

UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques



Année : 2025

N° d'enregistrement :
/...../...../...../...../

THESE

**En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat ès-Sciences
en Sciences Agronomiques.**

Spécialité : Agronomie Saharienne

**Caractérisation physico-chimique et biochimique des
dattes des cultivars dominants et spécifiques de la région
d'Adrar**

Soutenue publiquement le : 12/06/ 2025

Par

BAHIANI Malika

Devant le jury composé de :

OULD EL HADJ Mohamed Didi	Pr	UKM-Ouargla	Président
BABAHANI Souad	Pr	UKM-Ouargla	Directrice de thèse
CHABANE Djamila	Pr	USTHB-Bab Ezzouar	Examinatrice
CHAOUCHE Tariq Mohammed	Pr	UABB-Tlemcen	Examinateur
NANI Abdelhafid	Pr	UAD-Adrar	Examinateur
SAYAH Zineb	MCA	UKM-Ouargla	Examinatrice

Année universitaire : 2024/2025.

Remerciements

MES REMERCIEMENTS À ALLAH, LE TOUT PUISSANT QUI M'A ACCORDÉ LE COURAGE, LA SANTÉ ET LA PATIENCE POUR FINIR CE MODESTE TRAVAIL !

À l'éminent Professeur et Président du jury,

❖ **Professeur Ould El Hadj Mohamed Didi**, de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla, soit remercié pour l'honneur qu'il m'accorde en acceptant de présider ce jury !

À l'éminente Professeure et Directrice de thèse,

❖ Je tiens à exprimer mes plus chers et vifs remerciements à ma Directrice de thèse, la **Professeure Babahani Souad**, de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla, qui m'a toujours apportée son soutien tout au long de ce parcours en me témoignant une confiance sans faille, un soutien inconditionnel et une attention bienveillante. « Merci pour votre patience, pour vos corrections et vos orientations qui ont enrichi ce manuscrit ! ».

Aux éminents Professeurs et examinateurs, à qui j'assure ma gratitude. Qu'ils puissent accepter mes vifs remerciements pour le temps qu'ils accorderont à évaluer la présente thèse malgré leurs nombreuses charges !

❖ **Professeur Nani Adelhafid**, de l'Université Ahmed Draia d'Adrar. En plus de l'évaluation de la présente étude, je tiens à lui exprimer ma reconnaissance ! Ma conversion scientifique, devenue une nouvelle passion, vers une discipline aussi passionnante que les « antioxydants alimentaires » n'aurait jamais pu se faire sans son accompagnement aussi bien scientifique que technique ! « *Merci de m'avoir soutenue, accompagnée dans ce long parcours de thèse de son début à sa fin !* »

❖ **Professeure Chabane Djamila**, de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène,

❖ **Professeur Chaouche Tariq Mohammed**, de l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen,

❖ **Docteure Sayah Zineb**, de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla.

La présente thèse de doctorat est l'aboutissement d'un travail dont une partie a été effectuée à l'Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien (URER.MS) d'Adrar et une partie à l'Université Ahmed Draia d'Adrar.

À cet effet,

❖ Que le **Professeur Hadjadj Ahmed**, actuellement Directeur de l'URER.MS, puisse croire en mon profond respect et en mes sincères souhaits de réussite dans l'accomplissement de sa nouvelle mission.

❖ J'exprime ma profonde reconnaissance à tous les directeurs de l'URER/MS qui se sont succédé : **Professeur Hamouda Messaoud**, **Docteur Sadok Mohamed** et **Professeur Mouhadjer Samir**.

❖ Sans omettre de remercier avec ma profonde gratitude le **Professeur Djarfour Nouredine** et le **Professeur Bouallala M'hammed**, ex. vice-Doyens, à l'Université Ahmed Draia.

Qu'il me soit permis d'exprimer mes vifs remerciements et mon profond respect aux éminents professeurs qui m'ont encouragée

- ❖ Que le **Professeur Chehema Abdelmadjid** soit assuré de ma profonde gratitude pour m'avoir accueillie dans le laboratoire des « Bioressources Sahariennes », de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla.
- ❖ Au **Professeure Gernigon-Spychalowicz Thérèse** de l'USTHB et au **Professeur Iddou Abdelkader**, Directeur de l'École Supérieure d'Agriculture Saharienne d'Adrar (ESASA), pour leurs encouragements !

Je me dois également d'exprimer ma profonde reconnaissance,

- ❖ À **M^{me} Bobekar Keltoum** et **M. Bensaid Achour**, ingénieurs au laboratoire d'analyses physico-chimiques de l'URER.MS, pour leur collaboration technique dans la partie expérimentale relative à la caractérisation morphologique et en métabolites primaires, en leur souhaitant tout l'épanouissement possible dans leurs carrières professionnelles ! Sans omettre de remercier **M. Kaidi Kamel**.
- ❖ À **M. Boukhetache Ishak**, du laboratoire pédagogique de chimie et de génie des procédés de l'Université Ahmed Draia d'Adrar, pour sa collaboration technique dans la partie expérimentale de la caractérisation phytochimique. « Dans ce parcours qui nous a réunis, tu m'as permis d'élargir l'éventail de techniques qui pour moi étaient innovantes et que je maîtrise aujourd'hui grâce à ton assistance technique sans faille et aussi à ta patience !
- ❖ Et à tout le personnel du laboratoire pédagogique de chimie et du laboratoire de génie des procédés de l'Université Ahmed Draia d'Adrar

À l'issue de la présente thèse, mes vifs remerciements à tous mes collègues et à tout le personnel de l'URER.MS,

- ❖ Particulièrement les chercheurs ayant fourni leur aide dans un des aspects de la thèse : **M. Khelafi Mostefa**, **M. Moungar Houcine**, **M. Marouedj Rachid** et **M. Nacaibia Amar**.

À tous les collègues que j'ai eu la chance de côtoyer professionnellement et amicalement à travers mon parcours professionnel,

Tous mes collègues de l'**Université Ahmed Draia d'Adrar**, particulièrement **M. Mlouki Abdekrim** pour sa contribution. Et tous mes collègues de l'**INRAA**, de la **Direction de L'Environnement et des Énergies Renouvelables** et de la **DSA** d'Adrar.

Je ne peux omettre d'adresser toute ma gratitude et mon profond respect,

- ❖ Aux **délégués agronomes** des communes sélectionnées, qui m'ont accompagnée dans mes enquêtes prospectives et d'échantillonnage.
- ❖ Aux **agriculteurs oasiens** du **Touat**, du **Tidikelt** et du **Gourara** qui m'ont permis d'effectuer des opérations d'échantillonnage dans leurs jardins ! **Merci également à leurs chères femmes** qui m'ont accueillie dans leurs maisons ;
- ❖ Et à **tous les enfants que j'ai pu rencontrer dans les palmeraies !**



Dédicaces

À la mémoire de mes **chers défunts parents**, qui ont fait de moi la femme que je suis aujourd'hui ! Qui m'ont toujours accompagnée dans mes choix et dans mes aspirations avec une confiance absolue !

« Merci pour l'héritage d'amour et de solidarité que vous avez laissé derrière vous ! »

Qu'Allah leur accorde sa miséricorde et son vaste paradis !

À **mes chers frères** ! Merci d'avoir soutenu tous mes choix de vie et de me soutenir à ce jour ! Merci de remplir ma vie d'amour et de respect !

À **mes chères sœurs** ! Merci de remplir ma vie d'amour et de complicité avec une attention toujours inconditionnelle !

« Qu'Allah nous maintienne, frères et sœurs, dans l'amour, le respect et la solidarité ! »

À **mes chères nièces et mes chers neveux** ! Merci d'illuminer ma vie de rires et de lumière ! Merci pour votre amour inconditionnel ! Particulièrement le petit **Malik** ! « Qu'Allah vous guide à prendre toujours les bonnes résolutions ! »

À **mes chères belles-sœurs, mes chers beaux-frères et tous les membres de ma famille** !

À **mes amies** !

À la mémoire de mon cher beau-frère, Saïd !

Qu'Allah lui accorde sa miséricorde et son vaste paradis !



Caractérisation physico-chimique et biochimique des dattes des cultivars dominants et spécifiques de la région d'Adrar

Résumé

La région d'Adrar située dans le Sahara algérien, est caractérisée à travers ses trois régions phœnicicoles : le Touat, le Gourara et le Tidikelt par une biodiversité remarquable du palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L., estimée à plus de 400 cultivars. La présente étude se veut d'évaluer le profil nutritionnel et la qualité de vingt cultivars de dattes en fonction de leurs caractéristiques morphologiques et biochimiques, phytochimiques et de leur potentiel antioxydant.

Les teneurs en composés phénoliques et l'évaluation des activités antioxydantes ont été déterminées sur des extraits obtenus par macération dans du méthanol/acétone/eau. La capacité antioxydante a été évaluée par les tests DPPH[•], ABTS^{•+} et FRAP.

Le rapport entre le poids de la pulpe et celui de la datte se situe entre 83,81 et 94,99 %. Le pH est compris entre $5,02 \pm 0,01$ et $7,31 \pm 0,01$, l'acidité titrable entre $0,17 \pm 0,02$ et $0,76 \pm 0,02$ %, l'humidité entre $14,28 \pm 0,89$ et $44,89 \pm 1,21$ % et la teneur en cendres entre $1,60 \pm 0,14$ et $3,80 \pm 0,08$ %. Les sucres totaux varient de $63,09 \pm 0,96$ à $87,67 \pm 1,26$ %, les sucres réducteurs de $21,61 \pm 1,21$ à $54,63 \pm 0,32$ %, le saccharose de $8,04 \pm 0,31$ à $62,75 \pm 1,15$ %. Néanmoins, tous les cultivars contiennent de petites quantités de lipides et de protéines allant respectivement de $0,03 \pm 0,00$ à $0,44 \pm 0,02$ % et de $2,16 \pm 0,2$ à $4,55 \pm 0,23$ %.

En termes de composition phénolique, nos résultats indiquent que les teneurs en polyphénols totaux varient de $97,75 \pm 12,10$ à $421,15 \pm 1,53$ mg EAG/100 g MS, les flavonoïdes totaux de $14,46 \pm 0,13$ à $59,53 \pm 3,76$ mg EC/100 g MS, et les tanins condensés de $14,74 \pm 0,21$ à $74,62 \pm 1,45$ mg EC/100 g MS. La capacité antioxydante des extraits ternaires, évaluée par le test DPPH, a révélé des valeurs IC₅₀ comprises entre $0,026 \pm 0,01$ et $0,181 \pm 0,01$ mg/mL. En outre, l'activité antioxydante évaluée par les tests ABTS et FRAP a indiqué des valeurs respectivement comprises entre $865,19 \pm 14,01$ et $1815,16 \pm 16,52$ μmol ET/100 g MS et entre $863,50 \pm 69,96$ et $1980,46 \pm 97,00$ μmol ET/100 g MS.

La présente étude a révélé également que le mélange ternaire, comparé à d'autres mélanges a extrait des teneurs en polyphénols appréciables allant jusqu'à $421,15$ mg EAG/100 g MS, avec une activité antioxydante significative corrélée principalement aux tanins condensés.

Mots clés : Antioxydant, caractérisation, corrélations, dattes, polyphénols, région d'Adrar.

التوصيف الفيزيائي والكيميائي والحيوي للتمور من الأصناف السائدة والمحددة في منطقة أدرار

ملخص

تتميز منطقة أدرار الواقعة في الصحراء الجزائرية، من خلال مناطقها الثلاث لنخيل التمر: توات، قورارة وتيديكلت، بتنوع بيولوجي ملحوظ لنخيل التمر *Phoenix dactylifera L*. والذي يقدر بأكثر من 400 صنف. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم كل من الخصائص والقيمة الغذائية لعشرين (20) صنفاً من أصناف التمور من حيث الخصائص المورفولوجية، البيوكيميائية والكيمائيات النباتية، إضافة إلى قدراتها المضادة للأكسدة. تم تحديد محتوى المركبات الفينولية والنشاط المضاد للأكسدة بواسطة المستخلصات التي تم الحصول عليها عن طريق النقع في مزيج الميثانول/الأسيتون/الماء. تم تقييم قدرة مضادات الأكسدة عن طريق اختبارات $DPPH^{•+}$ و $ABTS^{•+}$ و FRAP.

تراوحت نسبة اللب إلى وزن التمر من 83.81 إلى 94.99%. تراوح الأس الهيدروجيني (pH) من 0.01 ± 5.02 إلى 0.01 ± 7.31 ، والحموضة القابلة للمعايرة من 0.02 ± 0.17 إلى 0.02 ± 0.76 ، والرطوبة من 0.89 ± 14.28 إلى 1.21 ± 44.89 ، ومحتوى الرماد من 0.14 ± 1.60 إلى 0.08 ± 3.80 %. تراوحت نسبة السكريات الكلية من 0.96 ± 63.09 إلى 1.26 ± 87.67 ، والسكريات المختزلة من 1.21 ± 21.61 إلى 0.32 ± 54.63 ، والسكريوز من 0.31 ± 8.04 إلى 1.15 ± 62.75 %. ومع ذلك، فإن جميع الأصناف تحتوي على كميات صغيرة من الدهون والبروتينات تتراوح من 0.00 ± 0.03 إلى 0.02 ± 0.44 ومن 0.2 ± 2.16 إلى 4.55 ± 0.23 % على التوالي.

بالنسبة لمحتوى المركب الفينولي، أظهرت نتائجنا أن إجمالي الفينولات تراوحت من 12.10 ± 97.75 إلى 1.53 ± 421.15 (مغ مكافئ حمض الغاليك/100 غ مادة جافة)، ومجموع الفلافونويدات من 0.13 ± 14.46 إلى 3.76 ± 59.53 (مغ مكافئ كاتيشين/100 غ مادة جافة)، والعص المكنث من 0.21 ± 14.74 إلى 1.45 ± 74.62 (مغ مكافئ كاتيشين/100 غ مادة جافة).

كشفت القدرة المضادة للأكسدة للمستخلصات الثلاثية، التي تم تقييمها بواسطة اختبار DPPH، عن قيم IC_{50} تتراوح من 0.026 ± 0.01 إلى 0.01 ± 0.181 مغ/مل. بالإضافة إلى ذلك، أشار النشاط المضاد للأكسدة الذي تم تقييمه بواسطة اختبارات ABTS و FRAP إلى قيم تتراوح بين 14.01 ± 865.19 و 52.16 ± 1815.16 (ميكرومول مكافئ ثرولوكس/100 غ مادة جافة) وبين 69.96 ± 97.00 و 1980.46 ± 97.00 (ميكرومول مكافئ ثرولوكس/100 غ مادة جافة) على التوالي.

كشفت الدراسة الحالية أنه بالمقارنة مع الخلائط الأخرى، استخلص الخليط الثلاثي محتويات بوليفينول ملحوظة تصل إلى 421.15 (مغ مكافئ حمض الغاليك/100 غ مادة جافة)، مع نشاط كبير مضاد للأكسدة يرتبط بشكل رئيسي بالعص المكنث.

الكلمات المفتاحية: التمر، البوليفينولات، ترابط، تشخيص، منطقة أدرار، مضادات الأكسدة.

Physico-chemical and biochemical characterization of dates from dominant and specific cultivars of the Adrar region

Abstract

The Adrar region located in the Algerian Sahara, is characterized through its three date palm regions: Touat, Gourara and Tidikelt by a remarkable biodiversity of the date palm, *Phoenix dactylifera* L., estimated at more than 400 cultivars. The main objective of the present study is to assess the nutritional profile and quality of twenty (20) date cultivars in terms of their morphological and biochemical, phytochemical characteristics and their antioxidant potential.

Phenolic content and antioxidant activity were determined in extracts obtained by maceration in methanol/acetone/water. Antioxidant capacity was assessed by DPPH[•], ABTS^{•+}, and FRAP assays.

The ratio of pulp to date weight ranged from 83.81 to 94.99 %. The pH ranged from 5.02 ± 0.01 to 7.31 ± 0.01 , titratable acidity from 0.17 ± 0.02 to $0.76 \pm 0.02\%$, moisture from 14.28 ± 0.89 to $44.89 \pm 1.21\%$ and ash content from 1.60 ± 0.14 to $3.80 \pm 0.08\%$. Total sugars ranged from 63.09 ± 0.96 to $87.67 \pm 1.26\%$, reducing sugars from 21.61 ± 1.21 to 54.63 ± 0.32 , and sucrose from 8.04 ± 0.31 to $62.75 \pm 1.15\%$. Nevertheless, all cultivars contain small amounts of lipids and proteins ranging from 0.03 ± 0.00 to $0.44 \pm 0.02\%$ and from 2.16 ± 0.2 to $4.55 \pm 0.23\%$, respectively.

For phenolic compound content, our results show that total phenolics ranged from $97,75 \pm 12,10$ to $421,15 \pm 1,53$ mg GAE/100 g DW, total flavonoids from $14,46 \pm 0,13$ to $59,53 \pm 3,76$ mg CE/100 g DW, and condensed tannins from $14,74 \pm 0,21$ to $74,62 \pm 1,45$ mg CE/100 g DW.

The antioxidant capacity of ternary extracts, assessed by the DPPH test, revealed IC₅₀ values ranging from 0.026 ± 0.01 to 0.181 ± 0.01 mg/mL. In addition, antioxidant activity assessed by ABTS and FRAP tests indicated values between 865.19 ± 14.01 and 1815.16 ± 16.52 $\mu\text{mol TE}/100$ g DW and between 863.50 ± 69.96 and 1980.46 ± 97.00 $\mu\text{mol TE}/100$ g DW, respectively.

The present study revealed that compared to other mixtures, the ternary mixture extracted appreciable polyphenol contents of up to 421.15 mg GAE/100 g DM, with significant antioxidant activity correlated mainly to condensed tannins.

Keywords: Adrar region, antioxidant, characterization, correlations, dates, polyphenol

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	01
ÉTAT DE L'ART : CHAPITRE I- PALMIER DATTIER	
I. Palmier dattier	05
I.1. Généralités	05
I.2. Position systématique	07
I.3. Morphologie, évolution et classification des dattes	07
I.3.1. Description botanique	07
I.3.2. Stades d'évolution de la datte	08
I.3.3. Classification des dattes	10
I.4. Composition biochimique de la datte	12
I.4.1. Principaux constituants de la datte	12
I.4.2. Autres constituants	15
I.5. Aire de distribution et production	17
I.5.1. Dans le monde	17
I.5.2. En Algérie	18
I.6. Composition variétale	20
I.6.1. Dans le monde	20
I.6.2. En Algérie	20
I.7. Utilisation des produits et des sous-produits du palmier dattier	25
I.7.1. Utilisation traditionnelle	25
I.7.2. Utilisation technologique et biotechnologique	28
ÉTAT DE L'ART : CHAPITRE II- POLYPHÉNOLS ET POUVOIR ANTIOXYDANT	
II. Polyphénols et pouvoir antioxydant	31
II.1. Polyphénols	31
II.1.1. Classification	31
II.1.1.1. Acides phénoliques	32
II.1.1.2. Flavonoïdes	33
II.1.1.3. Tanins	35
II.1.1.4. Stilbènes	36
II.1.1.5. Lignanes	36
II.1.2. Polyphénols du palmier dattier	36
II.2. Radicaux libres et stress oxydatif	41
II.2.1. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)	41
II.2.2. Espèces réactives de l'azote (RNS)	43
II.2.3. Espèces réactives du chlore (RCS)	44
II.2.4. Production des radicaux libres	45
II.2.4.1. Sources endogènes	45

II.2.4.2. Sources exogènes	47
II.2.5. Stress oxydatif ou stress oxydant	48
II.2.6. Lésions cellulaires causées par les radicaux libres	48
II.3. Pouvoir antioxydant	49
II.3.1. Système de défense des antioxydants endogènes	49
II.3.2. Système de défense des antioxydants exogènes	51
II.3.3. Tests d'évaluation du pouvoir antioxydant <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i>	52
II.4. Intérêts et propriétés des polyphénols	55
II.4.1. Propriétés physiologiques	55
II.4.2. Propriétés technologiques	55
II.4.3. Propriétés biologiques	56
II.4.3.1. Propriétés biologiques des polyphénols du palmier dattier	57

CHAPITRE III- MATÉRIEL ET MÉTHODES

III. Matériel et méthodes	61
III.1. Présentation de la région d'étude	61
III.1.1. Données physiques	62
III.1.2. Données climatiques	62
III.1.3. Systèmes de production agricole	64
III.1.4. Données hydrogéologiques et irrigation	66
III.1.5. Stress biotiques et abiotiques	69
III.2. Matériel végétal	73
III.2.1. Sites d'échantillonnage	73
III.2.2. Critères de choix des cultivars	73
III.2.3. Méthode d'échantillonnage	77
III.3. Méthodes d'analyse	78
III.3.1. Caractérisation biométrique	78
III.3.2. Caractérisation physico-chimique	79
III.3.2.1. Détermination de la teneur en eau	79
III.3.2.2. Détermination du pH	79
III.3.2.3. Détermination de l'acidité titrable	79
III.3.2.4. Détermination de la teneur en cendres	80
III.3.3. Caractérisation biochimique en métabolites primaires	81
III.3.3.1. Détermination de la teneur en matières grasses (lipides)	81
III.3.3.2. Détermination de la teneur en protéines	81
III.3.3.3. Détermination de la teneur en sucres totaux	82
III.3.3.4. Détermination de la teneur en sucres réducteurs	83
III.3.3.5. Détermination de la teneur en saccharose	85
III.3.3.6. Détermination de la valeur énergétique	85
III.3.4. Évaluation de la qualité des dattes	85
III.3.5. Extractions et caractérisation en composés phénoliques	86
III.3.5.1. Extractions	86
III.3.5.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux	90
III.3.5.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux	91
III.3.5.4. Détermination de la teneur en tanins condensés	92
III.3.6. Evaluation de la capacité antioxydante par des tests <i>in vitro</i>	94

III.3.6.1. Test de piégeage du radical libre DPPH [•] et cinétique	94
III.3.6.2. Test de réduction du radical cation ABTS ^{•+}	96
III.3.6.3. Test de réduction du fer (FRAP: Ferric reducing antioxidant power)	98
III.3.7. Analyses statistiques des données	99
III.4. Prises de photos	99

CHAPITRE IV- RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV. Résultats et Discussions	101
IV.1. Caractérisation morphologique et biométrique	101
IV.2. Caractérisation physico-chimique et biochimique en métabolites primaires	108
IV.2.1. Caractérisation physico-chimique	108
IV.2.1.1. Teneurs en eau	108
IV.2.1.2. pH	110
IV.2.1.3. Acidité titrable	111
IV.2.1.4. Teneurs en cendres	112
IV.2.2. Caractérisation biochimique en métabolites primaires	114
IV.2.2.1. Teneurs en matières grasses (lipides)	114
IV.2.2.2. Teneurs en protéines	115
IV.2.2.3. Teneurs en sucres totaux	116
IV.2.2.4. Teneurs en sucres réducteurs	117
IV.2.2.5. Teneurs en saccharose	118
IV.2.2.6. Valeurs énergétiques	120
IV.2.3. Indice de qualité « R »	121
IV.3. Evaluation de la qualité des dattes	123
IV.4. Caractérisation en composés phénoliques	128
IV.4.1. Teneurs en composés phénoliques dans la mixture ternaire	128
IV.4.1.1. Teneurs en polyphénols totaux	128
IV.4.1.2. Teneurs en flavonoïdes totaux	133
IV.4.1.3. Teneurs en tanins condensés	134
IV.4.2. Teneurs des flavonoïdes totaux dans les fractions liquide-liquide d'extraits flavonoïdiques	134
IV.4.3. Teneurs des tanins condensés dans les fractions liquide-liquide d'extraits tanniques	137
IV.5. Capacité antioxydante <i>in vitro</i>	140
IV.5.1. Test de piégeage du radical libre DPPH [•]	140
IV.5.1.1. Test de piégeage du radical libre DPPH [•] exprimé en EC50	142
IV.5.1.2. Cinétique du pouvoir de piégeage du radical libre DPPH [•]	144
IV.5.2. Test de réduction du radical cation ABTS ^{•+}	147
IV.5.3. Test de réduction du fer (FRAP)	148
IV.6. Analyses statistiques des données	150
IV.6.1. Analyse en composantes principales (ACP)	150
IV.6.1.1. Matrice de corrélation globale	150
IV.6.1.2. Cercles de corrélation	154
IV.6.1.3. Projection des cultivars de dattes par rapport aux variables physico-chimiques et biochimiques	155
IV.6.2. Analyses par Clustering	157
IV.6.2.1. Clustering K-Means	157

IV.6.2.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)	159
IV.6.3 Matrice de corrélation entre les composés phénoliques et la capacité antioxydante	162
IV.7. Discussion générale sur les polyphénols et la capacité antioxydante	166
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	169
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	171
ANNEXES	197

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
01	Stades d'évolution et différentes appellations de la datte	09
02	Classification des dattes selon l'indice de qualité « R »	11
03	Classification des dattes selon leur composition en sucres et en eau	12
04	Nombre et principaux cultivars dans les dix premiers pays producteurs de dattes	21
05	Nombre et principaux cultivars de dattes des régions phœnicicoles algériennes	22
06	Principaux aspects de valorisation traditionnelle des sous-produits du palmier dattier	29
07	Quelques aspects de valorisation technologique et biotechnologique des produits et des sous-produits du palmier dattier	30
08	Polyphénols identifiés dans le palmier dattier, <i>Phoenix dactylifera</i> L.	40
09	Principales sources, endogènes et exogènes, de production des radicaux libres	48
10	Principaux systèmes des antioxydants endogènes et exogènes	52
11	Caractéristiques des tests antioxydants DPPH, ABTS et FRAP	54
12	Données climatiques de la région d'Adrar (2010-2020)	63
13	Liste des communes et des ksour sélectionnés pour l'échantillonnage des dattes	74
14	Noms des cultivars de dattes avec les codes respectifs	77
15	Différents facteurs de conversion de l'acidité titrable, correspondants aux différents acides organiques	80
16	Critères d'évaluation qualitative des dattes	85
17	Caractéristiques morphologiques des vingt cultivars de dattes	102
18	Indices de qualité « R » des vingt cultivars de dattes	122
19	Qualité des vingt cultivars de dattes	124
20	Comparaison des teneurs des polyphénols totaux de la présente étude avec la littérature	131
21	Matrice de corrélation globale des variables biométriques, physico-chimiques et biochimiques des vingt cultivars de dattes	153
22	Coefficient de corrélation "Pearson" entre l'activité antioxydante et les composés phénoliques des douze extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire	163

