherches ont mis en évidence l'importance des extraits des différentes parties du palmier dattier (noyaux et feuilles) contre le diabète de type 2. Les résultats obtenus ont révélé une forte corrélation entre leur riche profil phytochimique (polyphénols, flavonoïdes et saponines) et leurs activités inhibitrices des enzymes α -amylase et α -glucosidase qui ralentissent la digestion des glucides et modulent l'élévation postprandiale de la glycémie (**Anbar et al., 2024; Hasan & Mohieldein, 2016; Masmoudi-Allouche et al., 2016**).

Pour cela, une enquête ethnopharmacologique est réalisée à la wilaya de Ghardaïa afin de recueillir des informations sur l'utilisation traditionnelle des dattes dans la prise en charge du diabète. Un questionnaire est administré à une dizaine d'épiciers, qui a porté sur l'identification des variétés de dattes les plus consommées par les personnes diabétiques ainsi que sur leurs modes de consommation. La variété « Teddala » est la plus citée par les épiciers interrogés, en raison de ses propriétés hypoglycémiantes.

Partant de ces données, nous nous sommes intéressés à évaluer l'activité antioxydante et antidiabétique des extraits aqueux et polysaccharidiques de la datte « Teddala », une variété spécifique de la wilaya de Ghardaïa.

Deuxième partie

Matériel et méthodes

Ce travail est réalisé au laboratoire de recherche « Antibiotiques Antifongiques : physico-chimie, synthèse et activité biologique », faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'université Abou Bekr BELKAÏD-Tlemcen.

1. Matériel végétal

On se basant sur une enquête ethnopharmacologique, notre choix a porté sur le fruit du palmier dattier *Phoenix dactylifera* L. variété « Teddala » originaire de la wilaya de Ghardaïa, une ville située au centre du Sahara algérien. Cette ville est reconnue pour la diversité de ses palmiers dattiers, avec 24 cultivars locaux qui présentent une large variabilité morphologique et physicochimique (Allam et al. 2021).

La datte « Teddala » est une variété demi-molle, de forme ovoïde allongée de couleur brune avec de légers reflets rougeâtres. Sa peau est lisse, finement ridée et légèrement brillante. Elle mesure environ 5 cm de longueur et 1,5 cm de largeur (Figure N°3). Elle est récoltée au stade final de maturité (Tamr) et conservée à 0°C pendant toute la période de l'expérimentation

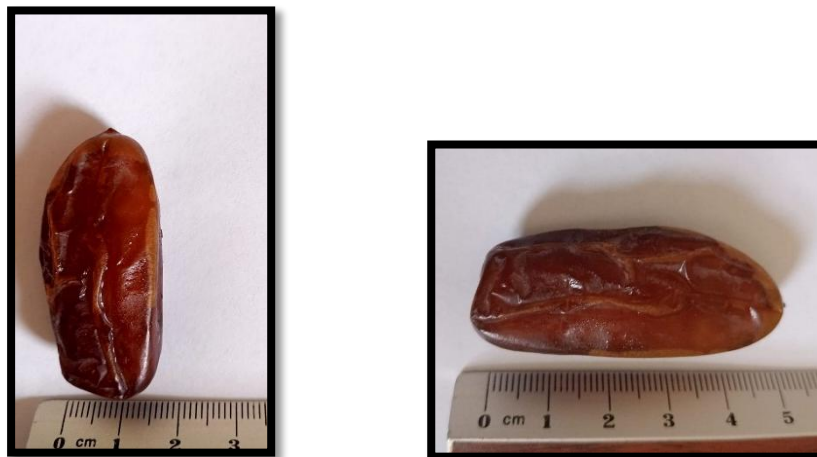


Figure N°3: Forme de la datte «Teddala » (LAPSAB, 2025)

2. Méthodes

2.1. Extraction aqueuse par macération

Vingt grammes de dattes dénoyautées et découpées sont macérés dans 100 mL d'eau distillée pendant 24 h à température ambiante, dans un flacon couvert de papier aluminium. Après macération, le mélange est broyé puis filtré à l'aide d'un papier filtre (n°4). Le filtrat obtenu est mis dans des boîtes de Pétri en verre, puis séché dans une étuve à 40 °C jusqu'à obtention d'un extrait aqueux sec (**Belmir et al., 2016**).

2.2. Extraction des polysaccharides hydrosolubles

Parmi les méthodes les plus couramment employées, l'extraction à l'eau chaude s'impose comme une technique de référence pour l'isolement des polysaccharides hydrosolubles, grâce à sa simplicité et sa rentabilité. Cette méthode repose sur la lyse des parois cellulaires induite par la chaleur, qui permet la libération efficace des polysaccharides intracellulaires dans la phase aqueuse (**Li et al., 2024**).

Pour cela, un poids de 50 g de dattes dénoyautées et finement découpées est incubé dans 1000 mL d'eau distillée bouillante pendant 3 heures. Puis, l'extrait est filtré à l'aide d'un papier filtre (n°4), puis centrifugé à 5000 trs/min pendant 15 minutes. Le surnageant obtenu est concentré sous vide à 60 °C à l'aide d'un évaporateur rotatif jusqu'à réduction du volume à moins de 100 mL. Quatre volumes d'éthanol absolu sont ajoutés pour précipiter les polysaccharides. Le mélange est conservé à 4 °C durant 48 heures. Le précipité formé est récupéré par centrifugation à 5000 trs/min pendant 15 min, puis séché dans une étuve à 45°C. L'extrait brut obtenu est conservé à 0°C pendant toute la période de l'expérimentation (**Ishurd et al., 2002 ; Yuan et al., 2017**).

Le rendement de l'extraction, exprimé en pourcentage (%), est déterminé par le rapport entre la masse de l'extrait brut obtenu (W_1) et la masse de la matière végétale sèche (W_0), selon la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (W_1 / W_0) \times 100$$

2.3. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de la datte « Teddala »

L'évaluation de l'activité antioxydante repose sur plusieurs méthodes regroupées en deux mécanismes principaux : les méthodes basées sur le transfert d'atome d'hydrogène et celles basées sur le transfert d'électron. Le test du piégeage du radical de DPPH• (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle) et le test de réduction du fer par la méthode de FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power) sont deux méthodes spectrophotométriques très utilisées qui appartiennent à ces deux catégories (Gülçin, 2025).

2.3.1. Méthode de piégeage du 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH•)

a. Principe

Le test de piégeage du radical DPPH• est l'une des méthodes spectrophotométriques les plus répandues pour évaluer l'activité antioxydante des extraits naturels. Il repose sur l'utilisation du radical libre stable 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH•) de couleur violette intense. En présence d'un antioxydant (AH), qui agit comme donneur d'atome d'hydrogène au radical DPPH• pour le neutraliser en un composé non radicalaire (DPPH-H) de couleur jaune pâle (Figure N°4).

Ce changement de couleur se traduit par une diminution de l'absorbance du DPPH•, mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. L'intensité de la décoloration est proportionnelle à la capacité de l'échantillon à neutraliser les radicaux libres, ce qui en fait un indicateur fiable du potentiel antioxydant des composés testés (Gülçin, 2025).