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
01	Inflorescences du palmier dattier et pollinisation	06
02	Palmier dattier du cultivar <i>Hmira</i>	07
03	Morphologie du fruit et du noyau du cultivar « <i>Taqerbucht Kahla</i> » au stade Tamr	08
04	Les dix premiers pays producteurs de dattes	18
05	Production de dattes de la wilaya d'Adrar	19
06	Quelques cultivars de dattes de la région du Gourara	24
07	Points de vente des cultivars de dattes dans le marché local « Bouda », dans la région du Touat	25
08	Classification des polyphénols	32
09	Classification des tanins	35
10	Structures chimiques de quelques polyphénols contenus dans la pulpe de datte	39
11	Formation en cascade des différentes espèces réactives	43
12	Synthèse biologique du monoxyde d'azote (NO [•]) à partir de l'arginine	44
13	Principaux sites cellulaires impliqués dans la production des espèces réactives de l'oxygène	46
14	Activités biologiques du fruit du palmier dattier	57
15	Cartographie des trois régions phœnicicoles de la région d'Adrar	61
16	Système agricole traditionnel (Ksar, palmeraie et foggara) de la région d'Adrar	68
17	Principaux bio-agresseurs du palmier dattier <i>Phoenix.dactylifera</i> L., dans les trois régions phœnicicoles : Touat Gourara et Tidikelt	72
18	Cartographie des palmeraies prospectées et du site de l'échantillonnage des dattes des régions phœnicicoles : Touat Gourara et Tidikelt	75
19	Photos des vingt cultivars de dattes échantillonnés au stade « Tamr »	76
20	Gamme et courbe d'étalonnage du glucose pour le dosage des sucres totaux	83
21	Principe de la réaction du DNS avec les sucres réducteurs	84
22	Gamme et courbe d'étalonnage du glucose pour le dosage des sucres réducteurs	84
23	Protocole de préparation des fractions liquide-liquide des extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques	88
24	Protocole de préparation des fractions liquide-liquide des extraits des cultivars de dattes, tanniques	89
25	Gamme et courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux	90
26	Principe de la réaction du chlorure d'aluminium (AlCl ₃) avec les flavonoïdes	91
27	Gamme et courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux	92
28	Principe de la réaction de la vanilline avec les monomères catéchiques	92
29	Gamme et courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des tanins condensés	93
30	Mécanisme de réduction du radical DPPH [•] par un antioxydant (AH)	94
31	Activité antiradicalaire de l'acide gallique, de la vitamine C et de l'extrait de datte ternaire du cultivar <i>Taqerbucht Safra</i> , par le test au DPPH	95
32	Mécanisme de réduction du radical cation ABTS ^{•+} par un antioxydant (Trolox)	96

Numéro	Titre	Page
33	Gamme et courbe d'étalonnage du Trolox pour le test ABTS	97
34	Mécanisme de réduction du complexe Fe ³⁺ - TPTZ par les antioxydants	98
35	Gamme et courbe d'étalonnage du Trolox pour le test FRAP	99
36	Schéma global récapitulant la partie expérimentale	100
37	Aspects de la forme du calice au stade de maturation « Khalal », selon IPGRI	103
38	Position du pore germinatif du noyau et type de protubérances (cultivar <i>Taqerbucht Safra</i>)	104
39	Caractéristiques biométriques des vingt cultivars de dattes	105
40	Teneurs en eau, en cendres, pH et acidité titrable des vingt cultivars de dattes	110
41	Teneurs en lipides et en protéines des vingt cultivars de dattes	114
42	Teneurs en sucres totaux, en sucres réducteurs, en saccharose et valeurs énergétiques des vingt cultivars de dattes	117
43	Classification des vingt cultivars de dattes selon leur consistance, définie par l'indice de qualité « R »	122
44	Teneurs en composés phénoliques : PT, FT et TC des vingt extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire	129
45	Teneurs en flavonoïdes totaux des fractions « acétate d'éthyle, n-butanol et aqueuse » des douze extraits des cultivars de dattes, flavonoïdiques	136
46	Teneurs en tanins condensés des fractions « acétate d'éthyle, et aqueuse » des douze extraits des cultivars de dattes, tanniques	138
47	Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH [*] des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « molle »	141
48	Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH [*] des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « demi- molle et demi-sèche »	141
49	Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH [*] des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « sèche »	142
50	Test de piégeage du radical libre DPPH [*] , exprimé en EC50, des douze extraits ternaires des cultivars de dattes et des références	143
51	Cinétique du piégeage du radical libre DPPH [*] des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « molle »	145
52	Cinétique du piégeage du radical libre DPPH [*] des extraits ternaires des cultivars de dattes de consistance « demi-molle et demi-sèche »	145
53	Cinétique du piégeage du radical libre DPPH [*] des extraits ternaires des cultivars de dattes de consistance « sèche »	146
54	Capacité antioxydante des douze extraits ternaires des cultivars de dattes, évaluée par les tests ABTS et FRAP	147
55	Cercle de corrélation des variables physico-chimiques et biochimiques	155
56	Projection des vingt cultivars de dattes par rapport aux variables physico-chimiques et biochimiques	156
57	ACP couplée à une classification ascendante hiérarchique K-Means, des 20 extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire, selon les trois variables PT, FT et TC	158
58	Classification ascendante hiérarchique (CAH) selon les trois variables PT, FT et TC, des douze extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire	160
59	Classification ascendante hiérarchique (CAH) selon les trois variables des tests antioxydants DPPH, ABTS et FRAP des douze extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire	162

Liste des Annexes

Annexes 01 : Cartes épidémiologiques de la maladie du Bayoud dans la région d'Adrar (Figures)

Numéro	Titre	Page
01	Carte épidémiologique de la maladie du Bayoud au niveau du Touat	197
02	Carte épidémiologique de la maladie du Bayoud au niveau du Gourara	198
03	Carte épidémiologique de la maladie du Bayoud au niveau du Tidikelt	199
	Figures	

Annexes 02 : Caractérisation des dattes (Tableaux)

Numéro	Titre	Page
01	Caractéristiques biométriques des vingt cultivars de dattes	199
02	Caractéristiques physico-chimiques des vingt cultivars de dattes	200
03	Caractéristiques biochimiques (métabolites primaires) des vingt cultivars de dattes	201
04	Teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux et en tanins condensés des vingt extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire	202
05	Teneurs en flavonoïdes totaux des fractions acétate d'éthyle, n-butanol et aqueuses des douze extraits des cultivars de dattes, flavonoïdiques	203
06	Teneurs en tanins condensés des fractions acétate d'éthyle et aqueuses des douze extraits des cultivars de dattes, tanniques	203
07	Capacité antioxydante des douze extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire par les tests DPPH, ABTS et FRAP.	204

Liste des abréviations et des acronymes

ABTS: 2,20-Azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid);
Ac : Acide
ACP : Analyse en Composantes Principales
AHB : Acides Hydroxybenzoïques (HBA : Hydroxybenzoic acids)
AHC : Acides Hydroxycinnamiques (HCA : Hydroxycinnamic acids)
ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques
AOAC : Association of Official Analytical Chemists
APFA : Accession à la Propriété Foncière Agricole
ATP : Adénosine Triphosphate
BHA : Butylhydroxyanisol
BHT : Butylhydroxytoluène
BNEDER : Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural
C : Cultivar
CA : Capacité Antioxydante
CAH : Classification Ascendante Hiérarchique
CAT : Catalase
CDARS : Commissariat au Développement de l'Agriculture dans les Région Sahariennes.
CI : continental intercalaire
CT : complexe terminal
DNS : Acide 3,5-Dinitrosalicylique
DPPH : 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl
DSA : Direction des Services Agricoles
EAG : Equivalent Acide Gallique
EC : Equivalent Catéchine
EQ : Equivalent Quercétine
ER : Equivalent Rutine
ERC : Espèces réactives du chlore (RCS : Reactive chlorine species)
ERN : Espèces réactives de l'azote (RNS : Reactive nitrogen species)
ERO : Espèces réactives de l'oxygène (ROS : Reactive oxygen species)
ET: Equivalent Trolox
FAO: Food and Agriculture Organization
FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power;
FT : Flavonoïdes Totaux
Go : Gourara
GPx : Glutathion Peroxydase
INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique, Algérie
IPGRI : International Plant Genetic Resources Institute.
MADR : Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural.
MAE : Méthanol-Acétone-Eau
MeOH : Méthanol
MEV : mise en valeur
MF : Matière Fraîche
MS : Matière Sèche
ONM : Office National de Météorologie
POU : Protéines Organismes Unicellulaires
PME : Petites et Moyennes Entreprises

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET DES ACRONYMES

PNDA : Plan National de Développement Agricole

PT : Polyphénols Totaux

Qx : Quintaux

SASS : Système Aquifère du Sahara Septentrional

SOD : Superoxyde Dismutase

Syn. : Synonyme

TC : Tanins Condensés

TEAC : Trolox Equivalent Antioxydant Capacity

Ti : Tidikelt

To : Touat

TPTZ : 2,4,6-Tripyridyl-s-triazine

URER.MS : Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien.

V : Volume

µmoles : micromoles



INTRODUCTION

INTRODUCTION

La dattes, fruit du palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L., est un aliment glucidique/énergétique connu pour sa valeur nutritionnelle étroitement liée à sa richesse en sucres (fructose, glucose et saccharose), à son pouvoir énergétique élevé, à sa richesse en minéraux plastiques (Ca, S, P, Mg), en minéraux catalytiques (Fe, Mn), en fibres, en vitamines du groupe B (Reynes, 1997) et à faible à moyen index glycémique (Alzahrani *et al.*, 2023).

Aussi, de nombreux travaux ont démontré que la dattes est une source d'antioxydants, dont les caroténoïdes tels que la lutéine, le β -carotène (Boudries *et al.*, 2007) et les polyphénols, dont les flavonoïdes, les anthocyanes et les tanins condensés (Al-Farsi *et al.*, 2005b ; Mansouri *et al.*, 2005 ; Biglari *et al.*, 2008 ; Samad *et al.*, 2016 ; Bouhlali *et al.*, 2017 ; Souli *et al.*, 2018 et Bettaieb *et al.*, 2023). Comme l'attestent Yasin *et al.* (2015), les dattes ont la capacité de piéger efficacement les espèces réactives (ou radicaux libres) responsables du stress oxydatif, à travers leurs sources en antioxydants et dont les teneurs dépendent de plusieurs facteurs, dont les stades de maturation (Al-Farsi *et al.*, 2007 ; Amira *et al.*, 2012 ; Sayah, 2018 ; Tassoult *et al.*, 2021) et le facteur variétal (Al-Farsi *et al.*, 2007 ; Besbes *et al.*, 2009 ; Al-Harrasi *et al.*, 2014 ; Bouhlali *et al.*, 2017 ; Belguedj *et al.*, 2023).

Actuellement, il est établi que la qualité d'un fruit ou légume ne se limite pas qu'à sa richesse en vitamines, en minéraux, en fibres, en protéines et à sa valeur énergétique, mais dépendrait également de son statut antioxydant. L'équilibre de la ration et la complémentarité entre les différents macronutriments et micronutriments d'un produit sont un argument de santé et en faveur de la diète alimentaire. Ainsi, depuis quelques décennies, le choix d'un aliment par le consommateur est guidé par sa concentration en antioxydants : caroténoïdes, vitamines C et E, polyphénols (Issaoui *et al.*, 2020).

Au cours des deux dernières décennies, les polyphénols ont été de plus en plus étudiés en raison de leurs potentiels thérapeutiques et protecteurs, en tant qu'outil de prévention incontestable contre le développement de lésions oxydatives, qui peuvent entraîner de nombreuses maladies causées par l'inflammation excessive. Les potentiels thérapeutiques et protecteurs des polyphénols sont essentiellement attribués à leur capacité d'antioxydants autant que de piégeurs de radicaux libres et d'agents chélateurs de métaux et d'agents inhibant ou diminuant l'activité de certaines enzymes (Li *et al.*, 2014).

Par ailleurs, les polyphénols, par leurs propriétés technologiques, sont responsables de la coloration des fruits, des légumes et des fleurs, particulièrement certains flavonoïdes et anthocyanes (**Marfak, 2003**). Ils sont également impliqués dans la qualité organoleptique, particulièrement certains flavanones responsables de l'amertume des agrumes et les tanins condensés à l'origine de la sensation d'astringence (**Medel-Marabolí et al., 2017**). Par ailleurs, la communauté scientifique et les opérateurs industriels s'orientent de plus en plus vers des alternatives impliquant des produits naturels et les polyphénols, des fruits et des légumes, avec leurs propriétés technologiques comme additifs et conservateurs (**Williamson, 2017**), et leur pouvoir antioxydant sont une alternative prometteuse aux antioxydants de synthèse.

Le régime méditerranéen comprend principalement des aliments d'origine végétale avec une agrobiodiversité importante impliquant de nombreuses variétés locales, dont beaucoup contiennent des quantités remarquables et une grande variété de polyphénols (**Issaoui et al., 2020**) dont les cultivars de dattes du palmier dattier, le *Phoenix dactylifera* L.

Dans le monde, la diversité variétale du palmier dattier est estimée à plus de 3 000 cultivars (**Zaid, 2019**). Ces ressources phylogénétiques ont fait l'objet de nombreuses études de caractérisation par des marqueurs morphologiques, physiologiques, biochimiques ou moléculaires (**Jaradat, 2014 ; Bedjaoui, 2019**).

L'Algérie, à travers ses aires phœnicicoles, offre une grande diversité génétique, avec un patrimoine estimé à environ un millier de cultivars de dattes (**Hannachi et al., 1998**) dont une diversité estimée à Adrar à plus de 400 cultivars (**Bouguedoura et al., 2010**).

S'étendant sur la partie nord du sud-ouest algérien, Adrar (avant le dernier découpage administratif), intégrant les trois régions phœnicicoles, Touat (To), Gourara (Go) et Tidikelt (Ti), est une région principalement agricole où la culture du palmier dattier est le fondement de l'économie oasienne ; avec une agriculture familiale d'autosubsistance. Dans cette région, les palmeraies traditionnelles se distinguent par l'irrigation traditionnelle impliquant un système ancestral représenté par les foggaras. La superficie totale destinée à la phœniciculture est de 28 420 hectares, dont 16 381 ha sont réservés aux palmeraies traditionnelles qui comptent un nombre total de palmiers de 2 355 784 palmiers, dont 1 883 347 sont productifs (**DSA Adrar, 2021**).

Les trois régions phœnicicoles, Touat, Gourara et Tidikelt, se distinguent par leur diversité en cultivars de dattes communs et spécifiques. Parmi les cultivars communs et les plus fréquents aux trois régions, citons les cultivars : *Hmira*, *Tinnaser Aghamou*, *Taqerbucht Safra*, *Aghares*, *Tgazza*, *Tazarzeyt*, *Ahartane*, *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia*, *Ouarglia*, *Timliha* et *Adekli*. La région du Gourara présente la plus grande diversité d'environ 230 cultivars, dont les plus connus sont les cultivars : *Deglet Talmine*, *Adâam Bullah*, *Abdeslam*, *Adâam Robb Afilal*, *Toukki*, *Mehdi* et *Adâam Figig*. Suivie de la région du Touat, avec environ 190 cultivars, avec des cultivars spécifiques, tels que les cultivars *Asemmat*, *Tilemqaide*, *Hamta*, *Tifelhenni* et *Bedjout*. Quant à la région du Tidikelt, elle compte la plus faible diversité, évaluée à près de 60 cultivars, dont les plus connus sont *Agaz*, *Achadakh* et *Agaen Igaen* (**Hannachi et al., 1998; Bouguedoura et al., 2010 ; Bahiani, 2016**).

En dépit de cette grande diversité variétale caractérisant Adrar, aucune industrie de transformation n'est implantée dans la région et ces ressources phylogénétiques restent méconnues et marginalisées par les forces du marché. Un nombre limité de cultivars de dattes d'Adrar, notamment les plus connus : *Hmira*, *Tinnaser*, *Taqerbucht*, *Aghares*, *Tinnaqor*, *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Ouarglia* et *Deglet Talmine* (syn. *Deglet Jdir*), ont fait l'objet de travaux de caractérisation de la datte dans l'étude de **Açourene et al. (2014)**, menée sur un total de 54 cultivars du patrimoine algérien.

Sinon, il existe peu d'informations concernant la caractérisation de cette richesse en cultivars de dattes du point de vue de leurs valeurs nutritionnelles à travers leurs contenus biochimiques et particulièrement à travers leurs compositions phénoliques et leurs potentiels antioxydants.

Pour pallier ce manque d'informations autour de la caractérisation des cultivars de dattes d'Adrar et dans une perspective de sauvegarder, de valoriser et de promouvoir ces ressources phylogénétiques à travers leur caractérisation, la présente étude conduite sur quelques cultivars de dattes d'Adrar, communs et spécifiques, aux trois régions phœnicicoles se veut principalement :

- Une caractérisation morphologique, physico-chimique et biochimique en métabolites primaires ;
- Une évaluation de la qualité des cultivars de dattes étudiés ;
- Une quantification des polyphénols totaux, des flavonoïdes totaux et des tanins condensés, après extraction dans un système de mixture ternaire : méthanol-acétone-eau (MAE : 7/7/6 ; V/V/V).

- Une quantification des flavonoïdes totaux et des tanins condensés, dans les fractions liquide-liquide, respectivement d'extraits flavonoïdiques et tanniques ;
- Une évaluation de la capacité antioxydante des extraits ternaires, par des tests *in vitro*.

La présente étude sera structurée en quatre chapitres. Les deux premiers chapitres seront réservés à l'état de l'art : le chapitre I consacré au palmier dattier et le chapitre II consacré aux polyphénols et à leur pouvoir antioxydant. Le troisième chapitre (III) englobe un aperçu de la région d'étude et toutes les méthodes de caractérisation et les protocoles d'analyse. Le dernier chapitre (IV), illustrant tous les résultats obtenus avec leur interprétation et leur discussion, sera finalisé par une conclusion avec des perspectives à conduire.

ÉTAT DE L'ART



CHAPITRE I :

PALMIER DATTIER

I. Palmier dattier

I.1.-Généralités

Le palmier dattier, dénommé *Phoenix dactylifera* par Linné en 1734, est une monocotylédone qui peut se multiplier aussi bien par semis de graines que par plantation de rejets appelés « Djebbars » (**Munier, 1973**). Comme la plupart des monocotylédones, il présente un système racinaire fasciculé. Le tronc de forme cylindrique est appelé stipe. Les palmes peuvent atteindre 2 à 6 mètres de long selon les cultivars, l'âge du palmier et les conduites culturales. Elles sont insérées sur le stipe par un pétiole ou rachis et présentent un limbe penné structuré en folioles composées, avec une série d'épines différentes en taille, en nombre et en position (**Djerbi, 1994**).

L'origine géographique précise du palmier dattier reste incertaine et fait l'objet d'un débat scientifique permanent. Néanmoins, certains hiéroglyphes et d'autres documents historiques vénérables de l'ancienne Mésopotamie semblent suggérer que le palmier dattier ait pu être domestiqué dans la région méridionale de l'Irak actuel, il y a au moins 6 000 ans. Cette plante a été cultivée par diverses civilisations, notamment les Sumériens, les Assyriens, les Babyloniens et par la suite les civilisations d'Asie occidentale (**Chao and Krueger, 2007 ; Al-Yahyai and Manickavasagan, 2012 ; Ortiz-Uribe et al., 2019**).

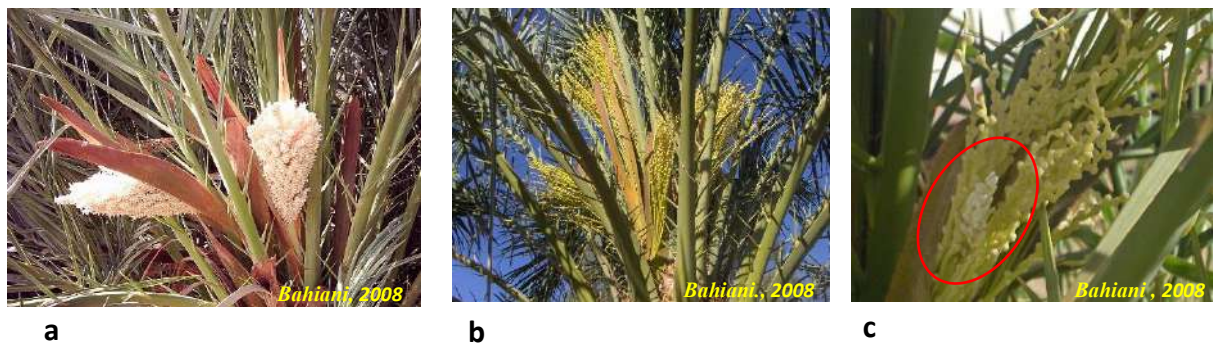
Le palmier dattier peut être cultivé sur les cinq continents du monde, en grande partie entre 39° de latitude le plus au nord et 20° de latitude le plus au sud. Sa culture s'est étendue à toute l'Afrique du Nord, au sud de l'Asie centrale et au sud de l'Europe pour atteindre l'Amérique et l'Australie (**Al-Yahyai and Manickavasagan, 2012 ; Ortiz-Uribe et al., 2019**).

Le palmier dattier fait partie des rares espèces végétales des régions arides et semi-arides capables de résister aux conditions hostiles du désert, où il prospère sous des conditions d'ensoleillement et de températures élevées facilitant la maturation de ses fruits (**Benchelah and Maka, 2008**). L'espèce possède une grande capacité d'adaptation et manifeste nettement sa préférence pour des sols légers, mais fait preuve de résilience sur différents types de sols, notamment des sols à forte teneur en argile et des sols de type sablonneux. Néanmoins, sa survie dépend de son accès à l'eau, ce qui explique sa proximité près des ressources hydriques pour répondre à ses besoins en eau par un système racinaire très développé (**Reynes, 1997 ; Munier, 1973**).

Il s'agit d'une plante dioïque où chaque individu ne porte que les inflorescences du même sexe, comprenant ainsi des pieds mâles appelés « Dokkars », portant les inflorescences mâles (contenues dans des spathes mâles) et des pieds femelles appelés « Nakhlas », portant les inflorescences femelles (contenues dans des spathes femelles) (Figure 01). Les fleurs mâles produisent du pollen, quant aux fleurs femelles, elles produisent des fruits après fécondation (Munier, 1973).

La fécondation des inflorescences femelles se situe au printemps et varie selon la précocité des variétés et le climat. Une bonne fécondation dépendra de la qualité et de la quantité du pollen utilisé, ce qui incombe aux agriculteurs de sélectionner les palmiers dattiers mâles générant des pollens de bonne qualité et dont la période de floraison recouvre totalement l'époque de fécondation des palmiers femelles, selon les variétés (Toutain, 1979).

Les conditions climatiques affectent la réussite de la pollinisation. Les pluies qui suivent directement la pollinisation augmentent les pertes en pollen. Quant aux vents secs, accompagnés de températures élevées, ils dessèchent les stigmates, affectant ainsi la germination des grains de pollen. L'entretien, l'irrigation et la fertilisation influent également sur la qualité de production chez les « Dokkars ». Par ailleurs, les modes de conservation des pollens sont un facteur déterminant influençant leur qualité. Le mode de conservation du pollen, en épillets au réfrigérateur ou en poudre au congélateur, serait susceptible de conserver leurs potentialités germinatives (Babahani, 2011).



(a) : Inflorescence mâle ; (b) : Inflorescence femelle ; (c) : Pollinisation traditionnelle (Insertion de quelques épillets mâles dans l'inflorescence femelle en attachant le tout avec une plume verte).

Figure 01 : Inflorescences du palmier dattier et pollinisation.

I.2. Position systématique

Le palmier dattier est une plante Angiosperme, Monocotylédone, dont la position systématique est la suivante (Dransfield *et al.*, 2008) :

Ordre	Arecales
Famille	Areceaceae
Sous Famille	Coryphoïdaee
Tribu	Phoeniceae
Genre	<i>Phoenix</i>
Espèce	<i>Phoenix dactylifera</i> L.

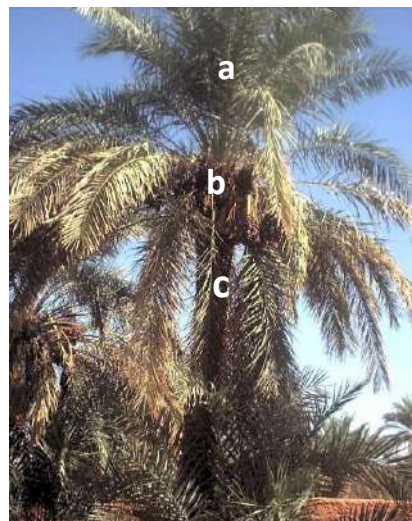


Figure 02 : Palmier dattier du cultivar *Hmira* (Touzi and Bahiani, 2003).
(a : Palmes ; b : régimes ; c : stipe).

I.3. Morphologie, évolution et classification des dattes

Les caractéristiques des dattes, obtenues après fécondation, dépendent de la variété, des conditions environnementales et des conduites culturales (pollinisation, type de fertilisation, d'irrigation...) (Babahani, 2011).

I.3.1. Description botanique

La datte est un fruit simple charnu appelé baie, provient du développement d'un carpelle après fécondation (Munier, 1973), de forme généralement allongée, oblongue ou ovoïde. Elle est constituée de deux parties. Une partie non comestible formée par la graine appelée noyau ayant une consistance dure et Une partie comestible appelée pulpe ou chair (Figure 03), elle est formée par (Munier, 1973 ; Reynes, 1997) :

- Un **épicarpe** ou enveloppe cellulosique fine, dénommée peau ;
- Un **mésocarpe**, généralement charnu, de consistance variable. Il est constitué d'une zone périphérique de couleur plus intense et de texture dense ainsi que d'une zone interne de teinte plus claire et de texture fibreuse ;

- Un **endocarpe** de teinte plus claire et de texture fibreuse, parfois réduit à une membrane parcheminée entourant le noyau. L'ensemble forme le péricarpe.