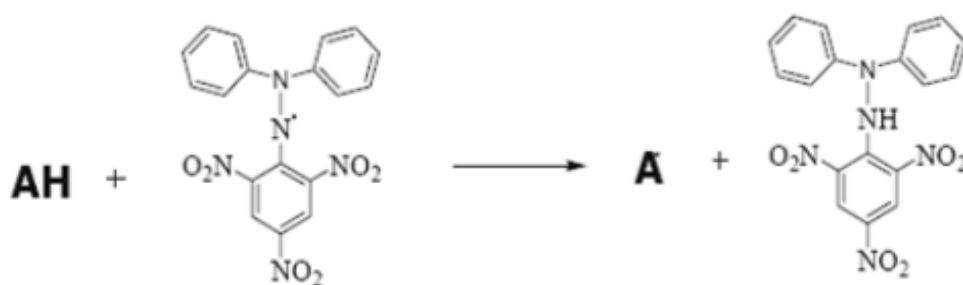


Figure N°4: Mécanisme de piégeage du radical DPPH• par un antioxydant (AH) (Gülçin, 2025)

b. Préparation des réactifs

- Solution de DPPH•

On dissout 2,5 mg de DPPH• dans 100 mL d'éthanol. On homogénéise le mélange et on conserve la solution à l'abri de la lumière, à température ambiante pour éviter toute dégradation (El-Haci et al., 2013).

c. Protocole

Le protocole adapté est celui d'El-Haci et ses collaborateurs (2013). Un volume de 50 µL de chaque extrait, à différentes concentrations, est ajouté à 1950 µL de solution éthanolique de DPPH• (6×10^{-5} M). Un contrôle négatif est préparé simultanément en remplaçant les 50 µL d'extrait par 50 µL d'éthanol pur, puis mélangé avec 1,95 mL de la solution éthanolique de DPPH•. Après une incubation de 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante, la lecture de l'absorbance est effectuée contre un blanc préparé pour chaque concentration à 517 nm.

L'acide ascorbique est utilisé comme témoin positif, aux mêmes concentrations que les extraits, et analysé de manière identique. L'activité antiradicalaire est exprimée en pourcentage d'inhibition selon la formule suivante :

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = \frac{\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}}{\text{Abs contrôle}} \times 100$$

Avec :

Abs contrôle : est l'absorbance du témoin négatif (sans l'échantillon).

Abs échantillon : est l'absorbance des différents échantillons testés.

La concentration inhibitrice médiane (CI_{50}), correspondant à 50 % d'inhibition du radical DPPH•, est déterminée graphiquement par une régression linéaire ou logarithmique des courbes représentant les pourcentages d'inhibition en fonction des différentes concentrations des extraits.

2.3.2. Méthode de réduction du fer (Ferric ion Reducing Antioxidant Power : FRAP)

a. Principe

Cette méthode permet d'évaluer le pouvoir antioxydant d'un échantillon à travers sa capacité à transférer des électrons, ce qui reflète son aptitude à neutraliser les agents oxydants. Le test repose sur la réduction du ferricyanure de potassium ($K_3Fe(CN)_6$) en ferrocyanure ($K_4Fe(CN)_6$) par les composés antioxydants présents dans l'extrait. Le ferrocyanure formé réagit avec les ions Fe^{3+} issus du chlorure ferrique ($FeCl_3$), pour former un complexe bleu intense appelé Bleu de Prusse ($Fe_4[Fe(CN)_6]_3$). L'intensité de la couleur bleue est proportionnelle à la capacité réductrice de l'échantillon, ce qui permet de quantifier son activité antioxydante (Gülçin, 2025).

b. Préparation des réactifs

- Solution tampon (0,2 M ; pH 6,6)

On prépare la solution tampon à partir de deux solutions, A et B. La solution A est composée de phosphate monosodique dihydraté $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ ($M=156,01g/mol$) et la solution B de phosphate disodique anhydre Na_2HPO_4 ($M=141,96 g/mol$), toutes deux à une concentration de 0,2 M.

Le nombre de moles à préparer pour chaque solution est :

$$n=C \times V = 0,2 \text{ mol/L} \times 0,5 \text{ L} = 0,1 \text{ mol}$$

Ainsi, la masse de chaque composé est calculée comme suit :

$$mA= M \times n = 156,01 \times 0,1 = 15,601 \text{ g}$$

$$mB = M \times n = 141,96 \times 0,1 = 14,196 \text{ g}$$

On dissout donc 15,601g du composé A dans de l'eau distillée et on ajuste le volume à 500mL.

De même 14,196 g du composé B sont dissous dans de l'eau distillée et ajustés à 500 mL. Ensuite, les deux solutions sont mélangées pour obtenir une solution tampon finale à 0,2 M et à pH 6,6 (Jdaini et al., 2025).

- Solution de ferricyanure de potassium ($K_3[Fe(CN)_6]$) à (1 %)

On dissout 1 g de ferricyanure de potassium dans de l'eau distillée et on complète le volume à 100 mL. On homogénéise bien le mélange jusqu'à dissolution complète (Jdaini et al., 2025).

- Solution d'acide trichloracétique (TCA) à (10 %)

On dissout 10 g d'acide trichloracétique dans de l'eau distillée, le volume est ajusté à 100 mL et la solution est homogénéisée jusqu'à dissolution totale (Jdaini et al., 2025).

- Solution de chlorure ferrique ($FeCl_3$) à (0,1 %)

La solution est préparée en dissolvant 0,1 g de chlorure ferrique dans de l'eau distillée et en ajustant le volume à 100 mL, puis on homogénéise jusqu'à dissolution totale (Jdaini et al., 2025).

c. Protocole

Le pouvoir antioxydant des extraits est évalué selon le protocole décrit par Jdaini et ses collaborateurs (2023), avec quelques modifications : 100 μ L d'extrait aqueux ou de polysaccharides, à différentes concentrations, sont mélangés avec 250 μ L de tampon phosphate (0,2 M ; pH 6,6) et 250 μ L de $K_3[Fe(CN)_6]$ à 1 %, tandis qu'un tube témoin négatif est préparé en remplaçant l'extrait par 100 μ L d'eau distillée. Le mélange est ensuite incubé à 50 °C pendant 20 minutes. Après incubation, 250 μ L de TCA à 10 % sont ajoutés pour arrêter la réaction, puis le mélange est centrifugé à 3000 trs/min pendant 10 minutes. Ensuite, un volume de 500 μ L du surnageant est récupéré, auquel on ajoute 500 μ L d'eau distillée et 100 μ L de $FeCl_3$ à 0,1 %.

L'absorbance du mélange final est mesurée à 700 nm contre un blanc. L'acide ascorbique est utilisé comme contrôle positif et traité dans les mêmes conditions que les extraits. L'accroissement de l'absorbance indique une augmentation du pouvoir antioxydant réducteur de l'échantillon.

La concentration efficace (CE_{50}), correspondant à une absorbance égale à 0,5. Elle est déterminée graphiquement à partir de la courbe de régression linéaire ou logarithmique représentant l'absorbance en fonction des différentes concentrations des extraits (Haddouchi et al., 2021).

2.4. Evaluation de l'activité antidiabétique des extraits de la datte « Teddala » par inhibition de l' α -amylase

2.4.1. Principe

Cette méthode permet d'évaluer l'effet inhibiteur des différents extraits aqueux et polysaccharidiques de la pulpe de datte (*Phoenix dactylifera* L.) variété « Teddala » sur l'activité de l' α -amylase d'origine fongique (*Aspergillus* sp.), utilisée en tant que modèle enzymatique. Le substrat hydrolysé est l'amidon, tandis que l'acarbose est employée comme inhibiteur de référence (contrôle positif). Les produits de cette réaction sont : des oligosaccharides, dextrines, maltose et glucose (**Worthington, 1988**).

La quantification des produits formés repose sur la méthode colorimétrique de **Lindsay (1973)**, fondée sur le pouvoir réducteur des groupements aldéhydes des sucres. En milieu alcalin et à chaud, ces derniers réduisent l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNSA) en acide 3-amino-5-nitrosalicylique, de coloration rouge-orangé, mesurée à 540 nm. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration en sucres réducteurs présents dans le milieu réactionnel.

2.4.2. Préparations des réactifs

a. Réactif d'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNSA)

Une solution de 1 g de DNSA est préparée dans 40 mL d'eau distillée tiède, sous agitation. Parallèlement, 1,6 g de NaOH sont dissous dans 20 mL d'eau distillée, puis 3 g de tartrate double de sodium et de potassium sont ajoutés lentement sous agitation. Mélanger ensuite les deux solutions et ajuster le volume final à 100 mL avec de l'eau distillée. La solution obtenue présente une couleur jaune-orange opaque, avec un aspect légèrement huileux. Le réactif est conservé à l'abri de la lumière à 4 °C (**Lindsay, 1973**).

b. Solution de l' α -amylase

L'enzyme utilisée est l' α -amylase (EC 3.2.1.1) d'origine fongique, extraite d'*Aspergillus* sp, disponible sous forme lyophilisée.

3 mg de poudre enzymatique sont dissous dans 10 mL de tampon phosphate (0,02 M, pH = 6,9) conformément aux conditions expérimentales de l'étude. L'incubation des mélanges réactionnels a été réalisée à 25 °C, afin de permettre l'interaction optimale entre l'enzyme et le substrat (**Lindsay, 1973**).

c. Solution tampon phosphate (0,02 M ; pH=6,9)

On prépare la solution tampon à partir de deux solutions, A et B. La solution A est composée de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($M=156,01 \text{ g/mol}$) et la solution B de Na_2HPO_4 ($M=141,96 \text{ g/mol}$), toutes deux à une concentration de 0,02 M.

Le nombre de moles à préparer pour chaque solution est :

$$n = C \times V = 0,02 \text{ mol/L} \times 0,5 \text{ L} = 0,01 \text{ mol}$$

Ainsi, la masse de chaque composé est calculée comme suit :

$$m_A = M \times n = 156,01 \times 0,01 = 1,56 \text{ g}$$

$$m_B = M \times n = 141,96 \times 0,01 = 1,42 \text{ g}$$

On dissout donc 1,56 g du composé A dans de l'eau distillée et on ajuste le volume à 500 mL.

De même, 1,42 g du composé B sont dissous dans de l'eau distillée et ajusté à 500 mL. Ensuite, les deux solutions sont mélangées pour obtenir une solution tampon finale de 0,02 M et à pH 6,9 ; puis on ajoute du NaCl à 6,7 mM. (**Lindsay, 1973**).

d. Solution de substrat (amidon)

Le substrat utilisé pour le test enzymatique est l'amidon soluble, préparé à une concentration de 1 % dans une solution tampon phosphate (0,02 M ; pH 6,9). Afin d'assurer une dissolution complète, la solution est portée brièvement à l'ébullition, puis laissée refroidie à température ambiante avant d'être utilisée comme substrat de l' α -amylase (**Lindsay, 1973**).

e. Solution d'extrait

Différentes concentrations d'extrait aqueux et de polysaccharides sont préparées dans le tampon phosphate (0,02 M ; pH 6,9), en vue d'évaluer leur effet inhibiteur potentiel sur l'activité enzymatique de l' α -amylase (**Lindsay, 1973**).

f. Solution d'acarbose

L'acarbose est utilisée dans cette étude comme substance de référence afin de comparer son activité inhibitrice de l' α -amylase à celle des extraits testés. Un comprimé de 50 mg est dissous dans le tampon phosphate (0,02 M ; pH 6,9) de manière à obtenir une solution mère à une concentration de 2 mg/mL (**Lindsay, 1973**).

2.4.2. Protocole

Le pouvoir inhibiteur de l' α -amylase est évalué selon le protocole adapté de **Wickramaratne** et ses collaborateurs (**2016**), avec quelques modifications : 200 μ L d'extrait à différentes concentrations sont ajoutés à 200 μ L de solution d' α -amylase, tandis qu'un contrôle négatif est préparé en remplaçant l'extrait par 200 μ L de tampon phosphate. Après agitation, les tubes sont incubés 15 minutes à 25 °C. Ensuite, 200 μ L d'amidon sont ajoutés pour une seconde incubation de 10 minutes à 25 °C. La réaction est arrêtée par l'ajout de 600 μ L de réactif DNSA, les tubes sont chauffés à 100 °C pendant 8 minutes, puis refroidis dans un bain d'eau glacée pour stopper la réaction du maltose avec le réactif DNSA.

L'absorbance du mélange est mesurée à 540 nm contre un blanc préparé pour chaque concentration. Une solution témoin positif est préparée à l'aide de l'acarbose à différentes concentrations et la réaction est réalisée selon le même protocole que celui appliqué pour l'extrait végétal.

L'activité inhibitrice de l' α -amylase est calculée en pourcentage d'inhibition selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition de l}'\alpha\text{-amylase (\%)} = \frac{\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}}{\text{Abs contrôl}} \times 100$$

Avec :

Abs contrôle : est l'absorbance du témoin négatif (sans l'échantillon).

Abs échantillon : est l'absorbance des différents échantillons testés.

La valeur de l' IC_{50} , correspond à la concentration de l'extrait induisant 50 % d'inhibition de l'activité enzymatique. Elle est déterminée graphiquement par une régression linéaire ou logarithmique des courbes représentant les pourcentages d'inhibition en fonction des différentes concentrations des extraits.

Troisième partie

Résultats et discussion

1. Rendement

Les rendements des différents extraits aqueux et polysaccharidique de la datte «Teddala » sont représentés sur la **figure N° 5**.

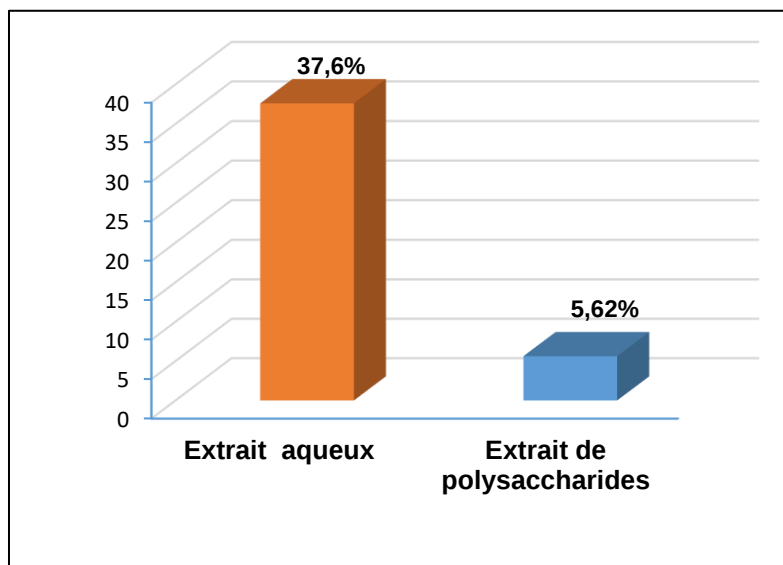


Figure N°5: Rendements des différents extraits aqueux et polysaccharidiques de la datte « Teddala »

Les résultats montrent que le rendement de l'extrait aqueux par macération à l'eau distillée est de $37,6 \pm 1,5\%$. Ce résultat est en accord avec celui de **Belmir** et ses collaborateurs (**2016**), qui ont obtenu un rendement de 40,4 % pour la variété « Ajwa ». Par contre, certaines variétés de dattes koweitiennes ont montré un rendement plus élevé qui arrive jusqu'à 78% (**Vayalil, 2002**).

En ce qui concerne les polysaccharides hydrosolubles de la variété « Teddala », le rendement est de $5,62 \pm 0,9\%$. Ce dernier est plus élevé que celui de « Tazerzait », une variété de datte d'origine de Ghardaïa (3,14 %), et proche de celui de la variété « Deglet-Nour » avec un rendement de 4,75 % (**Belhachemi et al., 2024**). Il est également très proche de celui de la variété « Ajwa » qui est de 5,02 % (**Dhahri et al., 2023**).

Cette diversité entre les rendements d'extraction des différentes variétés des dattes est due principalement à la composition biochimique du fruit, au stade de maturité et

la période de récolte du fruit et aux conditions pédoclimatiques (Belhachemi et al., 2024).

2. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de la datte « Teddala »

2.1. Piégeage du 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle (DPPH•)

Les résultats de l'activité antiradicalaire, exprimés en pourcentage d'inhibition du radical DPPH•, pour l'extrait aqueux (courbe A), les polysaccharides hydrosolubles (courbe B) et l'acide ascorbique (courbe C), sont représentés sur la **figure N°6**.