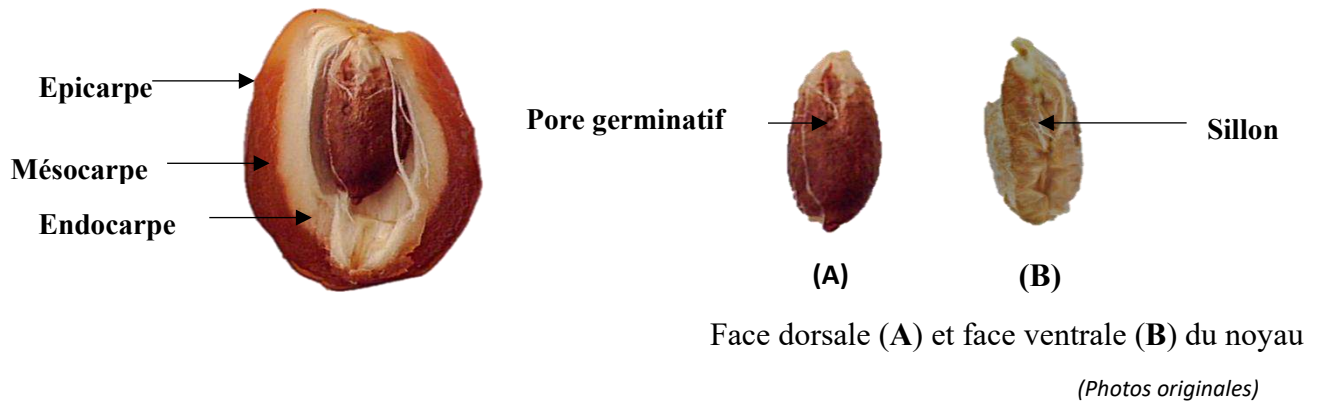


Figure 03 : Morphologie du fruit et du noyau du cultivar « *Tagerbucht Kahla* » au stade **Tamr**.

I.3.2. Stades d'évolution de la datte

Après la fécondation, le fruit se forme en passant par différentes phases d'évolution au nombre de cinq (05) à travers lesquelles il subit des changements physiologiques et chimiques. Ces cinq stades d'évolution portent une appellation particulière selon les pays. De nombreux travaux adoptent la nomenclature irakienne qui est la plus couramment utilisée.

Le tableau 01, indique les différentes appellations utilisées en Irak, en Algérie et à Adrar (wilaya du Sud-Ouest du Sahara algérien). Les stades tels que définis selon la terminologie irakienne sont décrits ci-dessous (Djerbi, 1994).

I.3.2.1.- Stade I ou « Hababouk »






Ce stade, qui dure environ cinq semaines, commence juste après la fécondation, avec une croissance lente et se termine par la chute de deux carpelles non fécondés (Djerbi, 1994).

I.3.2.2.- Stade II ou « Kimri »

Ce stade, qui dure de neuf à quatorze semaines, se caractérise par la couleur verte du fruit avec une augmentation rapide de sa taille et de son poids. Aussi, une augmentation se manifeste dans les

concentrations en tanins, en amidon, avec une teneur élevée en eau et en acidité et une légère augmentation dans les teneurs en sucres totaux et en matière sèche. C'est à la fin de ce stade que la graine (ou noyau) est mûre physiologiquement et apte à germer (Djerbi, 1994).

Tableau 01 : Stades d'évolution et différentes appellations de la datte
(1) : Bahiani, 2008 ; (2) : Djerbi, 1994

Pays (région)	Stades de développement de la datte				
	I	II	III	IV	V
Adrar (1)	Hablilou	Bleh vert	Bleh jaune /Rouge selon la variété	Mnaguer	Tmar
Algérie (2)	Loulou	Khlal	Bser	Martouba	Tamr
Irak (2)	Hababouk	Kimri	Khalal	Routab	Tamr
Photos (Photos originales)					

I.3.2.3.- Stade III ou « Khalal »

Ce stade, qui dure de trois à cinq semaines, se caractérise par un changement de couleur, en passant de la coloration verte à la coloration jaune, rouge ou brune, selon les cultivars. À ce stade, il est noté également une diminution de la taille et du poids du fruit et de la teneur en eau et en amidon. En parallèle, une augmentation des sucres totaux (saccharose) et de l'acidité est enregistrée (Djerbi, 1994).

I.3.2.4.- Stade IV ou « Routab »

Ce stade, qui dure de deux à quatre semaines, se caractérise par la perte de turgescence du fruit due à la diminution de la teneur en eau, par l'insolubilisation des tanins qui se fixent sous l'épicarpe du fruit et par une augmentation des monosaccharides attribuant un goût sucré à la datte. Il y a lieu de souligner qu'à ce stade, la coloration jaune ou rouge du stade « Khalal » passe au brun ou au noir. Cependant, certaines variétés deviennent verdâtres, comme c'est le cas du cultivar irakien *Khadraoui* et du cultivar marocain *Bouskri* (Djerbi, 1994 ; Baliga *et al.*, 2011).

I.3.2.5.- Stade V ou « Tamr »

Ce stade final, qui correspond à la maturation commerciale du fruit, se caractérise par la perte d'une quantité importante d'eau induisant un rapport sucre/eau élevé.

I.3.3. Classification des dattes

Sur la base de la composition biochimique de la datte, plusieurs classifications ont été proposées, se référant principalement à la composition en eau et en sucres :

- Sur la base de la présence de **l'enzyme invertase**, se distinguent trois groupes (**Cook and Furr, 1952 ; Kanner et al., 1978**) :
 - Dattes avec invertase désignant les dattes molles ;
 - Dattes avec de faibles quantités d'invertase désignant les dattes demi-molles ;
 - Dattes ne contenant pas d'invertase désignant les dattes sèches.

- Sur la base de la **composition en sucres**, se distinguent trois groupes (**Dowson and Aten, 1963**) :
 - Dattes à sucres réducteurs désignant les dattes molles ;
 - Dattes à saccharose désignant les dattes de consistance sèche ;
 - Dattes à codominance en sucres réducteurs et en saccharose désignant les dattes demi-molles et occupant une position intermédiaire.

Il y a lieu de souligner que la datte *Deglet Nour*, de consistance demi-molle, est une datte exceptionnellement à saccharose (**Cook and Furr, 1952**).




- Sur la base du **rapport sucres totaux/eau**, les dattes peuvent être classées en trois catégories selon leur consistance : molle, demi-molle et sèche, comme rapporté dans le tableau 02.

$$R = \text{Teneur en sucres} / \text{Teneur en eau}$$

Ce rapport « **R** », appelé indice de qualité ou de dureté, est un critère important permettant de connaître le degré de stabilité de la datte et d'estimer son aptitude à sa conservation (Munier, 1973).

Pour $R=2$, la stabilité de la datte est optimale, ce qui lui confère une bonne aptitude à la conservation (Munier, 1961).

Tableau 02 : Classification des dattes selon l'indice de qualité « **R** » (Munier, 1973).

 <p><i>Ghars</i></p>	<p>Les dattes de consistance « molle » avec $R < 2$. Elles se caractérisent par un taux d'humidité supérieur ou égal à 30 % et représentent pour la plupart des dattes à sucres réducteurs. Exemple : <i>Ghars</i>.</p>
 <p><i>Bufeaus</i></p>	<p>Les dattes de consistance « demi-molle ou demi-sèche » avec $2 < R < 3,5$. Elles se caractérisent par une teneur en eau comprise de 20 à 30 %. Exemple : <i>Bufeaus</i>.</p>
 <p><i>Degla Beida</i></p>	<p>Les dattes de consistance « sèche » avec $R > 3,5$. Elles se caractérisent par une teneur en eau de moins de 20 % et représentent pour la plupart des dattes à saccharose. Exemple : <i>Mech Degla</i> et <i>Degla Beida</i>.</p>

Hannachi et al., 1998

- Une classification plus précise, se référant aux teneurs en glucose-fructose, en saccharose et en eau, est proposée par Estanove (1990), définissant ainsi quatre classes de dattes, illustrées dans le tableau 03.

Tableau 03 : Classification des dattes selon leur composition en sucres et en eau (Estanove, 1990).

Classes de dattes	Pourcentage en sucres et en eau
Première classe	-20 à 40 % de glucose + fructose - 40 à 65 % de saccharose -15 à 25 % d'eau.
Deuxième classe	-40 et 75 % de glucose + fructose - 10 à 35 % de saccharose - 10 à 30 % d'eau
Troisième classe	- 65 à 90 % de glucose + fructose - 0 à 10 % de saccharose -10 à 35 % d'eau.
Quatrième classe	-35 à 75 % de glucose + fructose -0 % de saccharose -35-65 % d'eau

I.4. Composition biochimique de la datte

La pulpe de datte représente 80 à 95 % du poids total du fruit. L'eau et les sucres représentent les principaux constituants qui déterminent la consistance de la datte. Elle est particulièrement riche en fibres, renferme des vitamines, particulièrement celles du groupe B, des éléments minéraux et se caractérise par de faibles teneurs en protéines et en lipides (Reynes, 1997).

1.4.1. Principaux constituants de la datte

1.4.1.1- Eau

Les dattes ont une teneur moyenne en eau comprise entre 10 et 40 % de leur poids frais, ce qui leur confère d'être dans la catégorie des aliments à humidité intermédiaire (Estanove, 1990). La teneur en eau varie selon les stades d'évolution de la datte, où elle décroît du stade « Khalal » jusqu'au stade final de maturité « Tamr » (Barreveld, 1993). À ce dernier stade d'évolution, la teneur en eau dépend du facteur variétal, des aires géographiques, des conditions climatiques et des conduites culturales (Reynes 1997 ; Assirey, 2015). La teneur en eau reste un critère fondamental pour définir les conditions de stockage et les aptitudes des dattes à la conservation.

I.4.1.2- Sucres

Les sucres sont les constituants les plus prédominants, avec des teneurs allant de 50 à 88 % (Al Udhaib, 2015). Au stade « Tamr », la datte renferme principalement des sucres invertis représentés par le glucose et le fructose et des sucres non invertis représentés par le saccharose dont les teneurs sont variables, selon les stades d'évolution, les cultivars et la teneur en eau (Estanove, 1990 ; Barreveld, 1993 ; Al Udhaib, 2015). Il y a lieu de souligner qu'elle contient également d'autres sucres en faibles teneurs tels que le galactose, l'arabinose et le maltose (Al-Khouli *et al.*, 1998 ; Hussain *et al.*, 2020).

I.4.1.3.- Fibres

Les pulpes de dattes représentent une bonne source de fibres alimentaires, représentées principalement de cellulose, d'hémicellulose, de lignine et de pectine, avec des proportions de 6,4 à 11,5 % (Al-Shahib and Marshall, 2003), où les fibres insolubles représentent la plus grande fraction de 5,76 %, procurant un effet de satiété (Al-Farsi and Lee, 2008a).

Cent grammes (100 g) de dattes fournissent 32 % de l'apport journalier recommandé en fibres alimentaires (Marlett *et al.*, 2002).

Comparé à la pulpe de datte, le noyau contient des teneurs en fibres plus élevées, de 78 à 80 % (Al-Farsi *et al.*, 2007).

I.4.1.4. Protéines et acides aminés

Les pulpes de dattes ne contiennent qu'une faible quantité de protéines de 2,3 à 5,6 % (Al-Shahib and Marshall, 2003), mais avec une composition en acides aminés qualitative. Les acides aminés contenus dans les pulpes de dattes fraîches sont en moyenne : l'acide aspartique (118 mg/100 g), l'acide glutamique (147 mg/100 g), la glycine (60,3 mg/100 g), la leucine (68 mg/100 g), la lysine (86,3 mg/100 g), la proline (54 mg/100 g), la tyrosine (26,3 mg/100 g), l'arginine (52 mg/100 g) et l'alanine (50 mg/100 g). Quant aux acides aminés, isoleucine, histidine et méthionine, leurs teneurs sont les plus faibles, respectivement de 21,3 mg/100 g, de 23,7 mg/100 g et de 7,7 mg/100 g (Al-Farsi and Lee, 2008a).

Comparé à la pulpe de datte, le noyau contient une teneur en protéines de 5 à 6 %. Les principaux acides aminés identifiés dans le noyau (graine) sont : la leucine, l'isoleucine, la lysine, la méthionine, la valine, la thréonine et la phénylalanine (Bouaziz *et al.*, 2008).

I.4.1.5. Matières grasses (Lipides)

Les pulpes de dattes ne contiennent qu'une faible quantité de matières grasses (lipides) de 0,1 à 0,5 %. Les acides gras insaturés sont représentés par les acides : oléique, linoléique, linoléique et palmitoléique. Les acides gras saturés sont représentés par les acides laurique, palmitique, myristique et l'acide stéarique (Al-Shahib and Marshall, 2003 ; El Arem *et al.*, 2012 ; Ibrahim *et al.*, 2021).

Comparé à la pulpe de datte, le noyau contient une teneur en lipides plus élevée, pouvant atteindre 5 à 13 % (Al-Farsi and Lee, 2011). L'acide gras insaturé dominant identifié dans les noyaux est l'acide oléique. Les acides linoléique, palmitique, laurique et myristique ont également été identifiés (Besbes *et al.*, 2004 ; Ibrahim *et al.*, 2021).

I.4.1.6. Vitamines

Les pulpes de dattes sont une source modérée de vitamines A (rétinol) et de vitamine C (acide ascorbique), avec des teneurs en moyenne, respectivement de 23,85 µg/100 g et de 3900 µg/100 g. De plus, elles contiennent particulièrement des vitamines du groupe B, avec des teneurs en moyenne en ordre croissant : la B₃ ou niacine (1442 µg/100 g), la B₆ ou pyridoxine (207 µg/100 g), la B₂ ou riboflavine (116,5 µg/100 g). Les vitamines B₉ (ou folate) et B₁ (ou thiamine) ont les teneurs en moyenne les plus faibles, respectivement de 53,75 et de 78,67 µg/100 g (Al-Farsi and Lee, 2008a).

Comparé à la pulpe de datte, le noyau contient les vitamines C, A et la vitamine E et les vitamines du groupe B, dont la riboflavine (B₂), la thiamine (B₁), la biotine (B₈) (Besbes *et al.*, 2004 ; Baliga *et al.*, 2011 ; Alkhoori *et al.*, 2022).

I.4.1.7. Éléments minéraux

Les pulpes de dattes représentent une source importante en éléments minéraux, dont les éléments majeurs sont le potassium avec une teneur moyenne de 713 mg/100g, suivi du calcium de 70,7 mg/100g, du magnésium de 64,2 mg/100g, du phosphore de 58,1 mg/100g et du sodium de 32,9 mg/100g (Al-Farsi and Lee, 2008a). Par sa teneur élevée en potassium et sa faible teneur en sodium, la datte constitue un fruit très bénéfique pour les personnes souffrant d'hypertension. Les dattes sont également une source de fer, de manganèse, de cuivre, de sélénium, de zinc, de bore et d'iron. (Al-Farsi and Lee, 2008a ; Kchaou *et al.*, 2013 ; Bouhlali *et al.*, 2017). Les teneurs moyennes en fer et en sélénium sont respectivement de 0,83 et de 0,31 mg/100 g. Cent grammes (100 g) de dattes fournissent plus de 15 % de l'apport journalier en sélénium, en cuivre, en potassium et en magnésium (Al-Farsi and Lee, 2008a).

Les noyaux de dattes contiennent également une quantité significative de minéraux avec une teneur élevée en potassium. Ils contiennent par ordre décroissant également du phosphore, du magnésium, du calcium, du sodium et du fer (**Besbes *et al.*, 2004 ; Ali-Mohamed and Khamis, 2004; Baliga *et al.*, 2011**).

1.4.2. Autres constituants

La pulpe de datte renferme d'autres composés mineurs tels que les enzymes, les acides organiques, les composés volatils ainsi que des composés phytochimiques représentés par les caroténoïdes et les polyphénols.

1.4.2.1. Enzymes

Les enzymes jouent un rôle important dans le processus de conversion se produisant pendant le stade de formation et la maturation du fruit. Elles diffèrent en teneurs selon les étapes biochimiques et physiologiques à travers les différents stades de maturation de la datte. Elles affectent la qualité finale du fruit, entre autres la qualité organoleptique, et sont représentées par l'invertase, la cellulase, l'endo-1,4- β -D-glucanase, la β -galactosidase, la pectine méthylestérase, la polyphénol-oxydase et la peroxydase (**Rastegar *et al.*, 2012 ; Amiour and Hambaba, 2016 ; Fekry *et al.*, 2021**).

La connaissance de l'activité de ces enzymes est un facteur important à maîtriser pour les conditionneurs et les transformateurs du fait que la qualité de la datte est influencée par l'activité de :

- L'**invertase**, qui influe sur la texture du fruit et qui est responsable de l'inversion du saccharose en fructose et glucose. La teneur en eau des dattes est un facteur important de l'activité de cette enzyme et les variétés à forte activité en invertase sont généralement de la catégorie des variétés molles (**Rastegar *et al.*, 2012**) ;
- La **cellulase** qui décompose la cellulose en chaînes plus courtes ;
- La **pectine méthylestérase** qui convertit les substances pectiques insolubles en pectines plus solubles, ce qui ramollit le fruit ;
- La **polyphénol-oxydase et/ou la peroxydase** qui provoquent le brunissement de la datte pendant la période post-récolte, suite à l'oxydation des composés phénoliques (**Amiour and Hambaba, 2016**).

I.4.2.2. Acides organiques

Les pulpes de dattes contiennent des acides organiques qui sont responsables de la flaveur et dont les concentrations varient au cours des différents stades de maturation de la datte. De nombreux travaux ont identifié l'acide malique comme étant l'acide organique majeur, suivi d'autres acides organiques : les acides tartrique, oxalique, succinique, citrique, formique et l'acide acétique (**Al-Farsi *et al.*, 2005a ; Mortazavi *et al.*, 2010 ; Rastegar *et al.*, 2012 ; Hamad *et al.*, 2015**).

Par ailleurs, d'autres acides organiques mineurs ont été identifiés, tels que les acides maléique et fumarique (**Mortazavi *et al.*, 2010 ; Rastegar *et al.*, 2012**). En comparaison aux autres acides organiques identifiés, **Rastegar *et al.* (2012)** rapportent que ce sont les concentrations de l'acide citrique et de l'acide acétique qui varient significativement au cours des différents stades de maturation de la datte, particulièrement au stade final « Tamr ».

I.4.2.3. Composés volatils (composés aromatiques)

Les composés volatils sont responsables de l'arôme spécifique et leurs teneurs varient d'une variété à une autre et selon les stades de maturation (**Guido *et al.*, 2011 ; Saafi *et al.*, 2022**). Sur des cultivars tunisiens, 62 composés aromatiques, dont sept groupes ont été identifiés : les alcools, les esters, les aldéhydes, les terpénoïdes, les hydrocarbures saturés et insaturés et les cétones... Les aldéhydes et les alcools représentent les groupes les plus importants (**Saafi *et al.*, 2022**).

I.4.2.4. Composés phytochimiques

Les caroténoïdes et les polyphénols représentent deux grandes classes de phytonutriments que l'on retrouve dans la plupart des fruits et légumes. Ces deux classes de phytonutriments ont un potentiel antioxydant révélé par de nombreuses études.

Il y a lieu de souligner qu'en plus des caroténoïdes et des polyphénols, les vitamines A, C et E sont des molécules antioxydantes majeures. En plus de certains oligoéléments (sélénium, zinc et cuivre) qui sont des cofacteurs d'enzymes antioxydantes (**Pastre, 2005**).

1.4.2.4.1. Caroténoïdes

Les caroténoïdes peuvent agir en tant qu'antioxydants en empêchant l'initiation des réactions radicalaires par la neutralisation de l'oxygène singulet (**Pastre, 2005**).

En plus de leur pouvoir antioxydant, ce sont des composés responsables de la pigmentation des fruits et légumes. Dans les dattes, leurs teneurs varient selon les cultivars, les stades d'évolution et sont particulièrement sujettes à la dégradation durant les processus de séchage. Ils sont impliqués, selon les cultivars, dans la coloration jaune et rouge. Les dattes rouges contiennent du lycopène, de la neurosporène, du γ -carotène et du δ -carotène, alors que les dattes jaunes contiennent du β -carotène, de la α -carotène (Taleb *et al.*, 2016). Au stade « Tamr », les pulpes de dattes sont considérées comme une source modérée de caroténoïdes dont les principales sont la lutéine, le β -carotène, la néoxanthine (Gross *et al.*, 1983 ; Boudries *et al.*, 2007).

D'autres caroténoïdes sont présents dans la datte, avec de faibles quantités, tels que l' α -carotène, la zéaxanthine, la lutéoxanthine et la violaxanthine (Gross *et al.*, 1983).

Il y a lieu de souligner que certains caroténoïdes sont des précurseurs de la vitamine A, dont le plus important est le β -carotène qui a longtemps été étudié pour son activité de provitamine A (Taleb *et al.*, 2016).

1.4.2.4.2. Polyphénols

Les composés phénoliques ou les polyphénols sont des métabolites secondaires produits par les plantes et reconnus pour leur pouvoir antioxydant puissant, jouant un rôle dans la prévention contre les maladies liées au stress oxydant (Li *et al.*, 2014). Ils participent également à la coloration des fruits, légumes et fleurs, particulièrement certains flavonoïdes et anthocyanes (Marfak, 2003).

I.5. Aire de distribution et production

I.5.1. Dans le monde

Aujourd'hui, le palmier dattier représente l'une des principales cultures du sud de l'Asie centrale, du nord de l'Afrique, de certaines parties de l'Europe, des États de Californie et d'Arizona d'Amérique et de l'Australie (Al-Yahyai and Manickavasagan, 2012 ; Ortiz-Uribe *et al.*, 2019).

De par sa bonne adaptabilité et la valeur nutritionnelle de son fruit, le palmier dattier a pu se développer particulièrement dans les régions arides et la principale région de production est le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord (Al-Yahyai and Manickavasagan, 2012 ; Rambabu *et al.*, 2020).

En l'an deux mille vingt et un (2021), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a estimé la production de dattes dans le monde à près de 9 millions de tonnes/an. Le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord représentent 90 % de la production mondiale. L'Égypte est

classée premier pays producteur mondial de dattes. Suivie par l'Arabie Saoudite, l'Iran, l'Algérie et l'Iraq (FAOSTAT, 2021). Les dix premiers pays producteurs de dattes sont reportés dans la figure 04.

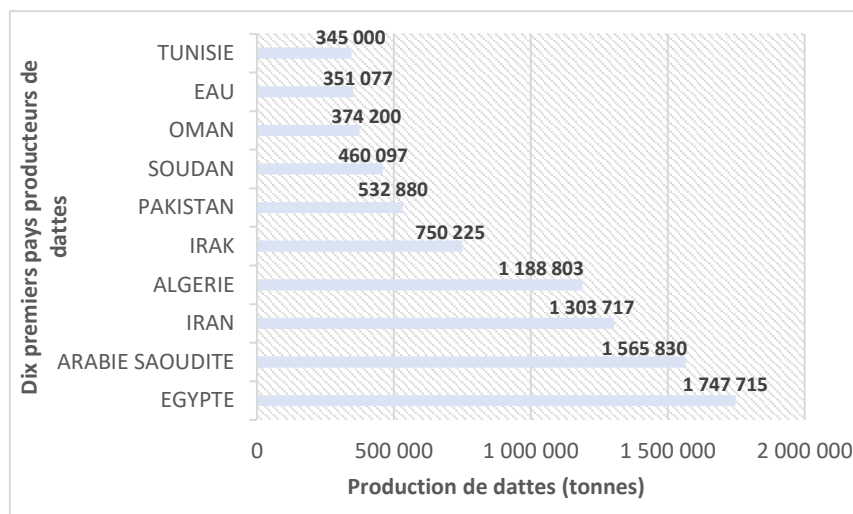


Figure 04 : Les dix premiers pays producteurs de dattes (FAOSTAT, 2021).

I.5.2. En Algérie

En Algérie, la culture du palmier dattier s'étend depuis la frontière marocaine à l'ouest jusqu'à la frontière tuniso-libyenne à l'est et depuis l'Atlas saharien au nord jusqu'à Reggane (sud-ouest), Tamanrasset (centre) et Djanet (sud-est) (Bouguedoura *et al.*, 2010).

L'aire phœnicicole algérienne est estimée à près de 169 786 ha, avec un total de près de 19 063 249 palmiers, dont 16 508 912 sont productifs. La production en dattes est estimée à près de 1,2 million de tonnes en 2021, ce qui place l'Algérie à la 4^{ème} place des producteurs mondiaux de dattes (MADR, 2022) (Figure 04).

Les sept régions principales productrices de dattes sont réparties à l'Est : les palmeraies de l'Oued Righ, de Biskra (Zibans), de El Oued (Oued Souf), de la cuvette de Ouargla et de la vallée du Mزاب. À l'Ouest : les palmeraies de l'Oued Saoura et d'Adrar (oasis du Touat, du Gourara et du Tidikelt) (Bouguedoura, 1991).

En 2020-2021, les quatre wilayas de Biskra, de El-Oued, de Ouargla et d'Adrar totalisent à elles seules plus de 79 % de la superficie totale phœnicicole de l'Algérie. La première wilaya phœnicicole, Biskra, couvre une production de 4 723 000 qx, suivie de la wilaya de El Oued avec une production de 2 752 100 qx, puis de la wilaya de Ouargla avec une production de 1 650 164 qx (MADR, 2022).

En 2020-2021, la production des dattes algériennes s'est élevée à 1,2 million de tonnes, dont 6 587 360 quintaux du cultivar *Deglet Nour*, ce qui représente 57 % de la production totale des dattes. Et une production de 4 931 730 quintaux pour les dattes communes (**MADR, 2022**).

Dans le cadre de l'exportation de dattes, l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 2021) a indiqué qu'en 2020, l'Algérie avait exporté une quantité de 67 483 tonnes de dattes dont 80 % de dattes exportées appartiennent à la variété « *Deglet Nour* ».

I.5.2.1. Dans la wilaya d'Adrar

Dans la wilaya d'Adrar, la superficie totale réservée à la phoeniciculture est de 28 420 hectares (comprenant les palmeraies traditionnelles, les PME et les MEV), avec un nombre total de 3 978 800 palmiers, dont 2 829 833 sont productifs et une production moyenne de 959 311 quintaux (**D.S.A. d'Adrar, 2021**).

La superficie réservée aux palmeraies traditionnelles est de 16 381 ha avec un nombre total de palmiers de 2 355 784 palmiers, dont 1 883 347 sont productifs avec une production de 639 048 quintaux (**D.S.A., Adrar, 2021**).

Dans la wilaya d'Adrar, les cultivars les plus importants par ordre de tonnage sont : *Hmira* suivi des cultivars *Tgazza*, *Tinnaser*, *Taqerbucht* et *Aghamou* (Figure 05).

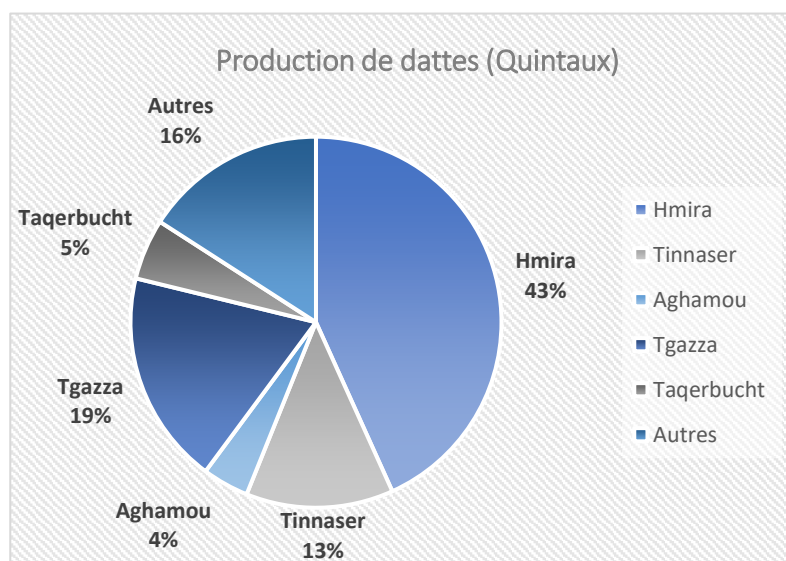


Figure 05 : Production de dattes de la wilaya d'Adrar (**D.S.A. d'Adrar, 2021**).

I.6. Composition variétale

I.6.1. Dans le monde

La diversité génétique est exprimée par les différences génétiques entre les espèces, les sous-espèces, les cultivars, les populations ou les clones individuels et peut être évaluée aux niveaux morphologique, physiologique, biochimique ou moléculaire (**Bedjaoui, 2019**).

Le pool génétique du palmier dattier est évalué à près de 3000 cultivars plus ou moins caractérisés, sur la base de descripteurs botaniques, mais seul un nombre limité de cultivars sont appréciés pour la qualité de leurs fruits et des sous-produits qu'ils génèrent. Leurs appellations sont locales, en référence au site de culture, à la couleur ou à la forme du fruit (**Jaradat and Zaid, 2004 ; Hadrami and Hadrami, 2009 ; Al-Najm et al., 2021**).

Il y a lieu de souligner que les caractéristiques morphologiques et biochimiques peuvent varier pour le même cultivar en fonction des conditions écologiques, des types d'exploitation, de la densité de plantation, de l'entretien de la parcelle, de l'état sanitaire et de l'âge du palmier (**Al-Farsi et al., 2005a ; Bedjaoui, 2019**). L'aspect général de l'arbre et surtout les fruits restent les seuls critères fiables pour la reconnaissance et l'identification facile des cultivars (**Rhouma, 2005**).

La culture des dattes en Afrique est dominée par les pays de l'Afrique du Nord, du Maroc à l'Égypte. *Deglet Noor* d'Algérie, *Medjool* du Maroc et *Zaghloul* d'Égypte sont les principaux cultivars commerciaux originaires d'Afrique du Nord (**Johnson et al., 2015**).

Dans le tableau 04, sont représentés les dix principaux pays producteurs de dattes avec le nombre et les principaux cultivars largement consommés et/ou vulgarisés dans les créneaux commerciaux.

I.6.2. En Algérie

À l'échelle maghrébine, l'Algérie occupe la première place en matière de nombre de cultivars, avec près d'un millier de cultivars de dattes (**Bouguedoura et al., 2010**), suivie du Maroc, avec plus de 453 cultivars (**Sedra, 2015**). Quant à la Tunisie, elle compte près de 250 cultivars (**Rhouma, 2005**).

Les principales variétés algériennes sont en première position la *Deglet Nour*, suivie de *Ghars*, *Degla Beida* et *Mech Degla*, réparties principalement avec des proportions différentes aux Zibans, Ouargla, Oued Righ et El Oued. Le nombre et les principaux cultivars des régions phœnicicoles algériennes, consommés et/ou vulgarisés dans les créneaux commerciaux, sont illustrés dans le tableau 05.

Tableau 04 : Nombre et principaux cultivars dans les dix premiers pays producteurs de dattes.

Pays	Nombre de cultivars	Principaux cultivars	Références
Égypte	~255	<i>Zaghloul, Halawi, Siwi, Selmi, Hayani, Beid El Gamal</i>	Sakr et al. (2012)
Arabie Saoudite	Plus de 450	<i>Ajwa, Shalaby, Kodari, Anabarah, Sukkari, Suqaey, Safawy, Burni, Lobanah, Mabroom.</i>	Sabir et al. (2014)
Iran	Plus de 400	<i>Barhee, Sayer, Zahidi, Breim, Deiri, Fersi, Gantar, Khadravi, Shakar</i>	Mortazavi et al. (2015)
Algérie	~1000	<i>Deglet Noor, Ghars, Degla Beida, Mech Degla</i>	Bouguedoura et al. (2010)
Irak	Plus de 400	<i>Zahdi, Khastawi, Sayer, Khadrawi</i>	Walsborn (2015)
Pakistan	Plus de 300	<i>Aseel, Dhakki, Begum Jangi, Rabai</i>	Abul-Soad et al. (2015)
Soudan	400	<i>Barakawi, Gondaila, Kulma, Madina</i>	Elshibli and Korpelainen (2009)
Oman	230	<i>Um Sella, Mabsli, Khasab, Naghal, Fardh, Shahl, Khunaizi, Khalas, Madloki, Barni.</i>	Al-Yahyai and Al khanjari (2008)
ÉAU	~250	<i>Naghal, Barhee, Khalas, Boumaan,</i>	Rambabu et al. (2020)
Tunisie	~250	<i>Deglet Noor, Alig, Bistr Helou, Kentichi, Arehti</i>	Rhouma (2005)

Dans l'ensemble, **Tirichine (1997)** définit la composante variétale des palmeraies traditionnelles par deux points :

- Une prédominance totale de la *Deglet Nour* dans les zones du sud-est (Ziban, Oued Righ, El Oued, Ouargla) et à un degré moindre dans la région du M'zab. Il y a lieu de souligner la présence dans ces palmeraies des cultivars *Degla Beïda*, *Mech Degla* et du cultivar *Ghars*.
- Une dominance exclusive des variétés dites « communes » à faible valeur marchande dans les oasis du Sud-Ouest.

Tableau 05 : Nombre et principaux cultivars de dattes des régions phœnicicoles algériennes.

Régions	Nombre	Principaux cultivars	Références
Oued Righ	175	<i>Deglet Nour, Ghars, Degla Beïda</i>	Açourene et al. (2007)
Ziban (Biskra)	307	<i>Deglet Nour, Degla Beïda,</i>	Belhadi et al. (2008)
El Oued (Oued Souf)	70	<i>Deglet Nour, Arechti, Degla Beïda, Ghars</i>	Bouguedoura et al. (2010)
Ouargla	70	<i>Ghars, Deglet Nour, Degla Beïda Hamraya, Harchaya et Techerwit</i>	Bouguedoura et al. (2010)
Ghardaïa	127	<i>Tazerzayt, Utaqbala, Timjuhart, Ghars, Azerza, Tedala, Deglet Nour, Delt, Tafezouine</i>	Bousdira (2007)
Saoura	80	<i>Adham Tirnou, Adhamet El Rob, Cherka, Kenta, M'charet</i>	Bouguedoura et al. (2010)
Touat	190	<i>Hmira, Tgazza, Tinnaser, Taqerbucht, Tazarzeyt,</i>	Hannachi et al. (1998) ; Bouguedoura et al. (2010) ;
Gourara	230	<i>Deglet Talmine, Adâam Bullah, Adâmm E Robb, Abdeslam</i>	Bahiani (2016)
Tidikelt	60	<i>Agaz, Cheddakh Agaen Igaen</i>	

I.6.2.1. Dans la wilaya d'Adrar

À Adrar, la culture du palmier dattier est la base de l'économie oasienne, avec un grand nombre de cultivars existants dans les palmeraies. La région du Gourara présente une diversité d'environ 230 cultivars, suivie de la région du Touat avec environ 190 cultivars. La région du Tidikelt compte la plus faible diversité, évaluée à environ 60 cultivars (**Bouguedoura et al., 2010**).

À Adrar, un grand nombre de cultivars ne sont pas destinés principalement à la commercialisation et servent avant tout à la consommation des familles. Il y a lieu de mentionner que c'est cette autoconsommation qui garantit le maintien d'un grand nombre de cultivars sans être forcément commercialisés à grande échelle. Ainsi, la promotion de l'autoconsommation et le maintien des méthodes de transformation artisanale dans les ménages seraient un élément stabilisateur en faveur du maintien de cette biodiversité.

Les cultivars communs aux trois régions phœnicicoles **Touat**, **Gourara** et **Tidikelt** sont : Les 04 cultivars précoces *Bamaklouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia* et *Ouarglia*. Les cultivars intermédiaires dans la maturation *Hmira* (appelé également *Tilemseu*), *Tgazza*, *Tinnaser*, *Taqerbucht* et *Aghamou*, *Aghares*, *Tazerzayt* et *Tinnaqor* et le cultivar tardif *Ahartane*.

Certains cultivars sont plus spécifiques à la région du **Touat**, tels que les cultivars : *Anfal*, *Asemmat*. De nombreux cultivars endémiques à cette région se raréfient, tels que les cultivars : *Bedjout*, *Deglet Mecqua*, *TifEl Hanni*, *Tilemqaide*, *Tin'Medouel*, *Dguel ould El Hadj* et le cultivar *Degli Farradji* (**Bahiani, 2008 ; Bahiani, 2016**).

Quant aux cultivars *Agaz*, *Agaen Agaen* et *Cheddakh*, ils sont spécifiques à la région du **Tidikelt** (**Bahiani, 2016**).

Dans la région du **Gourara**, caractérisée par une grande diversité variétale, avec un taux d'endémisme important, les cultivars les plus fréquents sont : *Deglet Talmine*, *Adâam Bullah*, *Afilal* et *Abdeslam* (**Bahiani, 2016**).

Dans ce pool génétique très important estimé à plus de 400 cultivars, à travers les trois régions phœnicicoles d'Adrar, de nombreux cultivars restent marginalisés et méconnus en dépit de leurs qualités physiques et biochimiques intéressantes. Parmi eux, nous citons certains cultivars du Gourara tels que le cultivar *Awakhsai* du ksar Benzitta à Tinekouk, avec une datte mielleuse de consistance molle et dont le palmier peut supporter beaucoup de régimes, comme c'est le cas du cultivar *Labghal*, rencontré dans les palmeraies du Touat. Le cultivar *Khanechouche* du ksar Tabelkoza à Tinerkouk, le cultivar *Khanefrete Lahmar* du ksar Charef à Aougrouk ou encore le cultivar *Tiwadjdel* apprécié en « S'fouf » (dattes de consistance sèches concassées) par la population du ksar Benzitta à Tinerkouk (Figure 06) (**Bahiani, 2016**).



Figure 06 : Quelques cultivars de dattes de la région du Gourara.

Par ailleurs, le surplus de la consommation familiale, garant du maintien de cette biodiversité, est destiné à la vente. Certains cultivars sont écoulés dans de petits points de vente dans les marchés locaux des communes (Figure 07), tels que les cultivars précoces dans la maturation : *Agaz*, *Mes'Udia*, *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Bamakhlouf* et les cultivars intermédiaires *Hmira*, *Tgazza*, *Tazarzeyt* et les cultivars beaucoup plus tardifs : *Taqerbucht*, *Ahartane*. Suivis des cultivars du Gourara plus tardifs, dont les plus fréquemment écoulés dans les marchés locaux sont *Deglet Talmine*, *Adâam Bullah*, *Toukki* et *Abdeslam*.

Par ailleurs, à ce jour, il existe des opérations de troc avec les pays du Sahel (le Mali et le Niger) pour un échange de dattes (de deuxième ou troisième choix et particulièrement celles de consistance sèche) contre diverses marchandises, telles que des arachides, du bétail (ovins, caprins et dromadaires). Les principaux cultivars les plus souvent troqués sont : *Tinnaser*, *Aghamou*, *Labghal* et, d'une manière moins fréquente, les cultivars *Hmira* et *Deglet Talmine*. De nombreux cultivars de dattes se retrouvent également acheminés vers le marché de Béchar, Tamnarasset, Naima, Saida et Ain Safra (CDARS de Ouargla, 1999).

Le cultivar *Hmira* (de premier choix) fait l'objet d'exportations vers la Chine et la Russie. Quant au cultivar *Agaz*, il est souvent orienté vers les marchés de Ghardaïa et de Ouargla (Bouguedoura *et al.*, 2010).



Photo El Faiz.

Figure 07 : Points de vente des cultivars de dattes dans le marché local « Bouda », dans la région du Touat (**a** : *C. Ferrana*, **b** : *C. Mes'udia*, **c** : *C. Tgazza*, **d** : *C. Hmira*).

Il y a lieu de mentionner que, dans cette diversité variétale des trois régions phœnicicoles d'Adrar, seul le cultivar *Taqerbucht* est reconnu parmi les cultivars du patrimoine phœnicicole algérien pour sa résistance à la fusariose vasculaire le Bayoud. Il est suivi du cultivar *Aghares* (Boudeffeur *et al.*, 2020). Notons qu'il existe plusieurs types de cultivars *Taqerbucht* : *Safra*, *Kahla*, *Lbayda* et *Lhamra* (Hannachi *et al.*, 1998).

1.7. Utilisation des produits et des sous-produits du palmier dattier

La diversification des plants et des fruits du palmier dattier offre une large gamme d'utilisations. Les dattes sont choisies selon leur usage traditionnel alimentaire ou médicinal.

1.7.1. Utilisation traditionnelle

Compte tenu de la longue tradition de la culture du palmier dattier dans les oasis, les familles ont développé une longue tradition de conservation et de transformation artisanale. Ainsi, dans les aires phœnicicoles traditionnelles, il existe un savoir-faire traditionnel dans la gestion des produits et des sous-produits agricoles, notamment ceux issus du palmier dattier.

Pour les utilisations alimentaires et médicinales, les dattes sont choisies selon leur couleur, leur saveur, leur consistance, leur texture (fibreuse ou farineuse), leur digestibilité (selon leur saveur sucrée froide ou chaude), leur goût (acidulé, parfumé, âpre, caramélisé...).

I.7.1.1. Usage alimentaire

Les dattes sont consommées à haute fréquence, fraîches ou transformées. Dans l'ensemble, les dattes de consistance molle, faciles à pétrir, entrent dans la fabrication de la pâte de dattes qui est fréquemment utilisée dans la pâtisserie et dans la confiserie traditionnelle, dont la plus fréquente est la pâte de datte du cultivar *Ghars* très prisée en Algérie pour la confection de « Makrouts ». Les dattes accompagnent également les plats cuisinés, tels que le couscous, les tajines. Quant aux dattes de consistance sèche, elles se prêtent à la mouture, pour la fabrication de farines de dattes, destinées à être incorporées dans le lait des nourrissons.

Dans la région de Ouargla, les cultivars *Harchaya*, *Hamraya*, *Assabri* et *El Horra* sont largement utilisés en vinaigrerie traditionnelle (Ould El Hadj *et al.*, 2001).

Dans la région de Touggourt, le cultivar *Adam Medjouj* est utilisé pour préparer un café à 100 % à base de noyaux de dattes moulus. Dans la région du M'zab, le cultivar *Ouûchet* est pétri en pâte aromatisée au romarin et au basilic, le tout enrobé dans un tissu de voile pour confectionner des sucettes de dattes pour les nourrissons (Ben Saadoun and Boulahouat, 2010).

Dans les trois régions phœnicicoles de la wilaya d'Adrar, les deux modes principaux de conservation sont « **Btana** » et « **S'fouf** ». Le mode de conservation « Btana », à base de dattes molles et demi-molles écrasées dans des sacs, reste à ce jour pratiqué et représente une réserve pour les familles oasiennes.

Quant au mode de conservation « S'fouf », il concerne les dattes de consistance sèche qui sont concassées dans un mortier en bois pour obtenir des petites particules de dattes (Bahiani, 2008). Cette pratique de concassement de dattes sèches aboutit également à la formation de farine appelée « Anghade ». Dans la région du Tidikelt, il existe une multitude de recettes de S'fouf avec des compositions différentes d'un mélange de céréales, de plantes aromatiques et de « Klila » (sorte de fromage de chèvre sec), selon les circonstances (mariages, fêtes religieuses et cérémonies funéraires). Le sirop de dattes appelé « **Robb** » se prépare principalement à base du cultivar *Hmira*, avec un usage beaucoup plus médicinal contre les anémies.

Par ailleurs, des dattes de consistance molle sont utilisées pour préparer des barres ou des boulettes appelées « **Karbouche** », constituées de semoule et de pâte de dattes, destinées aux voyageurs, particulièrement au pèlerinage à la Mecque.

I.7.1.2. Usage médicinal

Les dattes sont couramment utilisées en médecine traditionnelle, avec une multitude de recettes. Les dattes de couleur verte du stade « Kimri » sont utilisées pour traiter des diarrhées. En gargarisme, elles soignent les maux de gorge. En décoction ou en infusion, elles traitent les rhumes. Pilées dans de l'eau, elles soignent les hémorroïdes, les constipations et aussi l'ictère (jaunisse). Énergétique et riche en minéraux, le fruit permet de lutter contre l'anémie et la déminéralisation (**Bellakhdar, 1997 ; Benchelah and Maka, 2008 ; Bentrada and Hamida-Ferhat, 2020**).

Par ailleurs, le pollen est utilisé pour traiter des cas de stérilité, d'allaitement et de saignement nasal (**Touzi and Bahiani, 2003 ; Babahani et al., 2011 ; Babahani, 2016**). Les fruits et les poudres de noyaux (graines) de dattes sont utilisés pour soigner le diabète (**Babahani et al., 2011 ; Mia et al., 2020**) et les folioles sèches des palmes sont utilisées pour traiter les cas de diarrhées chez le cheptel (**Touzi and Bahiani, 2003**).

Dans la région du M'zab, le cultivar *Ghars* accompagné de lait de chèvre est utilisé en pharmacopée traditionnelle pour traiter les fractures. Mélangée à l'huile d'olive et au persil, la pâte du cultivar *Ghars* est utilisée pour confectionner des emplâtres pour soigner les douleurs musculaires et les foulures (**Ben Saadoun and Boulahouat, 2010 ; Babahani et al., 2011**).

Aux États-Unis et dans le sud-ouest de l'Iran, les dattes et les folioles des palmes sont utilisés en médecine populaire pour réduire la glycémie chez les diabétiques (**Rock et al., 2009**).

I.7.1.3. Usage artisanal des sous-produits

Dans les trois régions phœnicicoles de la wilaya d'Adrar, les folioles des palmes vertes du palmier dattier et la hampe florale appelée localement « Ziwana » sont valorisées par des travaux de vanneries. Il y a lieu de mentionner que ce sont les folioles vertes issues de palmes jeunes (du cœur du palmier) qui sont utilisées du fait de leur résistance et de leur flexibilité.

Le fibrillum appelé « Fdem » est utilisé pour confectionner divers cordages de toute taille, des acharnements pour les équins appelés « D'bèche ». Les pétioles appelés « kornafs » sont principalement utilisés pour les toitures des maisons (**Touzi and Bahiani, 2003**). Les principaux aspects de valorisation traditionnelle des sous-produits du palmier dattier sont illustrés dans le tableau 06.

1.7.2. Utilisation technologique et biotechnologique

La filière des dattes offre de nombreuses possibilités de valorisation induisant une diversification des produits élaborés, orientés vers le marché national et pouvant ouvrir également des perspectives intéressantes vers le marché exportateur. De plus, du fait de sa richesse en glucides et en fibres alimentaires, la datte devient un ingrédient majeur dans les snackings nutritifs prisés par les consommateurs européens (**Boughzala and Mahmoud, 2022**).

Par ailleurs, les changements socioéconomiques ont induit la régression des usages traditionnels des sous-produits oasiens, ce qui génère dans les oasis un volume de déchets et de sous-produits oasiens non valorisés offrant un potentiel diversifié à valoriser. S'ajoutent les quantités importantes de sous-produits, tels que les graines et les tourteaux de pressage générés par les industries de transformation de la datte, constituant un potentiel de précurseurs bon marché, renouvelable et abondant. Ainsi, de la filière dattes peuvent émerger de nombreux produits, qui peuvent constituer un substrat de choix à valoriser par voie technologique et biotechnologique.

Ces deux dernières décennies, de nombreux travaux se sont orientés vers les voies de valorisation des déchets agricoles, entre autres ceux générés par le palmier dattier, en bioénergies : bioalcool, biogaz et biohydrogène et en divers matériaux, tels que les charbons actifs et les catalyseurs. Les différentes possibilités de valorisation technologique et biotechnologique sont illustrées dans le tableau 07.

Tableau 06 : Principaux aspects de valorisation traditionnelle des sous-produits du palmier dattier.

Dattes desséchées appelées « Hchefs »



Pierre destinée au concassement des noyaux



Palmes sèches utilisées comme lit de séchage



Paniers et cordage issus des pennes, de la hampe florale et du fibrillum



Contenant alimentaire appelé « Tadagha »

Sous-produits	Valorisation
-Déchets de dattes (dattes complètement desséchées appelées « Hchefs ».	-Alimentation du cheptel
Noyaux de dattes	-Concassés et destinés à l'alimentation du cheptel - torréfiés et transformé en café
Palmes sèches	-Utilisées comme brise vents, comme lit de séchage et dans le recouvrement des toitures.
Folioles ou pennes vertes et la hampe florale	- Destinées dans les travaux de vannerie pour la confection de divers articles : paniers, chapeaux, éventails et contenants appelés « Tadagha » pour conserver des denrées alimentaires et plats alimentaires appelés « Tbaqs ». -Les pennes sèches sont utilisées pour traiter des cas de diarrhée chez le cheptel.
Fibrillum ou lif	-Destiné pour confectionner différents types de cordage et acharnement des animaux, des éponges... -Utilisé comme agent humidificateur contre les portes
Pétioles ou kornafs	-Utilisés dans les toitures des maisons -Confection d'articles de décors
Pédicelles	-Alimentation animale -balaies traditionnels
Pollen	-Traitement de cas de stérilité masculine et saignement nasal. - comme aromatisant de l'eau
Stipe ou tronc	- Utilisé dans l'ébénisterie traditionnelle, dans la fabrication des portes, des gouttières ou des canalisations d'eau, comme bois de chauffage, comme charpentes de bâtiments et comme piliers des puits... - Extraction du « lagmi » sève qui s'écoule du stipe.






Pétioles utilisés dans les toitures



Stipes du palmier dattier valorisés en porte.

(Photos originales)

Tableau 07 : Quelques aspects de valorisation technologique et biotechnologique des produits et des sous-produits du palmier dattier.

Matières premières	Produits à haute valeur ajoutée
 <p><i>Photo Bakkache.</i></p> <p>- Dattes de faible valeur commerciale ou des écarts de triage</p> <p>- Milieu à base de jus ou moût de dattes</p>	<p>- Sirop riche en fructose (Chaira et al., 2011)</p> <p>- Vinaigre (Ould El Hadj et al., 2001)</p> <p>- Jus de dattes</p> <p>- Farines / Semoules</p> <p>- Acide citrique (Siboukeur et al., 2001)</p> <p>- Acide lactique (Nancib et al., 2001)</p> <p>- Levure boulangère (Açourène and Tama, 2001)</p>
 <p><i>Photo Khelafi.</i></p> <p>- Déchets de dattes ou écarts de tri, noyaux, palmes...</p> <p>- Tourteaux de pressage des industries de transformation</p>  <p><i>Bahiani et al., 2017.</i></p>	<p>- Blocs multi nutritionnels (BMN) (Chehma and Senoussi, 2010)</p> <p>- Composts (Habchi et al., 2022)</p> <p>- Catalyseurs hétérogènes (Khelafi et al., 2022)</p> <p>- Charbons actifs (Bahiani et al., 2017 ; Alharbi et al., 2022)</p> <p>- Bioalcool (Atitallah et al., 2021)</p> <p>- Biogaz (Yahmed et al., 2021)</p> <p>- Biohydrogène (Yahmed et al., 2021)</p>

ÉTAT DE L'ART



CHAPITRE II :

POLYPHÉNOLS

ET

POUVOIR ANTIOXYDANT

II. Polyphénols et pouvoir antioxydant

II.1. Polyphénols

Les composés phénoliques, appelés également « polyphénols », sont des métabolites secondaires produits par les plantes, que l'on retrouve depuis le système racinaire jusqu'aux fruits. Ils ne sont pas impliqués directement dans les activités fondamentales de la plante telles que la croissance ou la reproduction. Ils sont principalement synthétisés à partir des hydrates de carbone via la voie de l'acide shikimique et la voie de l'acétate (**Bravo, 1998 ; Chira *et al.*, 2008**).

Leur nom provient du composé parent le plus simple : le phénol, et le terme « phénolique » est ainsi utilisé pour définir des substances qui possèdent au moins un groupement hydroxyle (OH) substitué sur un cycle aromatique. Ils ont tous en commun la présence d'un ou plusieurs cycles benzéniques portant une ou plusieurs fonctions hydroxyles (**Bravo, 1998**).

II.1.1. Classification

Les polyphénols constituent une famille de molécules organiques, avec plus de 8000 composés (**Galanakis, 2018**). Leur classification est basée essentiellement sur la structure, le nombre de noyaux aromatiques et les éléments structuraux qui lient ces noyaux (**Bravo, 1998**).