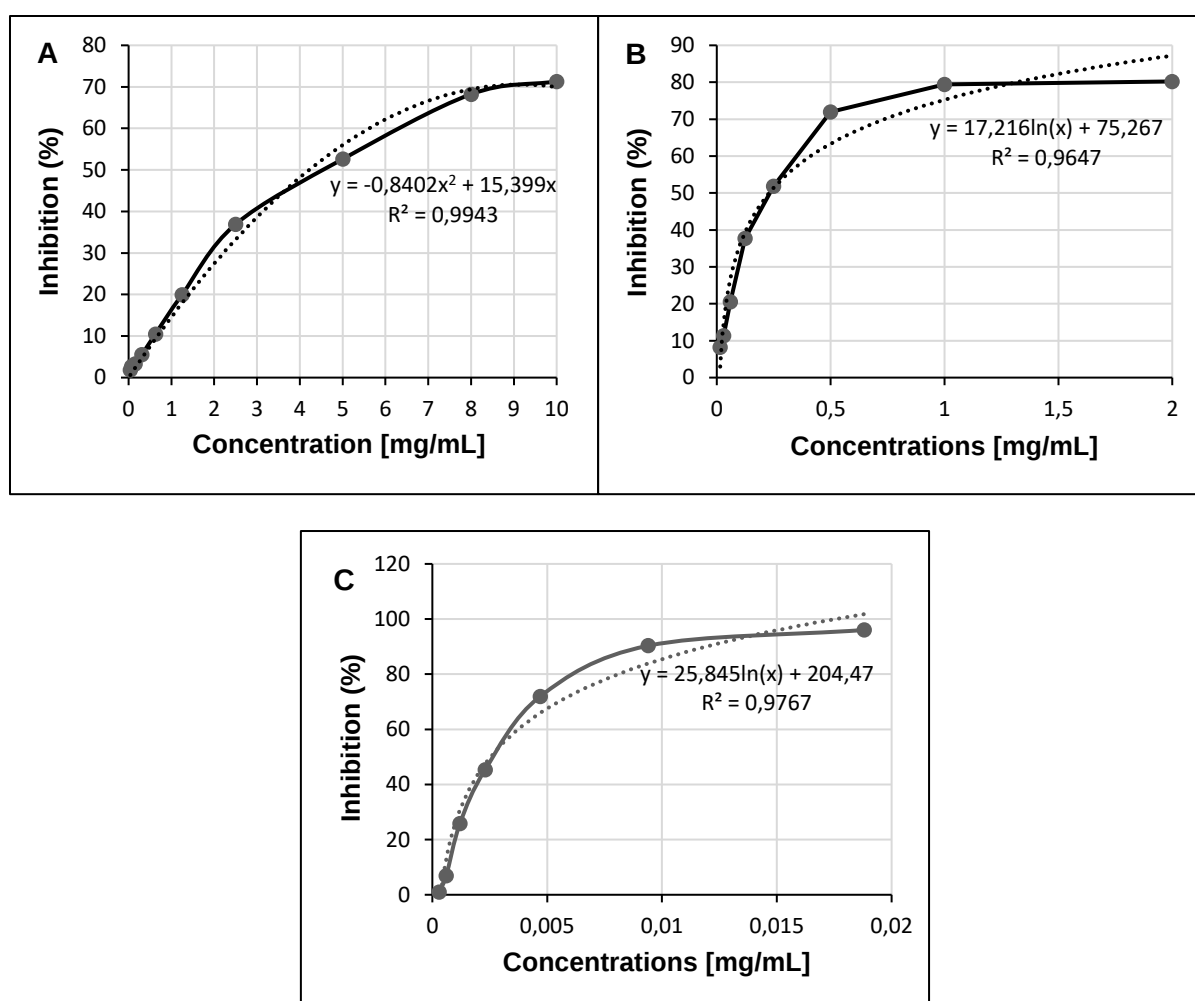


Figure N°6: Pourcentages d'inhibition du radical DPPH• en fonction de la concentration des extraits de la datte « Teddala » : extrait aqueux (A), polysaccharides hydrosolubles (B) et le standard : acide ascorbique (C)

La détermination de la CI_{50} , la concentration nécessaire pour inhiber 50 % du radical DPPH• a permis de comparer le pouvoir antioxydant des différents extraits avec le témoin positif (acide ascorbique). En effet, plus la valeur de l' CI_{50} est faible, plus l'activité antioxydante est importante.

La **figure N°6**, montre que la capacité de piégeage du radical DPPH• s'accroît proportionnellement avec l'augmentation de la concentration des extraits de la datte « Teddala » et de l'acide ascorbique.

Les polysaccharides hydrosolubles présentent une activité antiradicalaire importante par rapport à l'acide ascorbique avec des CI_{50} respectifs $0,23 \pm 0,010\text{mg/mL}$ et $0,0025 \pm 0,0002\text{mg/mL}$. Par contre, l'extrait aqueux montre une activité de piégeage plus faible que les polysaccharides hydrosolubles avec une CI_{50} de $4,22 \pm 0,21\text{mg/mL}$ (**Tableau N°2**).

Tableau N°2: Valeurs des CI_{50} des différents extraits de la datte « Teddala » et du standard

		CI_{50} (mg/mL)
Extraits	Aqueux	$4,22 \pm 0,21$
	Polysaccharides hydrosolubles	$0,23 \pm 0,01$
Standard	Acide ascorbique	$0,0025 \pm 0,0002$

Notre résultat va dans le même sens que ceux de **Saleh** et son équipe (**2011**). En effet, l'extrait aqueux des dattes saoudiennes variété « Sukkari » a montré une CI_{50} de $4,3\text{mg/mL}$ similaire à l'extrait aqueux de la datte « Teddala ».

D'autre part, des extraits hydroéthanoliques de quatre variétés marocaines de dattes, ont révélé des CI_{50} vis-à-vis du radical DPPH• comprise entre $13,19$ et $54,83\text{mg/mL}$. Ce qui indique une activité antioxydante 3 à 13 fois plus faible à celle de l'extrait aqueux de notre variété de datte (**Ouamnina et al.,2024**).

L'évaluation par la méthode de piégeage de DPPH• a montré que les polysaccharides de la variété « Teddala » possèdent une activité antioxydante bien supérieure à celle des autres variétés. En effet, leur CI_{50} de $0,23 \pm 0,01$ mg/mL est huit fois plus faible que celle de la variété « Ajwa » ($CI_{50} = 1,92$ mg/mL) et environ dix-sept fois plus que celles des variétés « Deglet-Nour » et « Tezerzait » ($CI_{50} = 4,01 \pm 0,011$ mg/mL et $4,66 \pm 0,013$ mg/mL) (Belhachemi et al., 2024 ; Dhahri et al., 2023).

2.2. Réduction du fer (Ferric ion Reducing Antioxidant Power : FRAP)

La méthode de FRAP permet d'évaluer la capacité des extraits à réduire le fer. La **figure N°7** représente les résultats de l'activité réductrice mesurée à 700 nm des différents extraits de la datte « Teddala » et de l'acide ascorbique.