Les polyphénols peuvent être classés de quatre manières différentes, de la plus simple à la plus spécifique, basée sur la structure chimique :

- 1- Flavonoïdes et non-flavonoïdes (**Kabera *et al.*, 2014**) ;
- 2- Selon le nombre de cycles aromatiques (**Kabera *et al.*, 2014**) ;
- 3- Selon le squelette carboné, qui décrit de manière très élémentaire comment les atomes de carbone de la molécule sont organisés (par exemple, C6, C6-C1, C6-C3-C6, etc.) ;
- 4- Selon la structure chimique de base, qui est une description ou une image spécifiant les atomes communs (par exemple, C, H, O), les groupes fonctionnels (par exemple, cycles aromatiques, groupes hydroxyles, groupes céto), les saturations (par exemple, liaisons simples, liaisons doubles), les types de liaisons (par exemple, covalentes, ioniques) et la façon dont les groupes sont liés les uns aux autres (**Nollet *et al.*, 2018**).

Dans l'ensemble, il est possible de subdiviser les polyphénols principalement en acides phénoliques, en flavonoïdes et en non-flavonoïdes (**Rambaran, 2020**), figure 08.

Les tanins étant soit des polymères de flavanols constituant les tanins condensés, soit des esters de glucose et d'acide phénolique constituant les tanins hydrolysables.

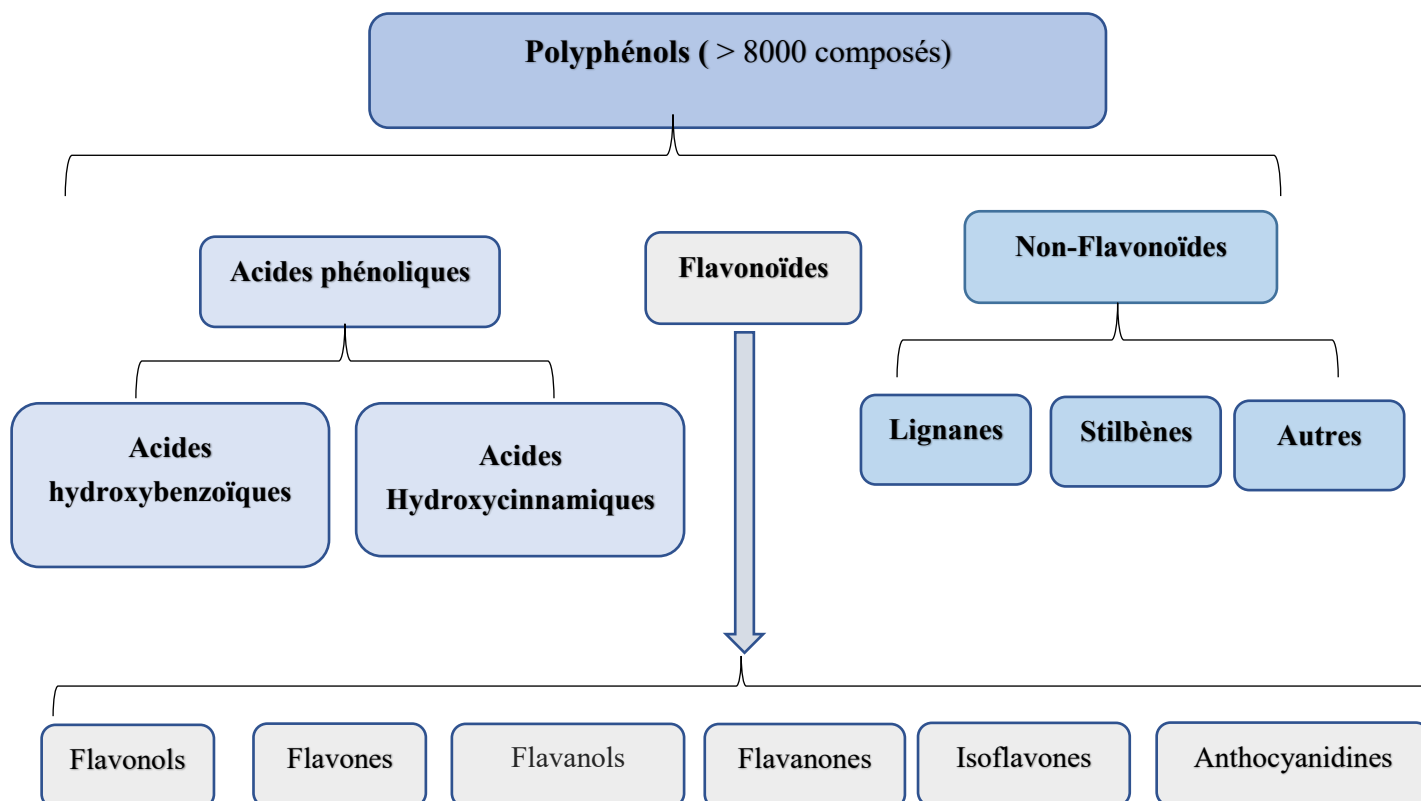


Figure 08 : Classification des polyphénols (**Rambaran, 2020**).

II.1.1.1. Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés caractérisés par un cycle benzénique, un groupe carboxylique et un ou plusieurs groupes hydroxyles et/ou méthoxyyles dans la molécule (**Galanakis, 2018**). Ils sont représentés par les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques (Figure 08) :

- Les **acides hydroxybenzoïques** ont une structure C₆-C₁, avec un arrangement structural constitué d'un noyau benzénique sur lequel vient s'attacher une chaîne aliphatique à un carbone. Les plus communs sont les acides gallique, syringique, vanillique et gentisique (**Chira et al., 2008**) ;

- Les **acides hydroxycinnamiques** sont plus abondants que les acides hydroxybenzoïques. Leur structure de base est constituée d'un noyau de benzène accompagné d'une chaîne aliphatique à trois atomes de carbone, avec un ou plusieurs groupements hydroxyles, qui sont fréquemment estérifiés en esters d'alcool aliphatique. Les plus communs sont les acides caféique, p-coumarique, férulique et sinapique (**Chira et al., 2008**). La combinaison de l'acide caféique et de l'acide quinine donne naissance à l'acide chlorogénique, un composé présent dans une multitude de fruits et particulièrement concentré dans le café (**El Gharras, 2009**).

Par ailleurs, il y a lieu de souligner qu'il existe des phénols simples, issus de la décarboxylation de l'acide shikimique, mais qui sont rares à l'état naturel, tels que le pyrocatechol, le phloroglucinol et l'hydroquinol. Ce sont des dérivés en C6 du noyau benzénique (**Chira et al., 2008**).

II.1.1.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont les composés phénoliques les plus abondants du règne végétal, avec plus de 6000 structures différentes (**Šamec et al., 2021**). Ils comprennent 15 atomes de carbone formant une structure C6-C3-C6, soit deux noyaux aromatiques reliés par un pont de trois carbones. La plupart se présentent sous forme de glycosides et la structure de base peut subir de nombreuses substitutions avec des groupements hydroxyles, généralement en positions 4, 5, 7. Ces substitutions affectent leur solubilité, du fait que les méthylations les rendent plus lipophiles, alors que les hydroxylations et les glycosylations les rendent généralement plus hydrophiles (**Chira et al., 2008**).

Sur la base de leur structure, il existe plusieurs classes de flavonoïdes, dont les principales sont : les flavan-3-ols, les flavonols, les flavones, les flavanones, les isoflavones, et les anthocyanidines (**Šamec et al., 2021**) (Figure 08).

- Les **flavan-3-ols** sont de simples monomères de (+) – catéchine et son isomère (–) – épicatechine. Par ailleurs, ils peuvent être estérifiés avec l'acide gallique ou bien hydroxylés pour former des gallocatéchines tels que : le gallate d'épicatechine, l'épigalocatechine, le gallate d'épigalocatechine et des gallotanins (**Chira et al., 2008**). Le flavan-3-ol le plus abondant est la catéchine, présente dans de nombreux fruits comme la pomme, mais le chocolat et le thé restent les principales sources de ce composé (**Chira et al., 2008 ; El Gharras, 2009**).

- Les **flavonols**, présents sous des formes glycosylées, la fraction de sucre associée est très souvent le glucose ou le rhamnose, mais d'autres sucres peuvent également s'associer tels que : le galactose, l'arabinose, le xylose. Ce sont les flavonoïdes les plus abondants dans l'alimentation et sont représentés par la quercétine, la rutine, la myricétine, la fisétine et le kaempférol. Les plus représentatifs de cette famille sont la quercétine et le kaempférol (**El Gharras, 2009 ; Tapiero, 2012**). Le kaempférol est présent dans le grain de pollen, en particulier pendant la fécondation (**Buchanan et al., 2000**).
- Les **flavones** ont une structure très proche de celle des flavonols, avec une différence qui réside en l'absence de l'hydroxyle en C₃. Elles sont beaucoup moins fréquentes que les flavonols et se composent principalement de glycosides de lutéoline et d'apigénine (**Chira et al., 2008 ; El Gharras, 2009**).
- Les **flavanones** sont caractérisées par l'absence de la double liaison entre C₂ et C₃ et par la présence d'un centre de chiralité en C₂ (**Chira et al., 2008**). Elles sont surtout concentrées dans les agrumes et dans les prunes. Elles comprennent la naringénine, l'héspéridine et la taxifoline. La naringénine se retrouve particulièrement dans le pamplemousse, l'héspéridine dans l'orange et l'ériodictyol dans le citron (**El Gharras, 2009 ; Tapiero, 2012**).
- Les **isoflavones** sont des flavonoïdes dont l'anneau B de la molécule de flavone est attaché au carbone 3 de l'hétérocycle. Elles se retrouvent principalement dans les légumineuses (**Bravo, 1998**). La daidzéine et la génistéine sont les isoflavones les plus couramment contenues dans l'alimentation et dont la principale source est représentée par le soja qui en contient environ 1 mg par gramme de haricot sec (**Tapiero, 2012**).
- Les **anthocyanidines** sont largement présentes dans les plantes vasculaires, principalement sous forme de glycosides. Ce sont des pigments naturels responsables de la coloration rouge, bleue et violette de certains fruits (les raisins noirs, les prunes, les framboises noires, les cassis...), légumes et fleurs.
Elles sont très dépendantes du pH du milieu. Elles jouent un rôle dans la protection des végétaux contre les excès du rayonnement solaire et les plus courantes sont : la

cyanidine, la pélagonidine, la delphinidine et la malvidine (Chira *et al.*, 2008 ; Nollet *et al.*, 2018).

II.1.1.3. Tanins

Les tanins se divisent principalement en deux grands groupes : les tanins condensés et les tanins hydrolysables. Il y a lieu de souligner qu'il existe d'autres types de tanins, appelés les phlorotanins et identifiés dans les algues brunes-rouges, dépourvus des groupes ortho-phénoliques typiques des tanins hydrolysables et condensés (Tazeddinova *et al.*, 2022), figure 09.

II.1.1.3.1. Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont des esters de glucose et d'acide phénolique. Lorsqu'il s'agit d'acide gallique, on parle de tanins galliques ; lorsqu'il s'agit d'acide ellagique, on parle de tanins ellagiques. Leurs polymères sont appelés des tannoïdes (Nani, 2017).

II.1.1.3.2. Tanins condensés

Connus sous le nom également de proanthocyanidines, les tanins condensés sont constitués d'unités flavan-3-ol avec une grande complexité structurale. En tenant compte de leur degré de polymérisation, ils peuvent être définis comme des oligomères (à partir de 2 à 4), des polymères (de 5 à 10) et des hauts polymères (>10). Les plus abondantes dans les aliments sont les proanthocyanidines de type B, caractérisées par une liaison entre C4-C6 ou C4-C8 (Ou and Gu, 2014). Ils possèdent une aptitude à s'associer avec les protéines salivaires, conférant chez certains fruits une propriété d'astringence (Chira *et al.*, 2008).

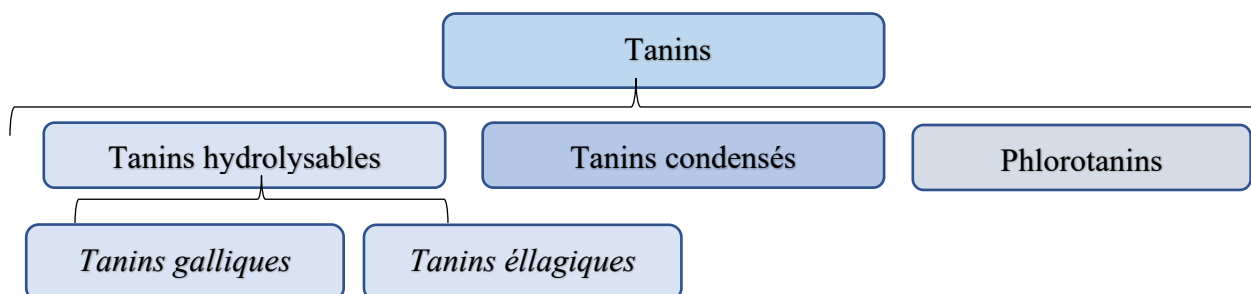


Figure 09 : Classification des tanins (Tazeddinova *et al.*, 2022).

II.1.1.4. Stilbènes

Les stilbènes, composés phénoliques à structure C6-C2-C6 avec deux noyaux benzéniques reliés par un pont méthylène, sont présents en faibles quantités dans l'alimentation humaine (**Chira et al., 2008** ; **El Gharras, 2009**). Le composé le plus connu est le resvératrol, se présentant sous forme cis et trans. Cette dernière forme est produite par la plante, en réponse aux stress biotiques induits par les attaques bactériennes, fongiques et virales (**Chira et al., 2008**).

II.1.1.5. Lignanes

Les lignanes sont composés de deux unités de phénylpropane. Bien qu'ils soient présents dans certaines graines, céréales, fruits et autres légumes, leur concentration dans les graines de lin est environ 1 000 fois plus élevée (**El Gharras, 2009**).

II.1.2. Les polyphénols du palmier dattier

De nombreux travaux se sont orientés vers l'identification des polyphénols contenus dans les différentes parties du palmier dattier : pulpes, noyaux, folioles et pollens. Les principaux polyphénols, notamment les acides phénoliques et les flavonoïdes contenus dans la pulpe de datte, le noyau, le pollen et les folioles, sont reportés dans le tableau 08.

De nombreux travaux ont identifié différents acides phénoliques contenus dans la pulpe de dattes (Figure 10 et Tableau 08) dont les principaux sont :

- Les acides hydroxybenzoïques, dont les plus couramment identifiés comprennent les acides : gallique, syringique, vanillique et *p*-hydroxybenzoïque ;
- Les acides hydroxycinnamiques, dont les principaux identifiés sont les acides : férulique, caféique, *p*-coumarique et sinapique (**Mansouri et al., 2005** ; **Saafi et al., 2009** ; **Amira et al., 2012** ; **Benmeddour et al., 2013** ; **Hamad et al., 2015** ; **Taleb et al., 2016** ; **Souli et al., 2018** ; **Siddiqi et al., 2020**).

Il y a lieu de relever que quelques travaux ont identifié d'autres acides phénoliques tels que l'acide chlorogénique (acide hydroxycinnamique) (**Karasawa et al., 2011** ; **Amira et al., 2012** ; **Hamad et al., 2015** ; **Souli et al., 2018**) et l'acide ellagique (acide hydroxybenzoïque) (**Chaira et al., 2009** ; **Alshwyeh, 2020**).

Par ailleurs, de nombreux travaux ont identifié différents flavonoïdes contenus dans la pulpe de dattes (Figure 10 et Tableau 08) dont les principaux sont :

- Des flavonols, dont la rutine et la quercétine. Des flavones dont la lutéoline et l'apigénine. Des flavanols dont la catéchine et l'épicatéchine (**Mansouri *et al.*, 2005 ; Benmeddour *et al.*, 2013 ; Amira *et al.*, 2012 ; Hamad *et al.*, 2015 ; Souli *et al.*, 2018**) ;
- Des anthocyanes ont été identifiés dans la pulpe de datte, avec des teneurs qui varient selon les stades de maturation de la datte et selon la variété. Les molécules identifiées sont principalement la cyanidine 3-glucoside et la pétanine (**Al-Farsi *et al.*, 2005b ; Samad *et al.*, 2016**).

Il y a lieu de relever que l'étude conduite par **Thompson *et al.* (2006)** a identifié dans la pulpe de datte 03 isoflavones : la diadzéine, la génistéine et la glycitéine et un lignane : le matairesinol. Les isoflavones sont reconnues pour leurs activités antioxydantes, anti-inflammatoires, phytoestrogéniques et anticancéreuses (**Luca *et al.*, 2020**).

Par ailleurs, une récente étude conduite par **Alshwyeh (2020)** a identifié dans la pulpe de datte le flavonol qu'est le kaempférol, connu pour ses propriétés antioxydantes, anticancéreuses et antibactériennes.

Dans la pulpe de datte, les tanins sont des polyphénols dont les teneurs sont étroitement liées au processus de maturation du fruit. Plus le stade de maturation est avancé, plus la teneur en tanins du fruit diminue (**Al-Redhaiman, 2004**). La réduction significative de l'astringence après le passage du stade « Khalal » au stade « Routab » peut être attribuée au dépôt de tanins hydrolysables (**Pakkish and Mohammadrezakhani, 2020**).

Les tanins condensés, polymères de catéchine ou d'épicatéchine, ont été analysés dans de nombreux travaux (**Benmeddour *et al.*, 2013 ; Bouhlali *et al.*, 2017 ; Alahyane *et al.*, 2019**).

Appartenant à la famille des tanins hydrolysables, particulièrement les gallotanins, l'acide tannique a été identifié respectivement dans des dattes algériennes et égyptiennes par **Ali Haimoud (2017)** et par **El Sohaimy *et al.*, (2015)**.

Les sous-produits du *Phoenix dactylifera* L., sont également une source de polyphénols. Dans les noyaux du fruit, les folioles des palmes et les pollens (pieds mâles), nous retrouvons pratiquement les mêmes composés que ceux identifiés dans les pulpes de dattes (Tableau 08).

L'acide chlorogénique a été identifié dans les pollens et les folioles des palmes (**Laouini, 2014 ; Daoud *et al.*, 2019 ; El-Azim *et al.*, 2015**). Le flavonol, l'isorhamnétine, a été identifié aussi bien dans les noyaux, les pollens que les folioles (**Ouafi and Bounaga, 2008 ; John and Shahidi, 2019 ; Farag *et al.*, 2023**). Le composé flavanone, la naringénine, a été identifié dans les noyaux de dattes du cultivar algérien *Tantbouchte* (**Messaoudi *et al.*, 2013**).

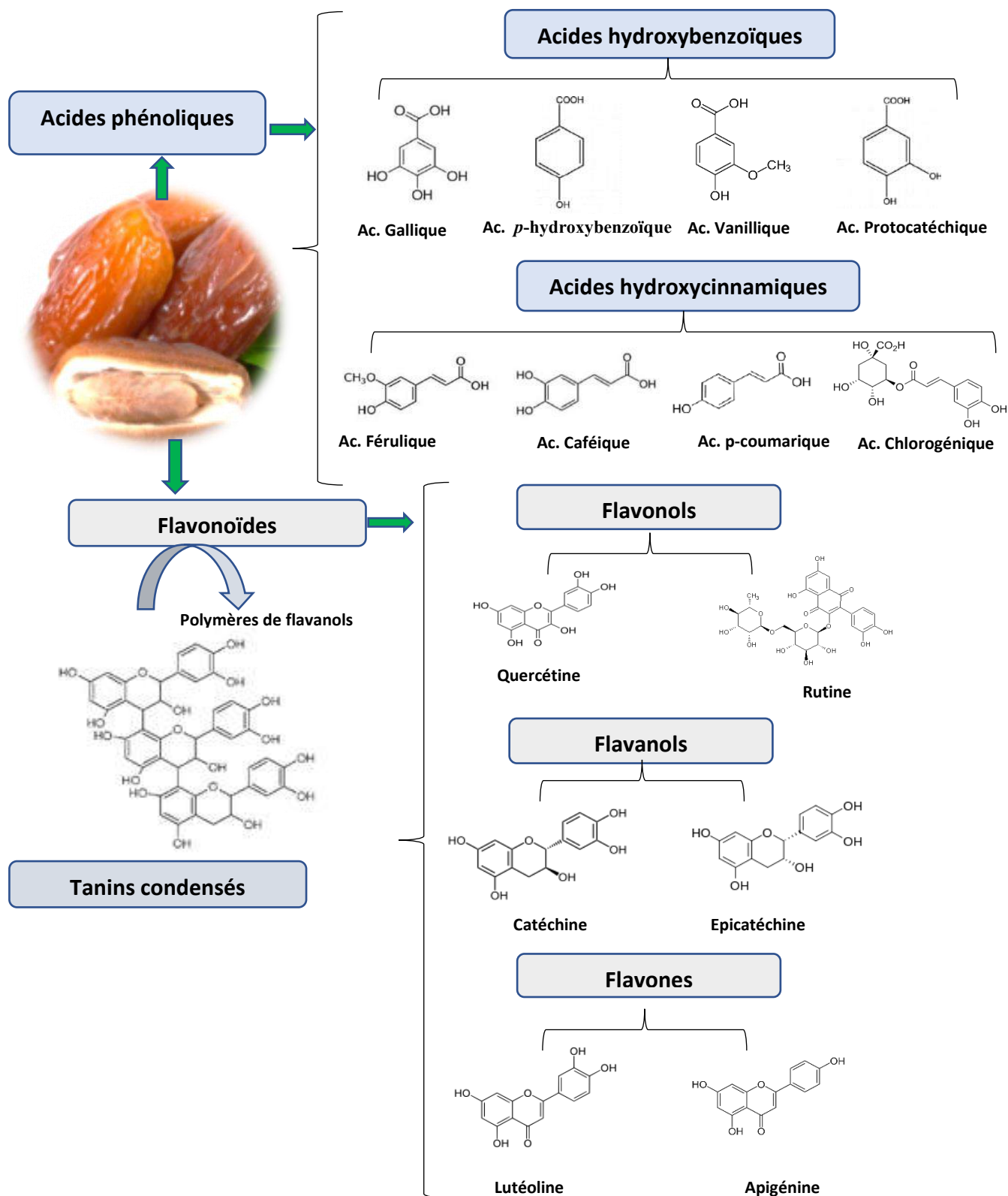


Figure 10 : Structures chimiques de quelques polyphénols contenus dans la pulpe de datte (Ac : Acide).

Tableau 08 : Polyphénols identifiés dans le palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L.

	Acides phénoliques *	Flavonoïdes/Proanthocyanidines*	Autres polphénols**	Références
Pulpes 	<ul style="list-style-type: none"> - Acides Hydroxybenzoïques : Acides gallique, protocatéchique vanillique syringique et <i>p</i>-hydroxybenzoïque -Acides Hydroxycinnamiques : Acides caféique, férulique, <i>p</i>-coumarique, <i>m</i>-coumarique, <i>o</i>- coumarique, sinapique et chlorogénique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Flavonols : Quercétine, rutine. -Flavones : Apigénine, lutéoline. -Flavanols : Catéchine et épicatechine. -Anthocyanidnes : cyanidine-3-glucoside - Proanthocyanidines (=Tanins condensés) 	<ul style="list-style-type: none"> - Flavonols : Kaempférol - Isoflavones : Diadzéine, génistéine glycitéine. -Lignanes : Matairésinol. 	Mansouri et al., 2005 ; Al-Farsi et al., 2005b ; Thompson et al., 2006 ; Saafi et al., 2009 ; Benmeddour et al., 2013 ; Amira et al., 2012 ; Hamad et al., 2015 ; Samad et al., 2016 ; Taleb et al., 2016 ; Kchaou et al., 2013 ; Souli et al., 2018 , Siddiqi et al., 2020 .
Graine 	<ul style="list-style-type: none"> - Acides Hydroxybenzoïques : Acides gallique, protocatéchique, <i>p</i>-hydroxybenzoïque et vanillique. - Acides Hydroxycinnamiques : Acides caféique, férulique, <i>p</i>-coumarique, <i>m</i>-coumarique, <i>o</i>- coumarique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Flavonols : Quercétine et isorhamnétine. -Flavones : Apigénine, lutéoline. -Flavanols : Catéchine et épicatechine. -Proanthocyanidines 	<ul style="list-style-type: none"> - Flavonols : Kaempférol. - Flavones : chrysoériol. -Flavanones : Naringénine. 	-Al-Farsi and Lee, 2008b ; Messaoudi et al., 2013 ; Habib et al., 2014 ; John and Shahidi, 2019 ; Farang et al., 2023 .
Pollen 	<ul style="list-style-type: none"> - Acides Hydroxybenzoïques : Acides gallique et vanillique. -Acides Hydroxycinnamiques : Acides caféique, férulique, <i>p</i>-coumarique et chlorogénique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Flavonols : Quercétine, rutine, isorhamnétine-3-<i>O</i>-glucoside -Flavones : Apigénine, lutéoline-7-<i>O</i>-glucoside. -Flavanols : Catéchine et épicatechine. -Proanthocyanidines 	<ul style="list-style-type: none"> - Flavanones : Naringénine 	-Abbas and Ateya, 2011 ; Daoud et al., 2019 ; El-Azim et al., 2015 ; Farang et al., 2023 ; Echegaray et al., 2023 .
Folioles 	<ul style="list-style-type: none"> - Acides Hydroxybenzoïques : Acides gallique, <i>p</i> hydroxybenzoïque et protocatéchique. - Acides Hydroxycinnamiques : Acides caféique, férulique, <i>p</i>-coumarique et chlorogénique. 	<ul style="list-style-type: none"> -Favonols : Quercetine-3-<i>O</i>-rhamnoside, rutine, Isorhamnétine - Flavones : Apigénine, lutéoline, -Flavanols : épicatechine -Proanthocyanidines 	<ul style="list-style-type: none"> - Flavones : Tricine et chrysoériol. - Anthocyanes : cyanidine. - Gallate de méthyle (ester de méthyle de l'acide gallique). 	-Ouafi and Bounaga, 2008 ; Laouini, 2014 ; Chakroun et al., 2016 ; John and Shahidi, 2019 .

* : Composés phénoliques les plus fréquemment identifiés ; ** : Composés phénoliques les moins fréquemment identifiés.

(Photos originales).

II.2. Radicaux libres et stress oxydatif

Les radicaux libres sont des molécules ou des atomes qui possèdent un ou plusieurs électrons non appariés sur leur couche externe. Cet état leur confère une instabilité énergétique et cinétique (Sen *et al.*, 2000). Ils sont désignés sous le terme d'espèces réactives (ER).