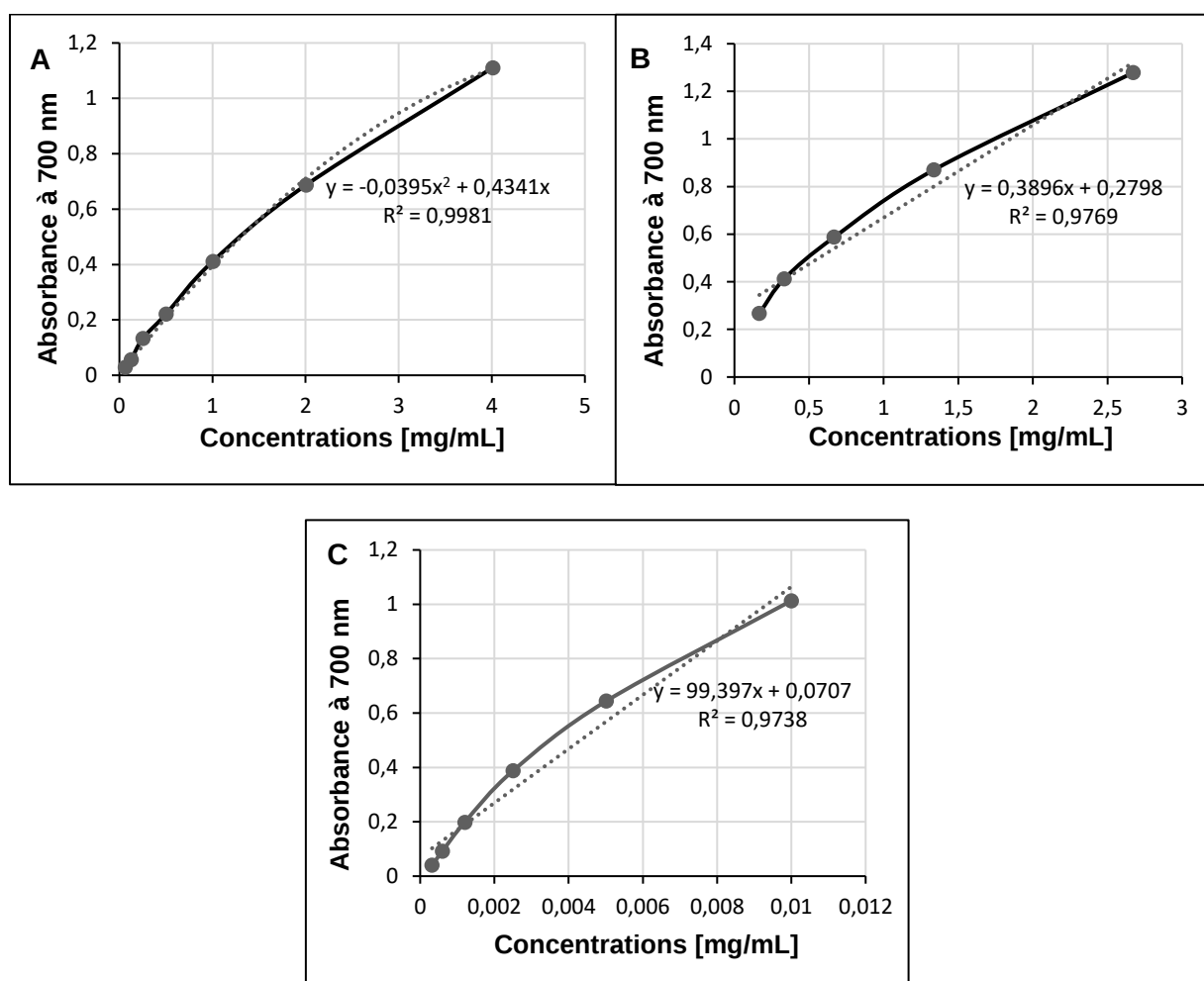


Figure N°7: Pouvoir réducteur mesuré à 700 nm en fonction de la concentration des extraits de la datte « Teddala » : extrait aqueux (A), polysaccharides hydrosolubles (B) et le standard : acide ascorbique (C)

Les résultats obtenus ont révélé une augmentation proportionnelle du pouvoir réducteur avec la concentration des différents extraits, y compris l'acide ascorbique utilisé comme un antioxydant de référence. Cependant, les extraits de la datte « Teddala » ont montré une activité plus faible que l'acide ascorbique.

La CE_{50} des polysaccharides hydrosolubles ($0,57 \pm 0,02\text{mg/mL}$) est plus faible que l'extrait aqueux ($1,31 \pm 0,03\text{mg/mL}$), ce qui indique un pouvoir réducteur plus élevé des polysaccharides. Cette activité bien que significative, reste toutefois inférieure à celle de l'acide ascorbique, utilisé comme un antioxydant de référence avec une CE_{50} de $0,0043 \pm 0,0003\text{mg/mL}$ (**Tableau N°3**).

Tableau N°3: Valeurs des CE_{50} des différents extraits de la datte « Teddala » et du standard

		CE_{50} (mg/mL)
Extraits	Aqueux	$1,31 \pm 0,03$
	Polysaccharides hydrosolubles	$0,57 \pm 0,02$
Standard	Acide ascorbique	$0,0043 \pm 0,0003$

En comparant nos résultats avec ceux rapportés dans la littérature. Des extraits hydrométhanoliques de dix-sept variétés marocaines de dattes ont présenté une CE_{50} comparable à l'extrait aqueux de la datte « Teddala » avec des valeurs qui varient entre $0,219$ et $2,028\text{mg/mL}$ (**Alahyane et al., 2020**).

Par ailleurs, l'extrait aqueux des dattes « Teddala » montre une activité antioxydante plus élevée que celle des extraits hydroéthanoliques étudiés par **Ouamnina** et son équipe (**2024**), dont les CE_{50} comprise entre $2,11$ et $4,51\text{mg/mL}$. La même chose est constatée pour les extraits hydrométhanoliques des dattes tunisiennes avec des CE_{50} varient entre $6,93$ et $23,17\text{mg/mL}$ (**AlFaris et al. 2021 ; El Arem et al. 2012**).

L'évaluation de l'activité antioxydante par la réduction de fer des polysaccharides hydrosolubles de la datte « Teddala » a montré une CE_{50} de $0,57 \pm 0,02\text{mg/mL}$, cette valeur est inférieure à celle rapportée pour les polysaccharides des dattes, variété

« Deglet-Nour », dont l' CE_{50} est de 0,98 mg/mL, ce qui souligne le potentiel antioxydant de la variété « Teddala » (**Mansour et al. 2022**).

L'évaluation de l'activité antioxydante par les méthodes de piégeage du radical DPPH• et la réduction du fer (FRAP) a mis en évidence des différences notables entre l'extrait aqueux et les polysaccharides hydrosolubles des dattes « Teddala » ainsi que, avec d'autres variétés rapportées dans la littérature. Cette diversité peut s'expliquer par la nature des composés bioactifs présents (polyphénols, flavonoïdes ...) dans l'extrait aqueux, la composition des polysaccharides en monosaccharides : le poids moléculaire, le type de liaisons glycosidiques, la conformation et l'abondance des groupes fonctionnels tel que les protéines, les acides aminés, les phytostérols, la thiamine et les acides organiques (**Dhahri et al., 2023; Djaoud et al., 2022; Zhang et al., 2015**). Elle est due également à la variété des dattes, à l'origine géographique et au stade de maturité du fruit (**Haimoud et al., 2016**).

3. Evaluation de l'activité antidiabétique des extraits de datte « Teddala » par inhibition de l' α -amylase

La **figure N°8** représente les résultats relatifs à l'activité inhibitrice de l' α -amylase exprimés en pourcentage, de l'extrait aqueux et des polysaccharides hydrosolubles de la datte « Teddala ». L'acarbose, utilisé comme témoin positif a montré une forte capacité inhibitrice de l' α -amylase, nettement supérieure à celle de l'ensemble des extraits testés avec une CI_{50} de $0,0039 \pm 0,00025$ mg/mL.

L'extrait aqueux de datte a présenté une activité inhibitrice deux fois plus élevée que celle des polysaccharides hydrosolubles, avec des CI_{50} de $0,12 \pm 0,003$ mg/mL et $0,251 \pm 0,007$ mg/mL respectivement (**Tableau N°4**).

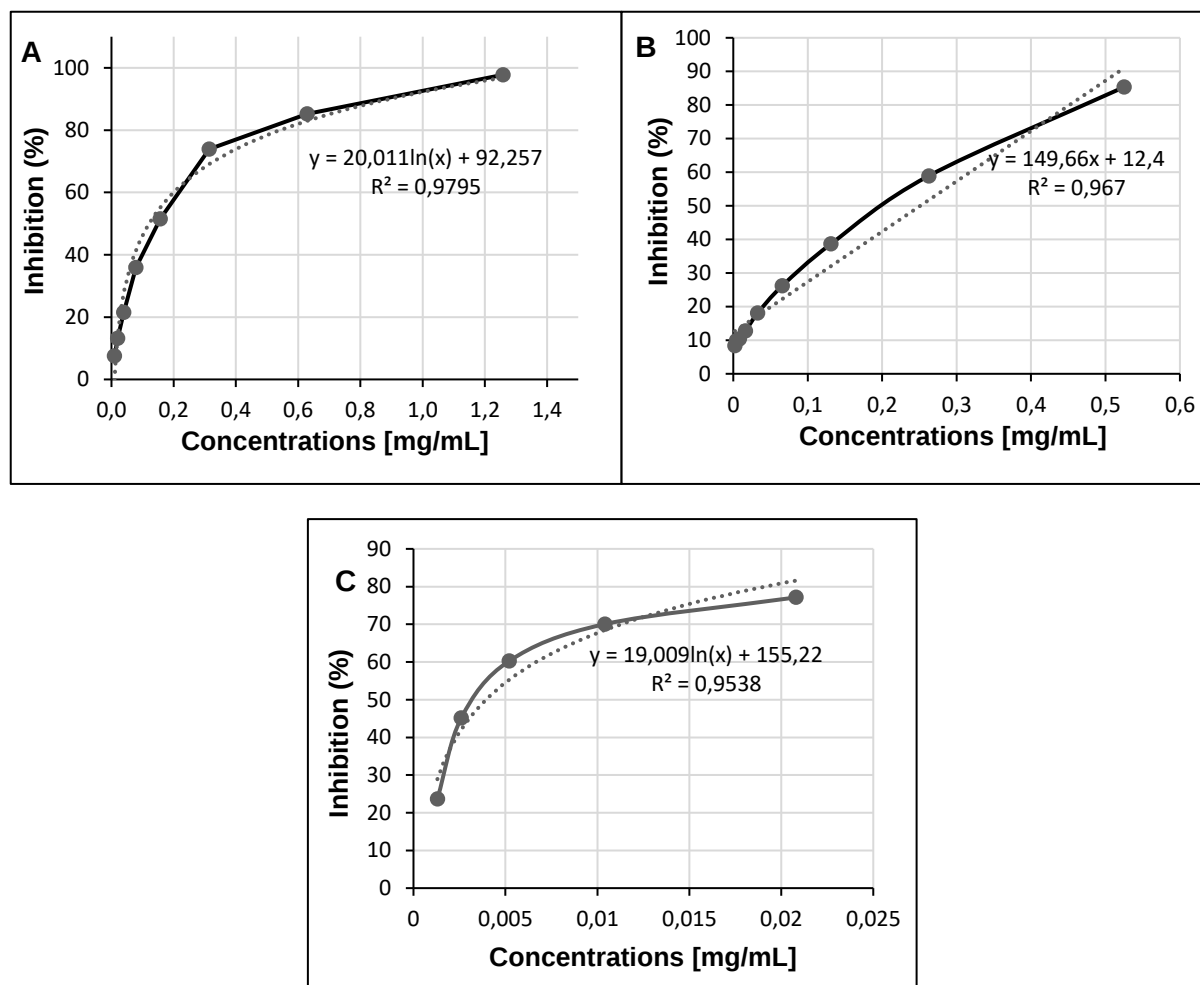


Figure N°8 : Pourcentages d'inhibition de l' α -amylase en fonction de la concentration des extraits de la datte « Teddala » : extrait aqueux (A), polysaccharides hydrosolubles (B), et le standard : acarbose (C)

Tableau N°4: Valeurs des CI_{50} des différents extraits de la datte « Teddala » et du standard

		CI_{50} (mg/mL)
Extraits	Aqueux	$0,12 \pm 0,003$
	Polysaccharides hydrosolubles	$0,25 \pm 0,007$
Standard	Acarbose	$0,0039 \pm 0,00025$

À une concentration de 5 mg/mL, les extraits aqueux des noyaux de cinq variétés de dattes omanaises inhibent l' α -amylase de 13,7 % à 51,5 %, tandis que notre extrait aqueux de datte atteint 50% d'inhibition avec seulement 0,12mg/mL, démontrant ainsi son efficacité élevée même à faible concentration **(Khan et al., 2016)**.

En revanche, des extraits méthanoliques des dattes « Deglet-Nour » et « Kentichi » présentaient une activité inhibitrice plus élevée à l'extrait aqueux de la datte « Teddala », avec des valeurs des CI_{50} de $70,18 \pm 2,11$ et $47,51 \pm 3,10\mu\text{g/mL}$, respectivement **(Masmoudi-Allouche et al., 2016)**.

Par ailleurs, les polysaccharides hydrosolubles de la datte « Teddala » présentent une activité inhibitrice de l' α -amylase significativement supérieure à celle des fruits du dattier du désert africain (*Balanites aegyptiaca*), avec des CI_{50} de $44,13 \pm 0,93\text{mg/mL}$ **(Seddiki et al., 2024)**.

Ces résultats indiquent l'efficacité des différents extraits aqueux et polysaccharidiques de datte « Teddala », ce qui pourrait dû aux interactions entre les groupes hydroxyles et carboxyles des polysaccharides et les résidus d'acides aminés des enzymes, qui conduit à une diminution de l'activité de l' α -amylase, ainsi que par la présence des composés bioactifs solubles dans l'eau **(Khan et al., 2016 ; Rjeibi et al., 2020)**.

Quatrième partie

Conclusion

À la base d'une enquête ethnopharmacologique, notre étude s'est intéressée à l'évaluation de l'activité antioxydante et antidiabétique de l'extrait aqueux et des polysaccharides hydrosolubles des dattes, variété « Teddala » d'origine de la wilaya de Ghardaïa.

Le rendement massique de l'extrait aqueux de la datte « Teddala » est de $37,6 \pm 1,5\%$, tandis que les polysaccharides hydrosolubles présentent un rendement de $5,62 \pm 0,9\%$.

L'évaluation de l'activité antioxydante a montré que la vitamine C présente une activité nettement supérieure aux extraits analysés avec une CI_{50} de $0,0025 \pm 0,0002 \text{ mg/mL}$ pour le piégeage du DPPH• et une CE_{50} de $0,0043 \pm 0,0003 \text{ mg/mL}$ pour la réduction du fer (FRAP). Tandis que les polysaccharides hydrosolubles ($CI_{50} = 0,23 \pm 0,01 \text{ mg/mL}$; $CE_{50} = 0,57 \pm 0,02 \text{ mg/mL}$) se sont révélés plus actifs que l'extrait aqueux de la datte « Teddala » ($CI_{50} = 4,22 \pm 0,21 \text{ mg/mL}$; $CE_{50} = 1,31 \pm 0,03 \text{ mg/mL}$).

L'évaluation de l'inhibition de l'α-amylase *in vitro*, a montré que l'acarbose est un inhibiteur puissant avec une CI_{50} de $0,0039 \pm 0,00025 \text{ mg/mL}$ par rapport aux différents extraits testés. En revanche, l'extrait aqueux de la datte « Teddala » s'est révélé plus actif que celui des polysaccharides hydrosolubles avec des CI_{50} respectives de $0,12 \pm 0,0036 \text{ mg/mL}$ et $0,25 \pm 0,0075 \text{ mg/mL}$.