Les molécules oxydantes ou espèces réactives (ER) sont représentées par plusieurs espèces réactives, dont les plus communes sont les espèces réactives de l'oxygène (ERO) appelées « *reactive oxygen species* : ROS ». Auxquelles s'ajoutent les espèces réactives de l'azote (ERN) appelées « *reactive nitrogen species* : RNS » et les espèces réactives du chlore (ERC) appelées « *reactive chlorine species* : RCS » (Hamma *et al.*, 2015).

Dans l'ensemble, les principales espèces réactives sont : le superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), l'hydroxyle (OH^{\cdot}), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), le monoxyde d'azote (NO) et le peroxydinitrite ($ONOO^-$) (Hamma *et al.*, 2015).

II.2.1. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont la conséquence inévitable de la consommation de l'oxygène moléculaire par l'organisme. Leur production est permanente et physiologique.

Il y a lieu de souligner que les ERO regroupent non seulement des radicaux libres tels que l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$) ou le radical hydroxyle (OH^{\cdot}) mais également des dérivés non radicalaires tels que le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ou les hydroperoxydes (ROOH) (Nonell and Flors, 2016).

➤ Les espèces réactives de l'oxygène radicalaires

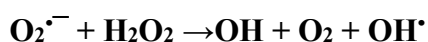
- **L'anion radical superoxyde ($O_2^{\cdot-}$)**. La respiration cellulaire au niveau mitochondrial génère la production de l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$). Les oxydases (xanthine oxydase, NO synthase : dérivés d'oxydation d'acides gras polyinsaturés) constituent également des sources cellulaires de la production d'anion superoxyde. Il représente un élément fondamental conduisant au cours de véritables chaînes d'oxydo-réductions à la formation de nombreuses espèces très réactives (Figure 11) (Koechlin-Ramonatxo, 2006) ;

- Le radical perhydroxyle ou hydroperoxyle (HO_2^\bullet) est obtenu après protonation de l'anion superoxyde ($\text{O}_2^{\bullet-}$) à pH inférieur à 4,8 (Rezaire, 2012) ;

- Le radical hydroxyle (OH^\bullet) : se forme *in vivo* soit en présence de cations métalliques (réaction de Fenton) :



où se forme au cours de la réaction non enzymatique de Haber et Weiss :

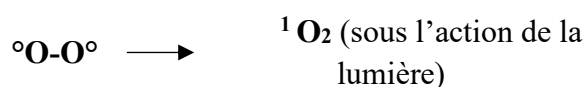


- Le radical peroxyde RO_2^\bullet : il apparaît à la suite de l'addition d'oxygène aux radicaux centrés sur le radical R^\bullet . Son niveau de réactivité se situe entre l'anion radical superoxyde et le radical hydroxyle (Rezaire, 2012) ;

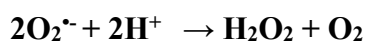
- Le radical secondaire alkoxydes (RO^\bullet) : il résulte de la désintégration de l'hydroperoxyde RO_2H , qui résulte de l'oxydation du substrat RH , facilitée par la présence de cations métalliques (Rezaire, 2012).

➤ Les espèces réactives de l'oxygène non radicalaires

- L'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$) : lorsque de l'énergie est apportée à l'oxygène, celui-ci passe à l'état singulet qui représente la forme activée. C'est une forme très énergétique, de grande réactivité, qui peut oxyder de nombreuses molécules. Il est formé à partir de l'ion superoxyde selon la réaction suivante :



- Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) : il est essentiellement produit lors de la dismutation du $\text{O}_2^{\bullet-}$ par la superoxyde dismutase selon la réaction (Koechlin-Ramonatxo, 2006) :



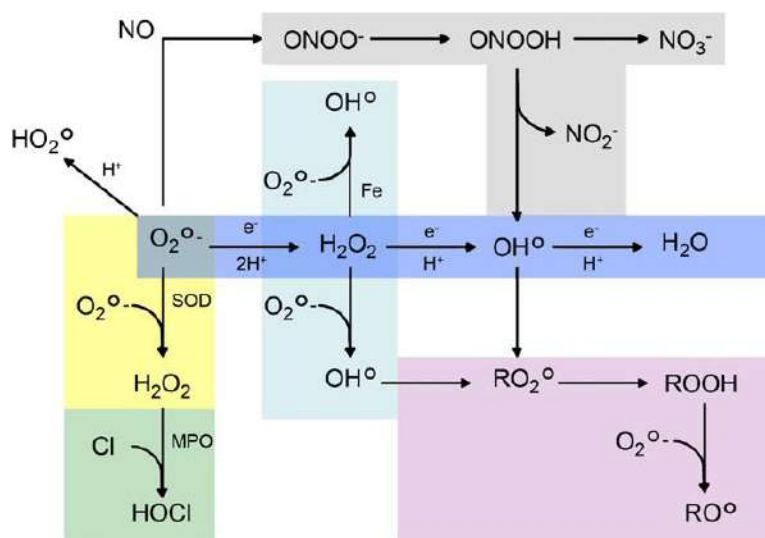


Figure 11 : Formation en cascade des différentes espèces réactives (Koechlin-Ramonatxo, 2006).

II.2.2. Espèces réactives de l'azote (RNS)

Le monoxyde d'azote NO (ou oxyde nitrique) est le principal radical produit de manière exogène ou endogène et jouant un rôle central dans la formation d'autres espèces réactives de l'azote (ou Reactive Nitrogen Species : RNS). Il y a lieu de souligner qu'il interagit avec des espèces réactives de l'oxygène comme le superoxyde ($\text{O}_2^{\bullet-}$) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) (Auger *et al.*, 2011) (Figure 11).

➤ Les espèces réactives de l'azote radicalaires

Contrairement à l'homme, les plantes et les bactéries produisent du NO à la fois par voie enzymatique et non enzymatique. La L-arginine et le nitrate sont des substrats importants pour la formation du NO (Alhasawi *et al.*, 2019).

-Le monoxyde d'azote (NO^\bullet) : c'est un gaz paramagnétique présentant un électron célibataire (Peyrot, 2004). Il est synthétisé à partir de la L-arginine par les NO synthases (NOS), en présence de cofacteurs tels que le NADPH et le dioxygène comme co-substrat (Figure 12), selon la réaction suivante :

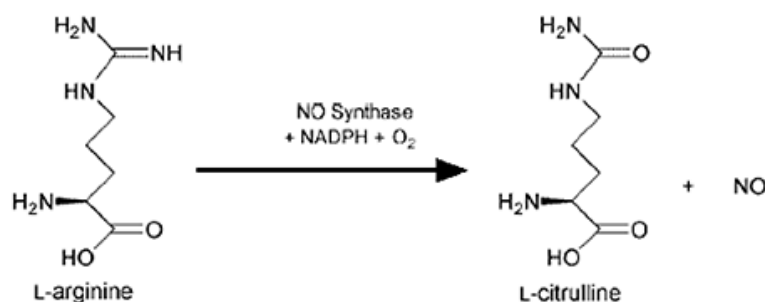


Figure 12 : Synthèse biologique du monoxyde d'azote (NO) à partir de l'arginine (Peyrot, 2004).

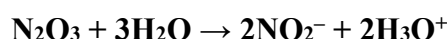
Caractérisé par sa grande faculté de diffusion dans les membranes cellulaires et sa réactivité moyenne, le monoxyde d'azote radicalaire peut aisément réagir avec la plupart des espèces de l'oxygène et se transformer en dioxyde d'azote et en peroxydinitrite selon les réactions citées ci-dessous (Rezaire, 2012).

➤ **Les espèces réactives de l'azote non radicalaires (Rezaire, 2012) :**

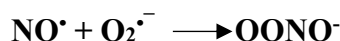
- Le dioxyde d'azote (NO_2) : formé selon la réaction $2\text{NO}^\bullet + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$

- Le trioxyde d'azote (N_2O_3) : formé selon la réaction $^\bullet\text{NO} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_3$

- Le nitrite (NO_2^-) formé selon la réaction :



-Le peroxydinitrite (ONOO^-), formé selon la réaction :



II.2.3. Espèces réactives du chlore (RCS)

Les espèces réactives du chlore (ou reactive chlorine species : RCS) représentées par l'acide hypochloreux (HOCl) généré à partir du H_2O_2 et le chlore (Cl) (Figure 11) par la myéloperoxydase, particulièrement abondante dans les phagocytes immunologiquement actifs. Il s'agit d'un oxydant puissant qui peut réagir avec de nombreuses molécules biologiques, notamment celles contenant des groupements thiols (-SH) (Koechlin-Ramonatxo, 2006 ; Hamma *et al.*, 2015), produit selon la réaction suivante :



II.2.4. Production des radicaux libres

Les radicaux libres ou espèces réactives sont produits dans les mitochondries, le réticulum endoplasmique, les peroxysomes, les lysosomes, les membranes et de nombreux sites dans le cytosol (Goudable and Favier, 1997). Cette production est causée par une multitude de mécanismes biochimiques, à travers des facteurs tant endogènes qu'exogènes (Hamma *et al.*, 2015).

II.2.4.1. Sources endogènes

Les radicaux libres sont des produits des réactions de l'organisme impliquant la respiration cellulaire, la défense immunitaire, la signalisation cellulaire, la régulation des métabolismes et aussi la modulation de l'expression des gènes. Ils contrôlent la croissance, la différenciation et l'apoptose cellulaire (Beaudeau *et al.*, 2006 ; Hamma *et al.*, 2015).

Chez les mammifères, la production des espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans les cellules découle de plusieurs sources possibles, mais elle est essentiellement d'origine enzymatique, principalement de la NADPH-oxydase membranaire du complexe enzymatique mitochondrial de la chaîne respiratoire (Rezaire, 2012). La figure 13, illustre les principaux sites cellulaires de production des espèces réactives de l'oxygène.

Dans l'ensemble, les sources principales endogènes de production d'espèces réactives sont :

➤ L'activité de la chaîne respiratoire dans les organismes aérobies

La production des radicaux libres ou d'espèces réactives est une conséquence inévitable du métabolisme aérobie, du fait que l'organisme a besoin d'O₂ pour produire de l'énergie au cours des réactions dites de « respirations oxydatives ». Leur production est permanente et physiologique. Cependant, dans l'organisme, une partie de cet oxygène moléculaire peut capter de manière univalente et séquentielle un électron, conduisant alors à la formation d'espèces réactives de l'oxygène (Pastre, 2005 ; Koechlin-Ramonatxo, 2006).

➤ La signalisation cellulaire

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont impliquées dans la signalisation cellulaire et leur production est principalement induite par l'enzyme la Nox (NADPH oxydase). Il y a lieu de souligner que divers facteurs de croissance tels que les cytokines provoquent la génération des ERO par l'activation de cette enzyme (Koechlin-Ramonatxo, 2006 ; Hamma

et al., 2015). La liaison d'un ligand extracellulaire à son récepteur sur la membrane cellulaire aboutit à la formation des ERO (Pastre, 2005).

➤ La défense antibactérienne et la phagocytose

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont produites lors de la phagocytose d'une bactérie par un macrophage. Il en résulte une vésicule appelée phagosome qui va fusionner alors avec des lysosomes pour former des phago-lysosomes. Il en résulte une succession de réactions appelées « explosion oxydative », qui va induire la production de radicaux libres qui, en fait, sont des oxydants bactéricides, qui vont provoquer la lyse de la bactérie. Les espèces réactives d'oxygène radicalaires et non radicalaires générées sont : O_2^- , HO^* , H_2O_2 (Pastre, 2005).

➤ D'autres sources endogènes enzymatiques

D'autres sources endogènes enzymatiques sont à l'origine d'espèces réactives telles que les NADPH oxydases (Nox), la xanthine oxydase, la NO synthase et les enzymes de la voie de l'acide arachidonique (lipoxygénases, cyclo-oxygénases) (Koechlin-Ramonatxo, 2006 ; Hamma *et al.*, 2015) (Figure 13).

- Les **NADPH oxydases** (Nox) qui interviennent dans la régulation de nombreux processus physiologiques fondamentaux, tels que la croissance cellulaire, le remodelage du cytosquelette, la différenciation et l'apoptose (Hamma *et al.*, 2015).

- La **xanthine oxydase**, enzyme ubiquitaire impliquée dans le catabolisme de l'ATP (Strobel *et al.*, 2011).

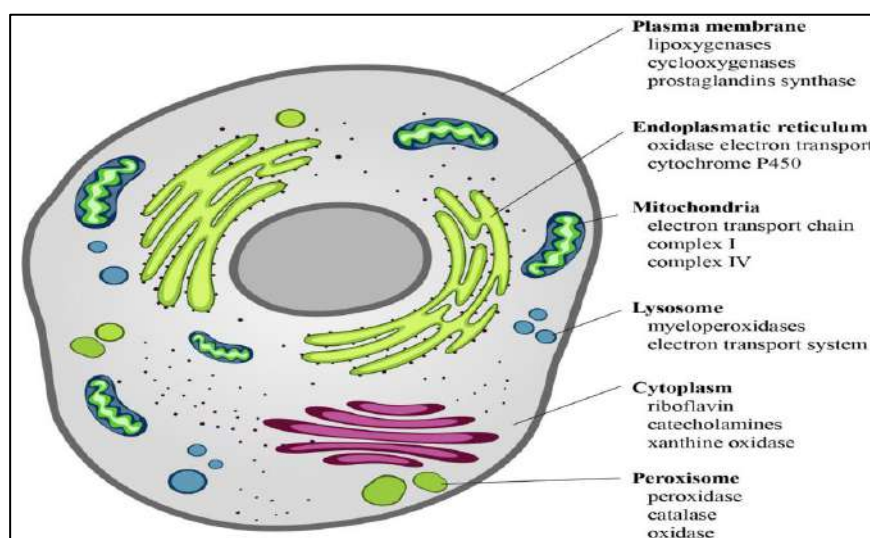


Figure 13 : Principaux sites cellulaires impliqués dans la production des espèces réactives de l'oxygène (Vona *et al.*, 2021).

II.2.4.2. Sources exogènes

Les organismes vivants sont exposés quotidiennement à des polluants, tels que la fumée de cigarette, les rayons ultraviolets, les radiations, les pesticides, l'alcool, etc. Ces facteurs sont des éléments induisant la production de radicaux libres dans l'organisme (Tableau 09) (**Pastre, 2005**). Et les espèces réactives de l'oxygène sont les radicaux libres les plus abondants dans la nature, produits sous l'action de ces polluants (**Mena *et al.*, 2009**).

Il y a lieu de souligner également que le changement des pratiques agricoles et l'augmentation de la combustion des combustibles fossiles sont les deux principaux facteurs du stress nitrosatif auquel les organismes vivants sont exposés (**Alhasawi *et al.*, 2019**).

L'étude de **Sumaya Martinez (2004)** rapporte que les rayonnements UV déclenchent la production d' $O_2^{\cdot-}$, OH^{\cdot} , 1O_2 et H_2O_2 au moyen d'agents photosensibilisants. **Hamma *et al.*, (2015)** indiquent que les radiations ionisantes, le rayonnement ultraviolet et les ultrasons sont générateurs de radicaux OH^{\cdot} .

Par ailleurs, la pollution générée par les pesticides est un facteur pouvant induire la production de radicaux libres, comme cela a été rapporté par **Muguruma *et al.* (2007)**, qui ont démontré que le Piperonyl Butoxide (PBO), utilisé comme synergisant dans de nombreux pesticides, a un effet sur les tumeurs du foie en augmentant la production des espèces réactives d'oxygène en tant que sous-produit de l'oxydation microsomale hépatique chez la souris.

La fumée des cigarettes contribue également à la production d'espèces réactives de l'azote (ERN) dans l'environnement. Elle représente la plus grande source de NO exogène et de peroxy-nitrite à laquelle l'organisme est exposé (**Alhasawi *et al.*, 2019**).

Le stress oxydatif induit par l'alcool est lié au métabolisme de l'éthanol où trois voies métaboliques sont impliquées : l'alcool déshydrogénase (ADH), le système microsomal d'oxydation de l'éthanol (MEOS : Microsomal Ethanol Oxidizing System) et la catalase. Chacune de ces voies pourrait produire des radicaux libres, mais la voie métabolique catalysée par l'alcool déshydrogénase (ADH) produisant l'acétaldéhyde et aboutissant à la formation de radicaux libres serait la plus courante (**Das and Vasudevan, 2007**).

Tableau 09 : Principales sources, endogènes et exogènes, de production des radicaux libres (Pastre, 2005).

Sources endogènes	<ul style="list-style-type: none"> - Respirations oxydatives mitochondriales - Signalisation cellulaire - Phagocytoses - Métabolisme de l'acide arachidonique
Sources exogènes	<ul style="list-style-type: none"> - Alcool - Fumée de cigarettes - Pesticides - Radiations ionisantes, le rayonnement ultraviolet et les ultrasons

II.2.5. Stress oxydatif ou stress oxydant

Le stress oxydatif ou oxydant est le résultat d'un déséquilibre entre les molécules oxydantes (espèces réactives) et les molécules antioxydantes, en faveur des molécules oxydantes, au niveau de l'organisme.

En effet, les espèces réactives de l'oxygène et de l'azote (ERO et ERN) jouent un rôle vital dans de nombreux processus biologiques, mais deviennent très nocives si elles sont produites ou présentes en concentrations excessives, induisant alors un stress oxydant (Martinez and Andriantsitohaina, 2009).

Il y a lieu de souligner que de nombreuses études cliniques et épidémiologiques ont rapporté que de nombreuses maladies telles que les maladies neurodégénératives et cardiovasculaires, les cancers, les allergies et le diabète sont induites par le stress oxydatif (Hamma *et al.*, 2015).

II.2.6. Lésions cellulaires causées par les radicaux libres

Les espèces réactives (ER) sont nécessaires au bon fonctionnement cellulaire, mais produites en concentrations élevées, elles deviennent nocives et induisent des lésions cellulaires au niveau de l'ADN, des protéines, des lipides et des sucres (Pastre, 2005).

- Au niveau de l'ADN (acide désoxyribonucléique) et de l'ARN (acide ribonucléique), les ER peuvent réagir avec les nucléotides et induire des modifications au niveau des bases azotées ou des pompages entre les bases ou provoquer la fragmentation de l'ADN (Pastre, 2005 ; Sosa *et al.*, 2013).

- Au niveau des protéines, les ER peuvent réagir avec les acides aminés, entraînant ainsi une modification de la structure des protéines, ce qui peut altérer la fonction de nombreuses enzymes, des récepteurs et des protéines impliqués dans le transport cellulaire, affectant ainsi l'ensemble de la fonction cellulaire.
- Au niveau des lipides, en particulier les acides gras mono- et polyinsaturés (AGPI) présents dans les phospholipides membranaires, les ER sont responsables de l'initiation des réactions de peroxydation induisant la libération de molécules réactives telles que le ROO^{*} (radical peroxyde) et le ROOH (hydroperoxyde).
- Au niveau des sucres, les ER peuvent aussi agir sur le glucose et générer des intermédiaires réactifs.

II.3. Pouvoir antioxydant

Les antioxydants peuvent être classés en deux grandes classes : les antioxydants endogènes et les antioxydants exogènes qui agissent en synergie pour lutter contre les espèces réactives. Le tableau 10 reporte les principaux composés antioxydants endogènes et exogènes.

Selon Halliwell (1999), les mécanismes par lesquels un antioxydant exerce ses actions sont :

- Le piégeage direct d'espèces réactives de l'oxygène (ERO)
- ou par l'inhibition des enzymes et la chélation d'ions métalliques impliqués dans la génération des ERO.

II.3.1. Système de défense des antioxydants endogènes

Le système de défense des antioxydants endogènes comprend le système antioxydant enzymatique et non enzymatique. Le système antioxydant enzymatique est représenté principalement par la superoxyde dismutase, le glutathion peroxydase et la catalase (Tableau 10) (Rezaire, 2012).

- La **superoxyde dismutase**, connue sous le nom de SOD, joue un rôle important dans la catalyse des ions superoxydes, entraînant la formation de peroxyde d'hydrogène et d'oxygène moléculaire ;

- La **glutathion peroxydase**, connue sous le nom GPx, possède une capacité réductrice sur le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et d'autres hydroperoxydes d'origine lipidique ;
- La **catalase** (CAT), principalement localisée dans les peroxysomes et dans les érythrocytes, possède la capacité de convertir le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire.

Il y a lieu de souligner que d'autres enzymes ont une activité antioxydante qui n'est pas négligeable, telle que la glutathion réductase, la glutathion transférase et la thiorédoxine réductase (Rezaire, 2012).

Le système antioxydant endogène non enzymatique inclut de nombreux thiols, dont le majoritaire est le **glutathion** (GHS). *In vitro*, ce dernier peut réagir avec l'oxygène singulet (¹O₂) et avec d'autres espèces réactives radicalaires et non radicalaires : HO•, RO₂•, RO•, ONOO⁻ et l'acide hypochloreux HOCl.

Le système antioxydant endogène non enzymatique implique également d'autres composés tels que :

- L'**acide urique**, qui a la capacité de piéger des radicaux libres et de protéger l'ADN de l'oxydation par le radical hydroxyle (Stinefelt *et al.*, 2005) ;
- La **mélatonine** est connue pour être un piègeur de radicaux libres comprenant le radical hydroxyle, l'anion peroxydite, l'oxygène singulet et l'oxyde nitrique. Elle aurait également le potentiel de stimuler plusieurs enzymes antioxydantes, dont la glutathion peroxydase, la glutathion réductase, la glucose-6-phosphate déshydrogénase et la superoxyde dismutase et elle inhiberait une enzyme prooxydante, l'oxyde nitrique synthase (Reiter *et al.*, 1999) ;
- La **taurine** (acide 2-aminoethanesulfonique) est un acide aminé sulfoné qui se trouve majoritairement dissous dans le cytosol ou est lié aux membranes cellulaires. Elle serait capable d'inactiver des radicaux libres (Pastre, 2005) ;
- L'**acide lipoïque**, connu pour sa capacité antioxydante due à son potentiel à piéger et à inactiver les radicaux libres (Tibullo *et al.*, 2017).

- Et d'autres molécules aux propriétés antioxydantes telles que la **ferritine**, la **transferrine** et l'**ubiquinone** (Sosa *et al.*, 2013).

II.3.2. Système de défense des antioxydants exogènes

Le système de défense des antioxydants exogènes comprend les antioxydants d'origine alimentaire, représentés majoritairement par les vitamines C et E, les caroténoïdes (traités dans le chapitre I de la présente étude) et les polyphénols.

- La **vitamine C**, également connue sous le nom d'acide ascorbique, est un composé hydrosoluble dans l'eau qui est couramment présent dans la majorité des fruits et légumes. **Retsky *et al.* (1999)** ont rapporté sa capacité à protéger contre le processus d'oxydation membranaire.
- La **vitamine E** (regroupant deux grands groupes, les tocophérols : α -, γ -, δ -... et les tocotriénols) est un antioxydant alimentaire dont la capacité est de protéger les structures membranaires et les lipoprotéines chez l'homme et de combattre le stress oxydatif efficacement en limitant la peroxydation lipidique (**Pastre, 2005**). Elle possède particulièrement la capacité à piéger l'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$) (**Kaiser *et al.*, 1990**). Elle empêche efficacement la production d'hydroperoxydes en piégeant les radicaux $\text{LOO}\cdot$ (**Yoshida *et al.*, 2006**).

Il convient de rapporter que certains oligo-éléments sont des cofacteurs d'enzymes intervenant dans la lutte contre les radicaux libres. Les trois enzymes antioxydantes dépendantes des oligo-éléments sont : la superoxyde-dismutase (SOD), la catalase, et la glutathion peroxydase (GPx).

Les oligo-éléments étroitement liés à l'activité de ces enzymes sont : le manganèse, le zinc, le cuivre, le fer et le sélénium (**Pastre, 2005**).

- Le **manganèse** entre dans la constitution de la manganèse superoxyde dismutase (MnSOD) mitochondriale qui est une enzyme du système de défense antioxydant endogène de l'organisme, permettant la conversion de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène.
- Le **zinc** qui participe à la structure et à la fonction de l'enzyme extracellulaire à activité antioxydante, la superoxyde dismutase (SOD). Avec le cuivre et le zinc, la SOD intracellulaire protège les acides gras polyinsaturés de l'oxydation.

- Le **sélénium** entre dans la constitution de la glutathion peroxydase (GPx), qui est une enzyme séléno-dépendante participant au recyclage du glutathion et limitant la peroxydation lipidique en catalysant la réduction des peroxydes, dont le peroxyde d'hydrogène.

Tableau 10 : Principaux systèmes des antioxydants endogènes et exogènes (Pastre, 2005).

Systèmes des antioxydants endogènes	Systèmes des antioxydants exogènes
<p style="text-align: center;">Enzymatiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - La superoxyde dismutase (SOD) - La glutathion peroxydase (GPx) - La catalase (CAT) - Les enzymes glutathion réductase, glutathion réductase et la thionédoxine réductase. <p style="text-align: center;">Non Enzymatiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Glutathion (GHS) - Acide lipoïque, l'acide urique, la mélatonine, ubiquinone, la tranferrine et la ferritine 	<p style="text-align: center;">Origines alimentaires</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vitamine C - Vitamine E - Les caroténoïdes - Les composés phénoliques ou polyphénols - Les minéraux et oligo-éléments

Il y a lieu de rapporter qu'il existe des antioxydants de synthèse, utilisés dans l'industrie alimentaire pour la conservation des aliments, représentés par le butylhydroxytoluène (BHT) et le butylhydroxyanisole (BHA).

II.3.3. Tests d'évaluation du pouvoir antioxydant *in vitro* et *in vivo*

De multiples techniques sont utilisées pour examiner les caractéristiques antioxydantes des échantillons, notamment pour les régimes alimentaires, les extraits de plantes et les antioxydants commerciaux, avec un éventail de modèles *in vitro* et *in vivo*.

L'étude de **Alam et al. (2013)** rapporte dix-neuf (19) tests antioxydants *in vitro* impliquant des mécanismes et/ou des radicaux libres différents et des pouvoirs réducteurs différents. Parmi ces tests, citons :

- Le test de piégeage du radical libre **DPPH•**, la capacité antioxydante équivalent Trolox (**TEAC**) appelée également test du radical cation **ABTS•+**, la capacité d'absorption des radicaux oxygénés (**ORAC**), la capacité antioxydante réductrice cuivrique (**CUPRAC**), le test du **β-carotène/acide linoléique**,

la capacité antioxydante par la **méthode de phosphomolybdate**, le test du pouvoir de réduction du fer (**FRAP**) et la capacité de piégeage du radical **hydroxyle (HO[•])**.