La régulation de l'α-amylase constitue un aspect clé dans la prise en charge du diabète de type 2. L'inhibition de cette enzyme ralentit en effet la libération du glucose, retarde son absorption et contribue ainsi à réduire les pics glycémiques postprandiaux. L'extrait aqueux et les polysaccharides hydrosolubles de la datte « Teddala » se sont révélés être des composés naturels capables d'inhiber l'α-amylase. Ils présentent également une activité antioxydante intéressante et une bonne biocompatibilité avec l'organisme humain, ce qui en fait des composés promoteurs pour une utilisation thérapeutique. En perspective, il serait intéressant de :

- Isoler et caractériser les différentes molécules actives de l'extrait aqueux ainsi que les polysaccharides hydrosolubles de la datte « Teddala ».
- Déterminer les paramètres cinétiques (V_{max} et K_m) permettrait de mieux comprendre le mode d'inhibition de l'α-amylase par ces extraits.
- Évaluer l'activité antidiabétique des différents extraits par d' tests *in vitro* et *in vivo*.

Références bibliographiques

- Abouzekry, S. S., Badawy, M. T., Ezzelarab, N. M., & Abdellatif, A. (2021). Phytotherapy for diabetes mellitus; A review of Middle Eastern and North African folk medicinal plants. *Journal of Herbmmed Pharmacology*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.34172/jhp.2021.01>
- AlFaris, N. A., AlTamimi, J. Z., AlMousa, L. A., AlGhamidi, F. A., Alzaheb, R. A., & Albaridi, N. A. (2021). Antioxidant content determination in ripe date fruits (*Phoenix dactylifera* L.): A scoping review. *Food Analytical Methods*, 14(5), 897–921. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01923-z>
- Al-Qarawi, A. A., Ali, B. H., Al-Mougy, S. A., & Mousa, H. M. (2003). Gastrointestinal transit in mice treated with various extracts of date (*Phoenix dactylifera* L.). *Food and Chemical Toxicology*, 41(1), 37–39. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(02\)00203-X](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(02)00203-X)
- Allam, A., Djafri, K., Bergouia, M., Khemissat, E.-H., Tama, M., & Taleb, B. (2021). Morphological and physicochemical characterisation of date palm cultivars from Ghardaïa (Southeast Algeria). *Journal of Applied Life Sciences and Environment*, 54(1), 12–24. <https://doi.org/10.46909/journalalse-2021-002>
- American Diabetes Association. (2024). Standards of care in diabetes—2024. *Diabetes Care*, 47(Suppl. 1), S1–S4. <https://doi.org/10.2337/dc24-SINT>
- Anbar, H. S., Shehab, N. G., Yasin, A., Shaar, L. M., Ashraf, R., Rahi, Z., Alamir, R., Alsabbagh, D., Thabet, A., Altaas, I., Lozon, Y. A., El Rouby, N. M. M., & Shahiwala, A. (2024). The wound healing and hypoglycemic activities of date palm (*Phoenix dactylifera*) leaf extract and saponins in diabetic and normal rats. *PLOS ONE*, 19(9), e0308879. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308879>
- Barakat, H., & Alfheaid, H. A. (2023). Date palm fruit (*Phoenix dactylifera*) and its promising potential in developing functional energy bars: Review of chemical, nutritional, functional, and sensory attributes. *Nutrients*, 15(9), 2134. <https://doi.org/10.3390/nu15092134>
- Belhachemi, M. H., Belmir, S., Mebarek, M. O., Reffis, M., & Achour, F. Z. (2024). Evaluation of antioxidant activity in crude polysaccharide extracts from two date varieties (Tazerzait “Azerza” and Deglet-Nour). *Journal of Agriculture and Applied Biology*, 5(1), 75–85. <https://doi.org/10.11594/jaab.05.01.06>

- Belmir, S., Boucherit, K., Boucherit-Otmani, Z., & Belhachemi, M.-H. (2016). Effect of aqueous extract of date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) on therapeutic index of amphotericin B. *Phytothérapie*, 14(2), 97–101. <https://doi.org/10.1007/s10298-015-0961-z>
- Bentrad, N., & Hamida-Ferhat, A. (2020). Date palm fruit (*Phoenix dactylifera*): Nutritional values and potential benefits on health. In V. R. Preedy & R. R. Watson (Eds.), *The Mediterranean diet* (pp. 239–255). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818649-7.00022-9>
- Bouguedoura, N., Bennaceur, M., Babahani, S., & Benziouche, S. E. (2015). Date palm status and perspective in Algeria. In J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, & D. V. Johnson (Eds.), *Date palm genetic resources and utilization: Volume 1: Africa and the Americas* (pp. 125–168). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22279-2_6
- Chaira, N., Mrabet, A., & Ferchichi, A. (2009). Evaluation of antioxidant activity, phenolics, sugar and mineral contents in date palm fruits. *Journal of Food Biochemistry*, 33(3), 390–403. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2008.00253.x>
- Djaoud, K., Muñoz-Almagro, N., Benítez, V., Martín-Cabrejas, M. Á., Madani, K., Boulekbache-Makhlouf, L., & Villamiel, M. (2022). New valorization approach of Algerian dates (*Phoenix dactylifera* L.) by ultrasound pectin extraction: Physicochemical, techno-functional, antioxidant and antidiabetic properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.115>
- Dhahri, M., Sioud, S., Alsuhaymi, S., Almulhim, F., Haneef, A., Saoudi, A., Jaremko, M., & Emwas, A. H. M. (2023). Extraction, characterization, and antioxidant activity of polysaccharides from ajwa seed and flesh. *Separations*, 10(2), 103. <https://doi.org/10.3390/separations10020103>
- Egan, A. M., & Dinneen, S. F. (2019). What is diabetes? *Medicine*, 47(1), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.mpmmed.2018.10.002>

- El-Abhar, H. S., & Schaalan, M. F. (2014). Phytotherapy in diabetes: Review on potential mechanistic perspectives. *World Journal of Diabetes*, 5(2), 176–197. <https://doi.org/10.4239/wjd.v5.i2.176>
- El Arem, A., Saafi, E. B., Mechri, B., Lahouar, L., Issaoui, M., Hammami, M., & Achour, L. (2012). Effects of the ripening stage on phenolic profile, phytochemical composition and antioxidant activity of date palm fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(44), 10896–10902. <https://doi.org/10.1021/jf302602v>
- El-Haci, I. A., Bekkara, F. A., Mazari, W., & Gherib, M. (2013). Phenolics content and antioxidant activity of some organic extracts of endemic medicinal plant *Anabasis aretioides* Coss. & Moq. from Algerian Sahara. *Pharmacognosy Journal*, 5(3), 108–112. <https://doi.org/10.1016/j.phcgj.2013.05.004>
- FAO. (2024). *FAOSTAT statistical database: Production of dates: Top 10 producers, 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/>
- Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Sayas-Barberá, E., Navarro-Rodríguez de Vera, C., & Pérez-Álvarez, J. Á. (2022). Biological, nutritive, functional and healthy potential of date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.): Current research and future prospects. *Agronomy*, 12(4), 876. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040876>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Crops and livestock products – Algeria: Dates*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat>
- Ghnimi, S., Umer, S., Karim, A., & Kamal-Eldin, A. (2017). Date fruit (*Phoenix dactylifera* L.): An underutilized food seeking industrial valorization. *NFS Journal*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.12.001>
- Governa, P., Bainsi, G., Borgonetti, V., Cettolin, G., Giachetti, D., Magnano, A. R., Miraldi, E., & Biagi, M. (2018). Phytotherapy in the management of diabetes: A review. *Molecules*, 23(1), 105. <https://doi.org/10.3390/molecules23010105>
- Gülçin, İ. (2025). Antioxidants: A comprehensive review. *Archives of Toxicology*, 99, 1893–1997. <https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2>