Dans l'ensemble, les tests de piégeage des radicaux DPPH[•] et hydroxyle (HO[•]) sont les plus couramment utilisés pour évaluer la capacité antioxydante *in vitro* (**Alam et al., 2013**). Il y a lieu de souligner que le radical DPPH[•] a un mécanisme de réaction similaire à celui du radical peroxyde ROO[•] (**Benzie and Strain, 1996**).

Quant aux tests antioxydants *in vivo*, on en dénombre au total dix (10). La technique de mesure de la peroxydation lipidique (**LPO**), suivie de celle de la mesure de l'activité de la superoxyde dismutase (**SOD**) et de la catalase (**CAT**), sont les plus fréquemment utilisées (**Alam et al., 2013**).

Dans la présente étude, trois tests antioxydants ont été utilisés : le test au radical DPPH[•], le test au radical cation ABTS^{•+} et le pouvoir réducteur (FRAP). Il s'agit de tests colorimétriques basés sur des mesures de spectrophotométrie. Les mécanismes réactionnels, les avantages et les inconvénients de ces techniques sont reportés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Caractéristiques des tests antioxydants DPPH, ABTS et FRAP.

Tests <i>in vitro</i>	DPPH	ABTS ou TEAC	FRAP
Nature des molécules testées	-Hydrophiles et lipophiles	-Hydrophiles et lipophiles	-Hydrophiles
Mécanismes réactionnels	-Majoritairement, un transfert d'électron	-Transfert d'électron et de proton	-Transfert d'électron
Avantages	-Facilité d'exécution -Peu coûteux -Le temps de réaction de piégeage des radicaux est de 30 minutes, ce qui permet au DPPH' d'interagir avec les antioxydants les plus faibles - Une bonne corrélation généralement observée avec les composés bioactifs (phénols, flavonoïdes)	- Facilité d'exécution -Peu coûteux -Cinétique de réaction très rapide - Radical ABTS ^{•+} est stable comparé au radical DPPH' - Une bonne corrélation généralement observée avec les composés bioactifs (phénols, flavonoïdes)	- Facilité d'exécution -Peu coûteux - Bonne corrélation avec le dosage de piégeage de H ₂ O ₂ - Peut dépister un large éventail d'échantillons biologiques y compris le sang, plasma, urine, liquide séminal... - Peut également être utilisé pour détecter la contamination de l'eau, l'effet des radiations, de la pollution...
Inconvénients	-Possibilités d'interférence à 515 nm -Forte dépendance au pH et au solvant - Lors de l'exposition à la lumière, l'absorbance du DPPH a tendance à diminuer, ce qui nécessite des conditions d'obscurité	- Réaction lente pour la génération du radical ABTS ^{•+} , qui prend environ 12 à 16 heures par rapport au DPPH, qui est facilement disponible dans le commerce.	-Non spécifique
Expression des résultats	-EC ₅₀ (en mg/mL ou μmol équivalent standard référence*)	-EC ₅₀ (en mg/mL ou μmol équivalent standard référence*)	-en mg ou μmol équivalent Fe ²⁺ ou équivalent standard référence*
Références	Brand-Williams <i>et al.</i> , 1995 ; Bibi Sadeer <i>et al.</i> , 2020.	Bibi Sadeer <i>et al.</i> , 2020 ; Munteanu and Apetrei, 2021.	Benzie and Strain, 1996 ; Bibi Sadeer <i>et al.</i> , 2020 ; Munteanu and Apetrei, 2021.

* : Equivalent standard référence (Trolox**, acide gallique, acide ascorbique, BHA, BHT)

** : un analogue hydrosoluble de la vitamine E.

II.4. Intérêts et propriétés des polyphénols

II.4.1. Propriétés physiologiques

Les polyphénols seraient associés à de nombreux processus physiologiques : croissance cellulaire, différenciation organogène, dormance des bourgeons, floraison et tubérisation (**Bahorun, 1997**).

Il y a lieu de rapporter que les teneurs en polyphénols des plantes sont souvent corrélées à la capacité des plantes à résister aux stress biotiques (tels que diverses attaques par des insectes, des bactéries, des champignons) et abiotiques tels que les rayonnements UV (**Williamson, 2017**). En effet, l'étude de **Daayf et al. (2003)** souligne l'implication des polyphénols du palmier dattier, particulièrement les dérivés des acides hydroxycinamiques, en réponse à la maladie du Bayoud, causée par le champignon *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis*.

L'étude menée par **Marfak (2003)** révèle le rôle des flavonoïdes dans la régulation de la croissance et du développement des plantes grâce à leurs interactions complexes avec diverses hormones de croissance végétales.

II.4.2. Propriétés technologiques

Les polyphénols suscitent de plus en plus d'intérêts du fait de leurs nombreuses propriétés leur conférant des aptitudes technologiques dans divers domaines d'applications tels que les industries agroalimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques. Dans l'industrie agroalimentaire, les polyphénols sont des ingrédients de plus en plus utilisés dans la conservation, la coloration et l'aromatization des denrées alimentaires (**Marfak, 2003 ; Williamson, 2017 ; Medel-Marabolí et al., 2017**).

- De par leurs propriétés antimicrobiennes, les polyphénols peuvent être utilisés comme conservateurs alimentaires en tant qu'alternatives naturelles aux additifs synthétiques (**Williamson, 2017**) ;
- Les polyphénols participent à la coloration des fruits, légumes et fleurs, particulièrement certains flavonoïdes dont les flavonols et les anthocyanes (**Marfak, 2003**) ;
- Les polyphénols sont impliqués dans la qualité organoleptique : l'amertume, l'astringence, la saveur, l'odeur des fruits et légumes, telles que certaines flavanones

responsables de l'amertume des agrumes et les tanins condensés à l'origine de la sensation d'astringence (**Medel-Marabolí *et al.*, 2017**) ;

- De par leurs propriétés antimicrobiennes, les polyphénols peuvent être utilisés dans les industries pharmaceutiques en combinaison avec des antibiotiques afin de potentialiser leur efficacité, de réduire la dose d'antibiotiques et, par conséquent, d'améliorer la qualité de la vie. Il est de plus en plus évident que les flavonoïdes agissent en synergie avec divers antibiotiques contre les bactéries multirésistantes (**Daglia, 2012**) ;
- De par leurs propriétés antioxydantes, les polyphénols ralentissent le vieillissement de la peau, ce qui explique leur exploitation dans les industries cosmétiques en tant qu'alternatives naturelles aux additifs artificiels (**Aires, 2022**).

II.4.3. Propriétés biologiques

Le stress oxydatif induit par l'excès des espèces réactives dans l'organisme est à l'origine du développement de lésions oxydatives. Ces dernières sont à l'origine de nombreuses pathologies causées par l'inflammation excessive (**Li *et al.*, 2014**). L'inflammation est considérée comme un facteur déterminant induisant de nombreuses pathologies, notamment l'obésité, le diabète de type II, certains types de cancers, les maladies cardiovasculaires, les maladies neurodégénératives et celles du tractus gastro-intestinal (**Santangelo *et al.*, 2007** ; **Sosa *et al.*, 2013** ; **Vona *et al.*, 2021**). Dans ce contexte, les polyphénols sont de plus en plus étudiés, du fait de leur grand potentiel thérapeutique et protecteur comme outil de prévention indéniable contre le développement des lésions oxydatives induisant l'inflammation excessive (**Li *et al.*, 2014**).

En effet, de nombreuses études ont démontré que les polyphénols ont des effets anti-inflammatoires significatifs *in vivo* et *in vitro* (**Santangelo *et al.*, 2007**). Ils pourraient affecter l'inflammation et les lésions vasculaires non seulement en tant qu'antioxydants, mais aussi en tant que modulateurs des voies de signalisation redox inflammatoires (**Kostyuk *et al.*, 2011**). Parmi les polyphénols se distinguent les flavonoïdes dont certains se sont révélés avoir la capacité de réguler l'expression des gènes associés aux réponses pro-inflammatoires, atténuant ainsi la réaction inflammatoire (**García-Lafuente *et al.*, 2009**). Les flavonoïdes seraient capables d'inhiber une série d'enzymes qui sont activées au cours du processus inflammatoire (**Kwon *et al.*, 2005**).

Dans l'ensemble, il y a lieu de relever que les grands potentiels thérapeutiques et protecteurs des polyphénols sont essentiellement attribués à leur capacité d'antioxydants autant que de piègeurs de

radicaux libres, d'agents chélateurs de métaux et d'agents inhibant ou diminuant l'activité de certaines enzymes (Li *et al.*, 2014).

II.4.3.1. Propriétés biologiques des polyphénols du palmier dattier

De nombreuses études indiquent que le palmier dattier, notamment les dattes, possède un large éventail d'applications médicales, notamment des propriétés antihyperlipidémiques, anticancéreuses, antibactériennes et antifongiques, gastroprotectrices, hépatoprotectrices et néphroprotectrices (Baliga *et al.*, 2011 ; Hussain *et al.*, 2020). Ces nombreuses propriétés thérapeutiques seraient attribuées aux polyphénols capables de piéger les radicaux libres, permettant ainsi de stimuler plusieurs propriétés protectrices (Baliga *et al.*, 2011). Les propriétés thérapeutiques des pulpes de dattes sont illustrées dans la figure 14.

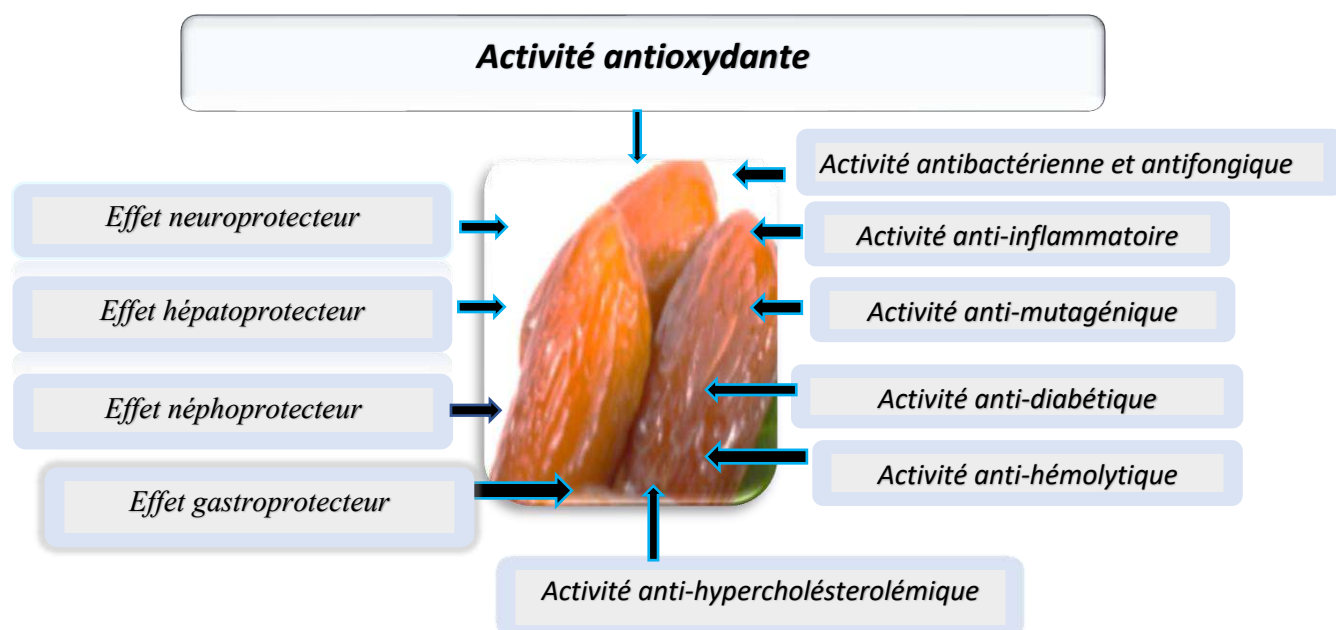


Figure 14 : Activités biologiques du fruit du palmier dattier (Baliga *et al.*, 2011 ; Hussain *et al.*, 2020).

II.4.3.1.1. Activité antioxydante

Le palmier dattier *Phoenix dactylifera* L., présente de puissantes propriétés antioxydantes démontrées tant *in vitro* qu'*in vivo* permettant de prévenir les lésions cellulaires causées par le stress oxydatif (Yasin *et al.*, 2015). Les principaux polyphénols responsables du pouvoir antioxydant sont les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes (Al-Farsi *et al.*, 2005b ; Al-Farsi and Lee, 2008b ; Liolios *et al.*, 2009 ; Baliga *et al.*, 2011).

Dans la datte, ce sont principalement les acides cinnamiques et les flavonoïdes qui sont impliqués dans l'activité antioxydante par leur pouvoir puissant de neutralisation de radicaux libres (Biglari *et al.*, 2008 ; Mansouri *et al.*, 2005).

- Les expériences menées *in vivo* par Yeh *et al.* (2009) ont démontré que l'administration orale d'acide p-coumarique (acide cinnamique) entraîne une augmentation de l'expression de gènes codant pour des enzymes antioxydantes dans le tissu cardiaque des rats. Il y a lieu de souligner que cet acide a été fréquemment identifié dans le *Phoenix dactylifera* L., notamment dans la pulpe de datte.
- L'étude conduite par Samad *et al.* (2016) a démontré que les anthocyanes tels que la cyanidine identifiée dans la pulpe de datte ont un potentiel antioxydant à travers leur capacité à neutraliser les radicaux peroxydes et hydroxyles.

Aussi, de nombreuses études ont démontré la capacité de différents extraits de dattes à piéger les espèces réactives telles que :

- Vayalil (2002) a démontré que l'extrait aqueux de la datte provoque l'inhibition complète des radicaux superoxydes et hydroxyles, respectivement, à une concentration de l'extrait à 1,5 mg/mL et 4 mg/mL ;
- Bohlali *et al.* (2017) ont démontré que l'extrait méthanolique du cultivar marocain *Bousrdoun* présente la plus grande efficacité à piéger le radical NO ;
- Chaira *et al.* (2009) ont démontré que des extraits méthanoliques de dattes tunisiennes du cultivar « *Korkobbi* » peuvent inhiber les radicaux lipoperoxydes avec un pourcentage atteignant 83 % et que le cultivar « *Rotbi* » atteint un pourcentage d'inhibition de 95 % pour le piégeage des radicaux hydroxyles (OH•).

II.4.3.1.2. Autres activités biologiques

De nombreuses activités biologiques du *Phoenix dactylifera* L. ont été abordées par de nombreuses études, notamment l'activité antibactérienne, antifongique, anti-inflammatoire, antidiabétique et hépatoprotectrice.

II.4.3.1.2.1. Activité antibactérienne et antifongique

L'effet inhibiteur des polyphénols sur la croissance bactérienne a été rapporté dans plusieurs études démontrant leur potentiel antibactérien important contre de nombreuses souches bactériennes à Gram positif et négatif. **Samad et al. (2016)** rapportent que les propriétés antimicrobiennes sont probablement dues à la présence des composés antioxydants : polyphénols, dont les tanins et flavonoïdes. Ces composés peuvent agir individuellement comme composé actif biologique ou fournir un effet synergique pour atteindre les propriétés antibactériennes (**Bhat and Al-Daihan, 2012**).

De nombreuses études ont indiqué que les polyphénols des extraits de dattes (pulpes, sirop) sont plus efficaces pour inhiber les bactéries Gram-positives (*Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* et *Enterococcus faecalis*) que les bactéries Gram-négatives (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Yersinia enterocolitica*), attribuant cela à la membrane externe des souches Gram-négatives qui pourrait jouer un rôle de barrière de perméabilité à certaines molécules (**Dhaouadi et al., 2010 ; Saleh and Otaibi, 2013 ; Taleb et al., 2016 ; Sayah, 2018**).

Par ailleurs, il y a lieu de rapporter que de nombreux travaux ont démontré l'activité antibactérienne et antifongique des polyphénols de différents extraits issus des sous-produits du palmier dattier tels que les noyaux, les folioles et le pollen (**Farag et al., 2023**). Parmi ces travaux, citons :

- L'étude de **Bokhari and Perveen (2012)** qui a démontré que les polyphénols d'extraits méthanoliques de noyaux suivis de ceux des folioles ont une forte activité antifongique ;
- L'étude de **El-Azim et al. (2015)** qui a indiqué que les extraits méthanoliques du pollen ont exercé une forte activité antifongique contre *Candida albicans* et *Aspergillus niger*. Quant à l'étude de **Daoud et al. (2019)**, elle a révélé le potentiel antifongique des extraits de pollen contre *Fusarium oxysporum*.

II.4.3.1.2.2. Activité anti-inflammatoire

De nombreux travaux réalisés *in vivo* ont démontré que l'activité anti-inflammatoire des extraits de dattes et de noyaux serait fortement liée aux métabolites secondaires et à leur pouvoir antioxydant (Taleb *et al.*, 2016). Parmi ces travaux :

- L'étude d'Ali Haimoud *et al.* (2016) a démontré que des extraits méthanoliques de dattes ont eu un effet significatif sur la réduction de l'inflammation induite par la carragénine chez la souris ;
- L'étude d'Al-Rasheed *et al.* (2015) rapporte qu'après l'augmentation significative des cytokines pro-inflammatoires induites par l'administration du tétrachlorométhane (CCl₄) à des souris, l'administration d'extraits de noyaux de dattes a provoqué une diminution significative de ces indicateurs de l'inflammation (TNF- α , l'IL-1 β et l'IL-6). Ce potentiel anti-inflammatoire serait attribué particulièrement aux flavonoïdes capables de piéger les radicaux NO \cdot .

II.4.3.1.2.3. Activité antidiabétique et hépato-protectrice

Des travaux ont démontré que les extraits de pulpes de dattes, de noyaux et de folioles des palmes ont un potentiel antidiabétique et hépatoprotecteur. Parmi ces travaux, citons :

- L'étude d'Atta *et al.* (2015) qui a indiqué que l'extrait méthanolique de la pulpe de datte a induit un effet hépatoprotecteur contre les lésions hépatiques induites par CCl₄. De plus, cette étude a rapporté que l'extrait des folioles des palmes a entraîné une augmentation substantielle de la concentration plasmatique d'insuline chez les rats diabétiques dont le diabète a été provoqué par l'alloxane ;
- L'étude de Hussein *et al.* (2015) a rapporté que les extraits des pulpes et des noyaux de dattes exercent une remarquable activité anti-hyperglycémique sur les fonctions hépatiques chez les rats diabétiques de type 2, attribuant cela à certains acides phénoliques et flavonoïdes tels que l'acide gallique, l'acide *p*-coumarique, l'acide caféique et la quercétine ;
- L'étude d'Abdelaziz and Ali (2014) a démontré l'effet hépatoprotecteur des extraits de noyaux de dattes crus et torréfiés.



CHAPITRE III
MATÉRIEL ET MÉTHODES

III. Matériel et méthodes

III.1. Présentation de la région d'étude

La présente étude a été réalisée dans la wilaya d'Adrar entre 2013 et 2018, de ce fait, la description de la région d'étude concernera la wilaya d'Adrar issue du découpage administratif de 1974, incluant les trois régions phœnicicoles : **Touat** (Adrar), **Gourara** (Timimoun) et **Tidikelt** (Aoulef) (Figure 15).

La wilaya d'Adrar est limitée au nord par la wilaya de El-Bayadh, au nord-ouest par la wilaya de Béchar et au nord-est par la wilaya de Ghardaïa. À l'ouest, elle est limitée par la wilaya de Tindouf, au sud par le Mali, au sud-ouest par la Mauritanie, au sud-est par la wilaya de Tamanrasset. S'étendant sur la partie nord du sud-ouest algérien, elle couvre une superficie de 427 968 km² (Bellal *et al.*, 2016).

La wilaya d'Adrar est subdivisée en quatre régions distinctes : Touat, Gourara et Tidikelt et Tanezrouft (Bordj Badji el Mokhtar et Timiaouine). Elle compte administrativement 11 daïras et 28 communes et se caractérise par un chapelet de 294 ksour (villages) répartis à travers les trois régions To, Go et Ti (Bellal *et al.*, 2016).

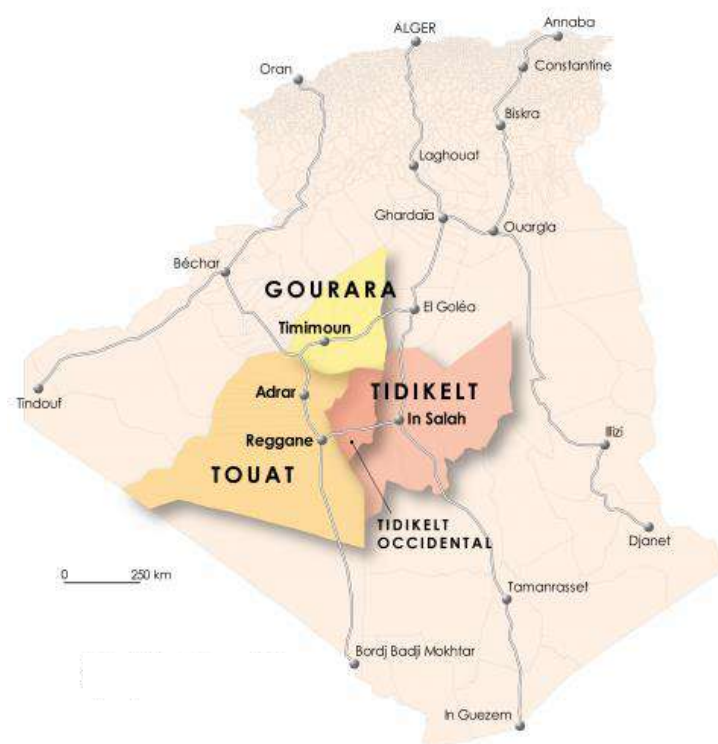


Figure 15 : Cartographie des trois régions phœnicicoles de la région d'Adrar (Otmame, 2010).

III.1.1. Données physiques

Les données du milieu physique permettent de caractériser 4 régions distinctes (**Bellal *et al.*, 2016**) :

- Le plateau du Tademaït concerne la partie nord-est de la wilaya, avec une altitude moyenne de 500 m ;
- Le pied du plateau est formé d'une série de vastes dépressions du Gourara, du Touat et du Tidikelt, avec des pentes qui diminuent du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest ;
- Les zones ensablées sont constituées par la bordure sud du Grand Erg occidental et de l'Erg Chech ;
- L'extrême sud de la wilaya comprend le Tanezrouft, qui s'étend entre l'Erg Chech à l'ouest et les tassilis gréseux (Hoggar et n'Ajjer) à l'est.

III.1.2. Données climatiques

Le climat d'Adrar, de type continental désertique, est caractérisé notamment par de grands écarts thermiques, avec des températures maximales en été (juin, juillet et août) de plus de 45 °C et des hivers rigoureusement froids, avec des températures basses pouvant atteindre 0 °C (décembre-janvier). Les précipitations sont faibles et irrégulières. Les données climatiques indiquent également une forte évaporation pendant la période estivale, une forte humidité relative pendant la période hivernale, une luminosité intense et des vitesses de vents dépassant souvent 5 m/s. Les données climatiques de la région d'Adrar sur une période de 2010-2020 (**ONM station d'Adrar, 2020**), exprimées en moyennes mensuelles, sont conciliées dans le tableau 12.

Les conditions climatiques ont une influence sur la culture du palmier dattier. Le palmier dattier est une espèce thermophile dont les besoins en températures sont très élevés, particulièrement en période de fructification. La température est un facteur déterminant qui influe sur la maturation et la qualité des dattes ; avec des besoins thermiques qui varient en fonction des catégories de dattes : molles, demi-molles et sèches (**Babahani and Eddoud, 2012**).

Par ailleurs, la température est un élément essentiel du climat, car elle exerce une influence sur le processus par lequel l'eau se transforme en vapeur, que ce soit à la surface de la terre ou dans le sol, jouant un rôle déterminant dans le degré de l'évapotranspiration, ayant ainsi un impact sur les niveaux de salinité des eaux (**Slimani, 2021**).

Les pluies qui suivent directement la pollinisation affectent la réussite de la pollinisation en augmentant les pertes en pollen. Quant aux vents secs, accompagnés de températures élevées, ils dessèchent les stigmates, affectant ainsi la germination des grains de pollen (Babahani, 2011). Cependant, il y a lieu de souligner le rôle positif des vents dans la pollinisation.

Les températures moyennes mensuelles maximales sont enregistrées de la période du mois de mai au mois de septembre, avec une valeur maximale de 38,7 °C au mois de juillet. Les mois de décembre et de janvier enregistrent respectivement des températures moyennes mensuelles minimales de 14,1 et de 13,4 °C.

Tableau 12 : Données climatiques de la région d’Adrar (2010-2020) (ONM station d’Adrar, 2020).

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil</i>	<i>Aou</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Déc</i>
T moyennes mensuelles (°C)	13,4	16,1	20,9	26,7	31,5	35,9	38,7	37,5	33,4	27,1	19,6	14,1
Humidité relative (%)	36	28	22,5	20,1	17,2	14	12,7	11,2	21,9	29,6	34,4	39,9
Evaporation (mm)	206	241	339	425	560	570	638	616	504	354	248	194
Précipitations (mm)	1,1	1,7	1,6	0,5	0,9	0,9	0,6	0,4	1,2	1,4	1,9	0,8
Vitesse de vents (m/s)	5,7	5,6	6,6	6,3	6,0	5,5	5,8	5,6	5,6	5,5	5,3	4,8
Insolation (h/j)	7,49	7,69	8,49	9,15	9,92	10,87	10,09	9,40	7,79	7,95	7,65	7,23

L’humidité relative de l’air exprime en réalité l’état hygrométrique de l’atmosphère. Elle varie beaucoup au cours de la journée. Elle est maximale à la levée du soleil, puis à un taux plus faible, observé au milieu de la journée. Les fortes valeurs de l’humidité sont enregistrées durant la saison d’hiver et la valeur maximale moyenne enregistrée est celle du mois de décembre de 39,9 %. Les faibles valeurs sont enregistrées durant la saison d’été, avec une valeur minimale moyenne en août, de l’ordre de 11,2 %.