- Haddouchi, F., Chaouche, T. M., Saker, M., Ghellai, I., & Boudjemai, O. (2021). Phytochemical screening, phenolic content and antioxidant activity of *Lavandula* species extracts from Algeria. *Istanbul Journal of Pharmacy*, 51(1), 111–117. <https://doi.org/10.26650/IstanbulJPharm.2020.0051>
- Haimoud, S. A., Allem, R., & Merouane, A. (2016). Antioxidant and anti-inflammatory properties of widely consumed date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit varieties in Algerian oases. *Journal of Food Biochemistry*, 40(4), 463–471. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12227>
- Hasan, M., & Mohieldein, A. (2016). In vivo evaluation of antidiabetic, hypolipidemic, and antioxidative activities of Saudi date seed extract on streptozotocin-induced diabetic rats. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 10(3), FF06–FF12. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/16879.7419>
- Houstis, N., Rosen, E. D., & Lander, E. S. (2006). Reactive oxygen species have a causal role in multiple forms of insulin resistance. *Nature*, 440(7086), 944–948. <https://doi.org/10.1038/nature04634>
- International Diabetes Federation. (2021). *IDF Diabetes Atlas* (10th ed.). Brussels, Belgium: International Diabetes Federation. <https://diabetesatlas.org>
- Ishurd, O., Sun, C., Xiao, P., Ashour, A., & Pan, Y. (2002). A neutral β -D-glucan from dates of the date palm, *Phoenix dactylifera* L. *Carbohydrate Research*, 337(14), 1325–1328. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(02\)00138-6](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(02)00138-6)
- Jdaini, K., Alla, F., Mansouri, F., Parmar, A., & Elhoumaizi, M. A. (2023). Optimizing the extraction of phenolic antioxidants from date palm fruit by simplex-centroid solvent mixture design. *Heliyon*, 9(1), e12738. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12738>
- Jemni, M., Chniti, S., & Soliman, S. S. (2019). Date (*Phoenix dactylifera* L.) seed oil. In *Fruit oils: Chemistry and functionality* (pp. 815–829). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1_44
- Khan, S. A., Al Kiyumi, A. R., Al Sheidi, M. S., Al Khusaibi, T. S., Al Shehhi, N. M., & Alam, T. (2016). In vitro inhibitory effects on α -glucosidase and α -amylase levels and antioxidant potential of seeds of *Phoenix dactylifera* L. *Asian Pacific Journal*

- of *Tropical Biomedicine*, 6(4), 322–329.
<https://doi.org/10.1016/j.apitb.2015.11.008>
- LAPSAB. (2025). *Forme de la datte « Tedalla », photographie au laboratoire*. Laboratoire Antibiotiques Antifongiques : physico-chimie, synthèse et activité biologique, Université de Tlemcen.
- Li, M., Law, D., Zhu, S., Najm, A. A. K., Fazry, S., & Othman, B. A. (2024). Extraction, purification, characterization and antidiabetic mechanisms of plant polysaccharides: A critical review. *Turkish Journal of Biochemistry*, 49(5), 596–611. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/tjb-2024-0071/html>
- Lindsay, H. (1973). A colorimetric estimation of reducing sugars in potatoes with 3,5-dinitrosalicylic acid. *Potato Research*, 16(3), 176–179.
<https://doi.org/10.1007/BF02356048>
- Mansour, R. B., Serairi-Béji, R., & Ksouri, R. (2022). Date palm “Deglet Nour” (*Phoenix dactylifera*) fruit extracts: Functional components, antioxidant, anti-inflammatory activities and gastroprotective effect. *Journal of Natural Product Research and Applications*, 2(1), 12–29. <https://journals.univ-tlemcen.dz/JNPRA/index.php/JNPRA/article/download/36/30>
- Masmoudi-Allouche, F., Touati, S., Mnafigui, K., Gharsallah, N., El Feki, A., & Allouche, N. (2016). Phytochemical profile, antioxidant, antibacterial, antidiabetic and anti-obesity activities of fruits and pits from date palm (*Phoenix dactylifera* L.) grown in south of Tunisia. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 5(3), 15–22. <https://www.phytojournal.com/archives/2016/vol5issue3/PartA/5-2-10-841.pdf>
- Misbah, A., Essarioui, A., & Noutfia, Y. (2022). Technologies post-récolte pour la préservation de la qualité des dattes durant le stockage. *African and Mediterranean Agricultural Journal-AI Awamia*, (134), 30–59.
<https://revues.imist.ma/index.php/Afrimed/article/view/31638>
- Nathan, D. M. (2015). Diabetes: Advances in diagnosis and treatment. *JAMA*, 314(10), 1052–1062. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.9536>
- Ouamnina, A., Alahyane, A., Elateri, I., Boutasknit, A., & Abderrazik, M. (2024). Relationship between phenolic compounds and antioxidant activity of some

- Moroccan date palm fruit varieties (*Phoenix dactylifera* L.): A two-year study. *Plants*, 13(8), 1119. <https://doi.org/10.3390/plants13081119>
- Rains, J. L., & Jain, S. K. (2011). Oxidative stress, insulin signaling, and diabetes. *Free Radical Biology and Medicine*, 50(5), 567–575. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.12.006>
- Rjeibi, I., Zaabi, R., & Jouida, W. (2020). Characterization of polysaccharides extracted from pulps and seeds of *Crataegus azarolus* L. var. aronia: Preliminary structure, antioxidant, antibacterial, α -amylase, and acetylcholinesterase inhibition properties. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, Article 1903056. <https://doi.org/10.1155/2020/1903056>
- Robertson, R. P. (2004). Chronic oxidative stress as a central mechanism for glucose toxicity in pancreatic islet beta cells in diabetes. *Journal of Biological Chemistry*, 279(41), 42351–42354. <https://doi.org/10.1074/jbc.R400019200>
- Saleh, E. A., Tawfik, M. S., & Abu-Tarboush, H. M. (2011). Phenolic contents and antioxidant activity of various date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits from Saudi Arabia. *Food and Nutrition Sciences*, 2(10), 1134–1141. <https://doi.org/10.4236/fns.2011.210152>
- Seddiki, M., Ould El Hadj, M. D., Messai-Mohamed, A., Boual, Z., Belkhalifa, H., Rahmani, Y., & Michaud, P. (2024). Polysaccharides from the fruits of *Balanites aegyptiaca* Del.: Preliminary characterization, antioxidant, hypoglycaemic, and anti-inflammatory activities. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 8(11), 9330–9338. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v8i11.50>
- Vayalil, P. K. (2002). Antioxidant and antimutagenic properties of aqueous extract of date fruit (*Phoenix dactylifera* L. Arecaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 610–617. <https://doi.org/10.1021/jf010716t>
- Wickramaratne, M. N., Punchihewa, J. C., & Wickramaratne, D. B. M. (2016). In vitro alpha amylase inhibitory activity of the leaf extracts of *Adenanthera pavonina*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 466. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1452-y>
- Worthington, C. (1988). Worthington enzyme manual: Alpha amylase. Enzymes and related biochemicals (pp. 38–42). Worthington Biochemical Corporation.

- Xiao-Ping, Y. E., Chun-Qing, S. O. N. G., Ping, Y. U. A. N., & Ren-Gang, M. A. O. (2010). α -Glucosidase and α -amylase inhibitory activity of common constituents from traditional Chinese medicine used for diabetes mellitus. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 8(5), 349–352. [https://doi.org/10.1016/S1875-5364\(10\)60041-6](https://doi.org/10.1016/S1875-5364(10)60041-6)
- Yang, D. R., Wang, M. Y., Zhang, C. L., & Wang, Y. (2024). Endothelial dysfunction in vascular complications of diabetes: A comprehensive review of mechanisms and implications. *Frontiers in Endocrinology*, 15, 1359255. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1359255>
- Yuan, Y., Liu, Y., Liu, M., Chen, Q., Jiao, Y., Liu, Y., & Meng, Z. (2017). Optimization extraction and bioactivities of polysaccharide from wild *Russula griseocarnosa*. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25(4), 523–530. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2017.04.018>
- Zhang, B., Deng, Z., Ramdath, D. D., Tang, Y., Chen, P. X., Liu, R., Liu, Q., & Tsao, R. (2015). Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chemistry*, 172, 862–872. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.144>
- Zheng, Y., Ley, S. H., & Hu, F. B. (2018). Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(2), 88–98. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2017.151>