Des évaporations très élevées durant la période estivale, avec une valeur moyenne maximale de 638 mm enregistrée en juillet et des évaporations minimales durant la période hivernale, avec une valeur minimale enregistrée en décembre de 194 mm (Tableau 12).

Le régime pluviométrique est très faible, avec des précipitations très rares et irrégulières d'une année à une autre. Sur la période (2010-2020), le mois de novembre indique une moyenne des précipitations la plus élevée, de 1,9 mm, au moment où le mois d'août indique la moyenne des précipitations la plus faible, de 0,4 mm.

La région d'Adrar est considérée comme une des régions les plus ventées du Sahara, où la fréquence des vents est très grande durant toute l'année : 50 % à Adrar et 30 % à Timimoun, avec des vitesses de vent supérieures à 5 m/s, pouvant provoquer des vents de sable, particulièrement en mars-avril (Bellal *et al.*, 2016).

L'insolation diminue pendant les mois les plus froids, contrastant avec une augmentation notable pendant les mois les plus chauds. La durée de l'ensoleillement mensuel est supérieure à 7 h/j pendant toute l'année, avec une insolation journalière de 7 à 8 heures en hiver et de 10 à 11 heures en été.

III.1.3. Systèmes de production agricole

Dans la wilaya d'Adrar, deux systèmes agricoles se juxtaposent, le premier, traditionnel, fondé sur l'irrigation par foggaras et le second issu d'un projet d'aménagement rural : la mise en valeur agricole, suite à plusieurs programmes nationaux agricoles (Loi sur l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (APFA) ; le Plan National de Développement de l'Agriculture (PNDA), etc.).

Du fait que notre étude ait été réalisée dans les oasis traditionnelles, nous nous attarderons à donner un aperçu du système de production agricole traditionnel. Représenté par les oasis à foggara, ce système se caractérise par un système de production millénaire, très diversifié et d'autosubsistance. La conduite des cultures se fait sur de petites parcelles indivises de 0,25 à 0,5 ha, avec une diversité agricole pratiquée avec des semences locales. Le système d'élevage comprend quelques têtes de races ovines (représentées principalement par la race locale « D'Mane » et la race originaire d'Afrique sub-saharienne « Sidaoun » et quelques têtes de caprins. Les sols sont de type argilo-sableux avec une absence quasi-totale d'éléments organiques (Bellal *et al.*, 2016).

Dans les oasis traditionnelles du Touat, du Gourara et du Tidikelt se distinguent trois strates :

- La strate arborescente, représentée par le palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L., avec un potentiel génétique diversifié estimé à plus de 400 cultivars de dattes ;

- La strate intermédiaire, représentée par le verger fruitier (grenadiers, figuiers, pommiers, etc.), qui ne connaît pas un grand développement ;
- La strate inférieure est constituée de cultures céréalières et fourragères, pratiquées avec des semences locales. Des cultivars locaux de blé dur (*Triticum durum*), particulièrement le cultivar *Bel Mabrouk*, des cultivars locaux d'orge (*Hordeum vulgare* L.) particulièrement le cultivar « *S'Fira* », des cultivars de Mil (*Pennisetum glaucum* L.) particulièrement les cultivars « *Bechna* et *Makroud* ». On y cultive également le Sorgho appelé *Tafsout* (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), l'avoine (*Avena sativa* L.) et la luzerne (*Medicago sativa* L.) appelée « *Faça* », qui se distingue par un cultivar local appelé « *la luzerne de Tamentit* ».

Les légumineuses sont représentées par les lentilles, le petit pois, les fèves, avec des cultivars locaux (la petite fève Kahla « *Mazouzi* », la petite fève Hamra « *Laroussi* » et le cultivar de la fève Beida « *Hamyane* »). Trois cultivars de niébé (*Vigna unguiculata*), appelé haricot du désert ou *Tadelaght*, qui occupe une place privilégiée dans les oasis, de même que pour la culture de l'arachide (*Arachis hypogea*).

Quant aux cultures *maraîchères*, pratiquées avec des semences locales, elles sont cultivées sur de petites parcelles comprenant : la salade, la tomate, l'ail, l'oignon, le maïs, le chou, le navet fourrager de même que la betterave fourragère. La culture des carottes se distingue par deux cultivars « *Khizou Hamra* » et « *Khizou Beida* ». Cette dernière est utilisée à des fins fourragères.

Les plantes aromatiques et condimentaires se cultivent à ce jour pour répondre aux besoins du ménage, avec des cultivars locaux. Parmi elles, citons le basilic avec deux cultivars « *Hbaq* » et « *Hbiqua* », le romarin appelé « *Azir* » et la coriandre très aromatisée (**Rahal- Bouziane, 2006 ; Bahiani et al., 2016**).

La végétation spontanée se retrouve aussi bien sur les périmètres, en dehors des oasis qu'à l'intérieur. On y distingue une végétation diversifiée représentée par *Zygophyllum cornutum*, appelé « *El Aggaya* », *Cornulaca monacantha* appelé « *Doumrane* », *Lolium multiflorum*, *Reseda villosa*, *Phragmites communis* et *Bassia muricata* appelé « *El Rassel* », etc. (**Rahal- Bouziane, 2006**).

Dans la zone d'accumulation sableuse, en dehors des périmètres d'irrigation, se distinguent quelques palmiers dispersés, subsistant sans irrigation et quelques plantes fixatrices de sable telles que : *Salsola foetida* et *Salsola vermiculata* (**Rahal- Bouziane, 2006**).

Les périmètres de mise en valeur moderne, créés dans le cadre de l'APFA, sont localisés à proximité des palmeraies traditionnelles, avec pour objectif de développer et d'augmenter la production céréalière. Quant aux programmes agricoles PNDA, ils se sont orientés vers la production agricole en prenant en compte des potentialités agricoles locales, d'où le choix de la phœniciculture pour le Sahara. Par ailleurs, ces dernières années, nous assistons à la multiplication des serres destinées aux cultures maraîchères, particulièrement la culture du concombre destinée à des fins cosmétiques, comme c'est le cas de la commune d'Aougrout où le concombre occupe 78 % des surfaces maraîchères (**Hadeid et al., 2018**).

Il y a lieu de souligner qu'au moment où la mise en valeur moderne s'oriente vers des cultures industrielles, l'agriculture oasisienne s'oriente également vers des cultures industrielles plus spécialisées comme celles de la tomate, de l'arachide, du tabac et du henné. En effet, ces dernières années, la culture de la tomate industrielle connaît un essor avec l'ouverture de l'usine de transformation de la tomate située à Reggane. Plus récemment, la culture industrielle du tabac, très prisée pour une utilisation locale, connaît aussi un essor, particulièrement dans les oasis du Touat. Le tabac, acheminé vers Tamanrasset, est également exporté vers les pays du Sahel (**Hadeid et al., 2018**).

III.1.4. Données hydrogéologiques et irrigation

Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS) est partagé entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye. Il est constitué de deux nappes importantes, celle du continental intercalaire (CI) et le complexe terminal (CT) ou Mio-pliocène. La nappe du CI, connue sous le nom de l'Albien, s'étend sur les 2/3 du nord du Sahara et couvre une superficie de 600 000 km². Cette nappe est connue et exploitée depuis des siècles dans la région où elle affleure le Touat, le Gourara et le Tidikelt (**Bellal et al., 2016**). Dans la wilaya d'Adrar, deux systèmes de mobilisation des nappes fossiles : le complexe terminal « CT » et le continental intercalaire « CI » ou nappe albienne permettent l'entretien ou l'extension de l'agriculture :

- Un premier système traditionnel d'exploitation des eaux assuré par les foggaras. On dénombre 1385 foggaras (**Bellal et al., 2016**). Selon l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), le taux des foggaras tarées en 2004 a été estimé à plus de 35 %, il a atteint près de 45 % en 2011 pour arriver à près de 53 % en 2014 (**Hadeid et al., 2018**).

Ce système ingénieux et ancestral revêt un aspect culturel et sociétal, avec l'esprit d'une irrigation collective partagée. Ce système se caractérise par deux parties, la partie drainante et la partie de distribution de l'eau (Figure 16) :

➤ Le captage de l'eau souterraine de la partie drainante est assuré par une galerie de plusieurs kilomètres, de faible pente, qui draine l'eau de la nappe vers la surface libre. Cette galerie est équipée de plusieurs puits verticaux qui servent à l'entretien et à l'aération de la foggara ;

➤ La distribution de l'eau s'effectue juste à la sortie de la galerie et repose sur quatre constituants majeurs : « *Kasria* » (système en forme de peigne qui assure la répartition de l'eau entre les agriculteurs), « *Seguia* » (canal), « *Madjen* » (bassin de stockage, d'eau traditionnel, en argile ou bâti en béton) et « *Guemoun* » (parcelles de jardins). L'irrigation des jardins s'effectue très tôt le matin, aussi bien en saison estivale qu'en saison hivernale.

Il est important de souligner que ces dernières décennies, suite au tarissement des foggaras, l'utilisation de motopompes est devenue incontournable dans le milieu oasien afin d'assurer la pérennité des cultures et le maintien des populations des ksour. Par ailleurs, de nouvelles techniques d'irrigation ont été introduites, telles que le goutte à goutte.

- Le deuxième système d'exploitation des eaux est basé sur les techniques de forage et de fonçage des puits dits modernes. Les forages sont éparpillés sur pratiquement l'ensemble de la wilaya, à l'exception de la commune de Timiaouine. Les forages assurent l'alimentation en eau potable, la mise en valeur des terres agricoles et l'exploitation de quelques entreprises industrielles (Bellal *et al.*, 2016).



Entretien de la foggara, palmeraie Rayan El Rass, Tsabit.



Puits d'aération des foggaras



Ksar de Tamentit.



Palmeraie ksar Djedir Cherki, Talmine du Gourara



Palmes utilisées comme brise-vents, Technique traditionnel appelé « Afreg ».



Système de partage d'eau, sous forme de peigne, appelé « Kasria » Foggara de Tamentit.



Canaux d'irrigation à ciel ouvert appelés « Seguias ».



Bassin traditionnel, appelé « Madjen »,



Préparation des parcelles de cultures appelées « Guemoun »



Culture de l'oignon et du maïs fourrager, Palmeraie Ben Illou, Bouda.



Petit élevage d'ovins

Figure 16 : Système agricole traditionnel (Ksar, palmeraie et foggara) de la région d'Adrar.
(Photos originales)

III.1.5. Stress biotiques et abiotiques

Le système oasien traditionnel subit différents stress biotiques et abiotiques qui mettent en péril tout un écosystème oasien. Les principaux stress biotiques détectés lors de nos enquêtes prospectives de terrain et de l'échantillonnage sont illustrés dans la figure 17.

Le stress biotique majeur est la maladie de la fusariose vasculaire appelée « *Bayoud* », causée par le champignon *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*, qui reste l'une des plus grandes menaces pour la culture du palmier dattier. Les cartes épidémiologiques de la maladie du Bayoud au niveau des oasis du Touat, du Gourara et du Tidikelt sont illustrées en annexes 01.

Dans la région du Touat, la totalité des communes sont affectées, à l'exception de la commune de Tsabit et Sbaa. Aussi, dans la commune de Tamest, les oasis sont indemnes du Bayoud à l'exception des palmeraies du ksar Lahmer. Quant aux ksour des communes de Bouda, Tamentit, Fenoughil et Reggane, leurs palmeraies sont complètement atteintes (**Boudeffeur et al., 2020**) (Figure 01 en Annexes 01).

Dans le Gourara, ce sont les palmeraies des communes Timimoun, Ouled Said, Ksar Kadour et Tinerkouk qui sont les plus touchées. Quant aux palmeraies des communes Deldoul et Aougrout (Tiberghamine, Akbour, Charef...), elles sont indemnes du Bayoud (**Boudeffeur et al., 2020**) (Figure 02 en Annexes 01).

Dans le Tidikelt, ce sont les palmeraies des ksour Timokten, Oulef Laareb et Oulef Cherfa qui sont atteintes (**Boudeffeur et al., 2020**) (Figure 03 en Annexes 01).

Dans toute la biodiversité variétale phœnicicole, à l'échelle nationale, seuls les palmiers du cultivar *Taqerbucht* sont connus pour leur résistance. Récemment, une étude menée par **Boudeffeur et al. (2020)** a confirmé la résistance du cultivar *Aghares*. Dans les oasis d'Adrar, les palmiers du cultivar *Tgazza*, *Tazarzeyt*, *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed* et le cultivar *Tinnaqor* sont connus pour leur sensibilité, alors que ceux des cultivars *Tinnaser*, *Hmira* (Syn. *Tilemseu*) et *Agaz* sont connus pour leur tolérance (**Boudeffeur et al., 2020**).

Il y a lieu de souligner qu'à l'échelle nationale, les palmiers du cultivar *Deglet Nour*, aux dattes reconnues mondialement pour leurs qualités organoleptiques et nutritionnelles exceptionnelles, sont très sensibles à la fusariose vasculaire (**Chabane et al., 2010 ; Bahriz and Bouras, 2020**).

De même que les palmiers des cultivars de la vallée du M'Zab, *Ut'Qbala*, *Tdalt* et *Ighes n Wutchidhen* sont sensibles, alors que les palmiers des cultivars *Tamdjouhert* et *Tazarzeyt* sont tolérants (**Bahriz and Bouras, 2020**).

Par ailleurs, l'attaque des régimes de dattes par l'acarien *Oligonychus afrasiaticus*, appelé localement le « *Boufaroua* », est un fléau rencontré fréquemment dans les oasis d'Adrar. Il peut causer des dégâts considérables qui peuvent induire la perte totale de la récolte. L'attaque se manifeste par l'existence de toiles soyeuses blanches ou grisâtres et les dattes fortement attaquées deviennent impropres à la consommation (Figure 17) (**Boudeffeur et al., 2020**).

Quant au fléau causé par la cochenille blanche, *Parlatoria blanchardii*, l'attaque se manifeste particulièrement au niveau des palmes et beaucoup plus rarement au niveau des dattes (**Bahiani, 2008**), (Figure 17). Le niveau d'infestation varie selon l'âge des palmes et des cultivars et selon les différentes couronnes du palmier (**Boudeffeur et al., 2020**).

D'autres stress de type abiotique mettent également en péril le système agricole traditionnel et tout l'écosystème oasien. Avec la mise en place de nouvelles formes d'exploitation et d'appropriation de la terre, qu'il s'agisse de la « petite mise en valeur » paysanne ou de la « grande mise en valeur », le paysage rural oasien a connu des changements et des mutations sociales (**Hadeid et al., 2018**).

Par ailleurs, le tarissement des foggaras est causé par plusieurs facteurs : le manque de travaux d'entretien de curage du fait du vieillissement de la main-d'œuvre et des mutations sociales qui poussent les jeunes vers des métiers et des tâches moins contraignantes, les diverses pollutions et le rabattement des nappes fossiles suite à l'extension des périmètres agricoles de mises en valeur. En effet, les besoins en eau des nouveaux périmètres agricoles, établis selon un monde intensif, exercent une pression importante sur les nappes fossiles par la multiplication incontrôlée des forages, ce qui a induit le rabattement de la nappe, fragilisant ainsi l'agriculture oasienne (**Bellal et al., 2016**).

En plus du tarissement des foggaras vient s'ajouter l'absence ou le mauvais fonctionnement des réseaux de drainage (**Saker and Daddi Bouhoun, 2007**) et la salinité des sols, où elle atteint plus de 20 mmhos/cm dans la région de Mraguen et de Tamentit (**Boudeffeur et al., 2020**).

Aussi, l'ensablement des palmeraies constitue une contrainte majeure et nous assistons à une érosion du savoir-faire traditionnel, qui consistait à protéger l'oasis par des opérations dites « Afreg » (utilisation des palmes sèches du palmier comme brise-vents pour réaliser des clôtures faisant barrage au sable, figure 16) (Hadeid *et al.*, 2018). Et même quand ces opérations d'afreg existent, cette technique n'arrête pas complètement l'avancée du sable, mais en ralentit le déplacement. Des exploitations agricoles et des palmeraies des communes de Sali et de Tamentit se retrouvent envahies de sable du fait que les dunes d'afreg ne stoppent plus le sable, ce qui constitue une menace majeure à l'encontre du système agricole traditionnel (Bellal *et al.*, 2016).



Fig a₁ : L'agent causal du Bayoud : le champignon *Fusarium oxysporum* forme spéciale *albedinis*.



Fig b₁ : Attaque de la cochenille blanche, *Parlatoria blanchardii*, sur le cultivar *Adekli*.



Fig c₁ : Régime du cultivar *Ahartane* attaqué par l'acarien : *Oligonychus afrasiaticus*.



Fig a₃ : Dessèchement d'une palme de la couronne moyenne.

Fig a₂ : Symptôme unilatéral du Bayoud au niveau d'une palme, Ksar Yakkou, Ouled Aissa, 2014.



Fig a₄ : Mort du palmier.



Fig b₂ : Attaque de la cochenille blanche sur les folioles des palmes.



Fig c₂ : Les dattes attaquées par l'acarien présentent un épiderme durci et deviennent impropres à la consommation.

Figure 17 : Principaux bioagresseurs du palmier dattier *Phoenix.dactylifera* L., dans les trois régions phoenicicoles : **Touat, Gourara et Tidikelt.** (a : maladie du Bayoud ; b : Cochenille blanche et c : Acarien « Boufaroua »). Photos : (a₁ : Boudeffeur, INRAA/Adrar) et a₂, a₃ et a₄, b et c : Bahiani, 2008.

III.2. Matériel végétal

III.2.1. Sites d'échantillonnage

La région d'Adrar est un véritable archipel oasien de quelques 425 000 km², dont près de 70 % est représenté par un chapelet de 294 ksour, éparpillés dans trois régions : le **Gourara**, le **Touat** et le **Tidikelt**. Chaque oasis étant une unité indissociable, comprenant la foggara, le ksar (village) et la palmeraie (**Bellal et al., 2016**).

Le choix des palmeraies et des jardins à prospector a été étudié en collaboration avec les délégués agronomes de chaque commune ciblée. Nous avons choisi les ksour et les jardins les plus riches en diversité variétale (en cultivars de dattes) et en prenant soin à ce que les jardins ne soient pas affectés par le « *Bayoud* » ou l'acarien « *Boufaroua* ». Les palmeraies prospectées et ayant fait l'objet d'opérations d'échantillonnage de dattes sont mentionnées dans le tableau 13 et dans la figure 18.

III.2.2. Critères de choix des cultivars

Dans la présente étude, nous avons choisi vingt (**20**) cultivars de dattes, échantillonnés au stade « Tamr ». Ils sont classés en classe de consistance (consistance déterminée au toucher), ensuite classés dans chaque classe de consistance par ordre alphabétique, figure 19.

- Quatorze (**14**) cultivars : *Adekli, Aghamou, Aghares, Ahartane, Bamakhlouf, Cheikh M'Hamed, Hmira* (syn. *Tilemseu*), *Mes'Udia, Ouarglia, Taqerbucht Safra, Tazarzeyt, Tgazza, Timliha* et *Tinnaser*, ont été choisis du fait que ce sont les cultivars les plus fréquents et communs aux trois régions phœnicicoles ;
- Le cultivar *Tinnaqor*, commun aux trois régions phœnicicoles, a été choisi du fait qu'il devient de plus en plus moins fréquent, probablement pour sa faible capacité à rejeter (**Hannachi et al., 1998**) et sa sensibilité à la fusariose vasculaire « Bayoud » (**Boudeffeur et al., 2020**) ;
- Quatre (**04**) cultivars : *Abdeslam, Adâam Bullah, Adâam Robb* et *Deglet Talmine* (syn. *Deglet Djdjir*), ont été choisis du fait de leur spécificité et de leur fréquence dans les oasis du Gourara ;
- Le cultivar *Agaz*, a été choisi du fait de sa spécificité et de sa fréquence dans les oasis du Tidikelt.

Tableau 13 : Liste des communes et des ksours sélectionnés pour l'échantillonnage des dattes.

Touat	
<i>Communes</i>	<i>Ksour et palmeraies</i>
Reggane	Timadanine, Ait Messaoud, Zaglouf
Sali	Tinourt, El Mansour
In Zeghmir	Tilouline, Baouandji
Zaouiet Kounta	Menacir, Azoua
Tamest	Lahmarn, Titaf
Fenoughil	Sidi Youcef, Baameur
Tamentit	Boufadi, Noumenass
Ouled Ahmed Timmi	Oules Aissa, El Mansouria
Bouda	Ben Draou, El Mansour
Sbaa	Sbaa
Tsabit	Arrian Arras
Tidikelt	
<i>Communes</i>	<i>Ksour et palmeraies</i>
Timokten	Timokten, Iner, Kasbet Djena
Gourara	
<i>Communes</i>	<i>Ksour et palmeraies</i>
Aougrouit	Akbour, Charef
Metarfa	Metarfa, Ouled Rached
Deldoul	Aourir, Akbour
Charouine	Charouine, Bakou
Talmine	Saghia, Bahamou
Ouled Aissa	Ouled Aissa
Ouled Said	Ouled Said
Ksar Kaddour	Ksar Kaddour
Tinerkouk	Fatis, Zaouiet Debbagh

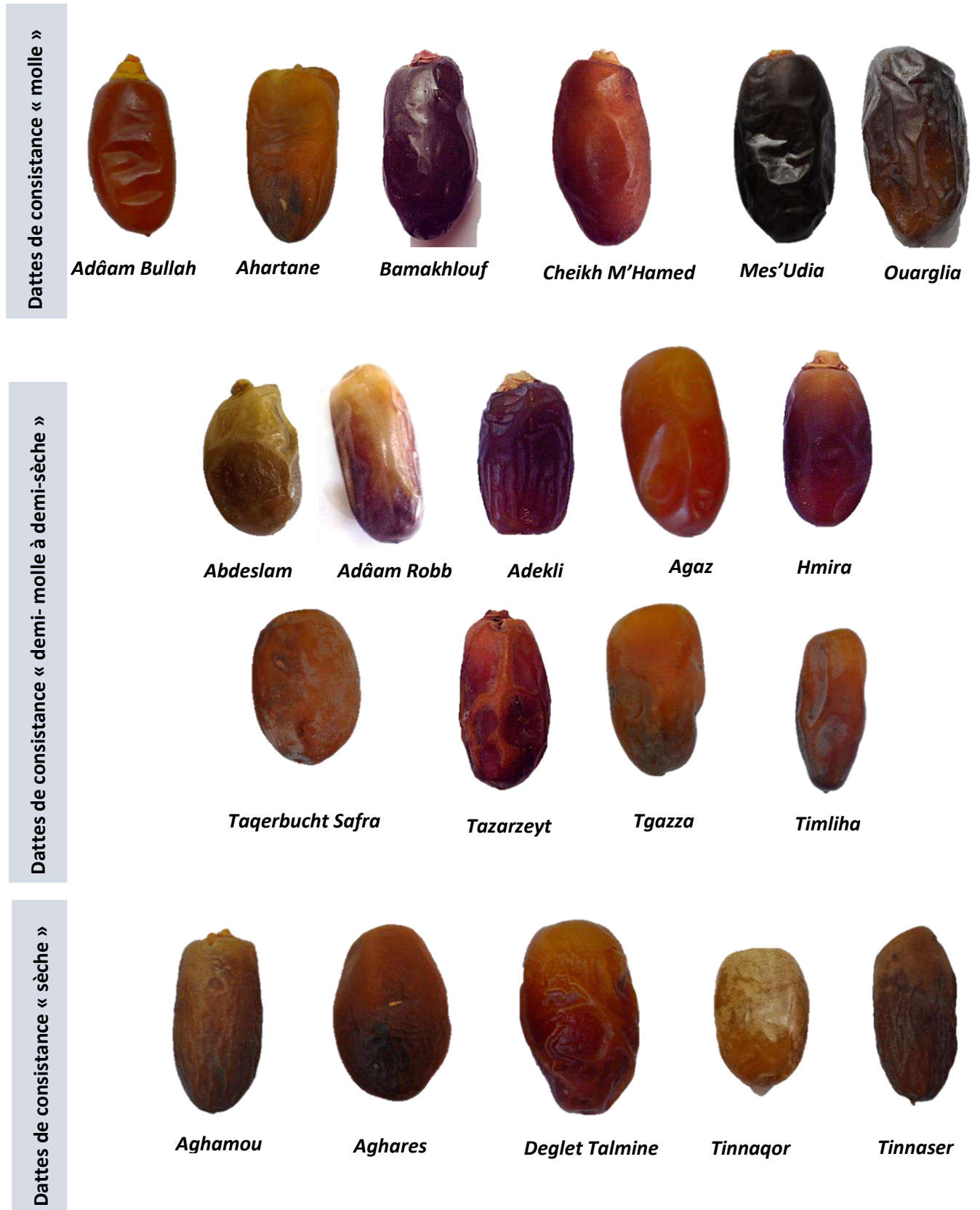


Figure 19 : Photos des vingt cultivars de dattes échantillonnés au stade « **Tamr** ».
(Photos originales)

III.2.3. Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage des dattes a été réalisé au stade de maturité « Tamr », pendant trois années consécutives (2014-2016) pour réaliser la caractérisation biométrique, physico-chimique et biochimique en métabolites primaires. La caractérisation des dattes en métabolites secondaires a été réalisée en (2017-2018). Dans le tableau 14, sont reportés les codes des cultivars adoptés.

Tableau 14 : Noms des cultivars de dattes avec les codes respectifs

Noms des cultivars	Codes
<i>Abdeslam</i>	AAM
<i>Adâam Bullah</i>	ABH
<i>Adâam Robb</i>	ARB
<i>Adekli</i>	ALI
<i>Agaz</i>	AAZ
<i>Aghamou</i>	AOU
<i>Aghares</i>	AES
<i>Ahartane</i>	ANE
<i>Bamaklouf</i>	BUF
<i>Cheikh M'Hamed</i>	CMD
<i>Deglet Talmine</i>	DTE
<i>Hmira</i>	HRA
<i>Mes'Udia</i>	MUA
<i>Ouarglia</i>	OIA
<i>Taqerbucht Safra</i>	TSA
<i>Tazarzeyt</i>	TYT
<i>Tgazza</i>	TZA
<i>Timliha</i>	THA
<i>Tinnaqor</i>	TOR
<i>Tinnaser</i>	TER

La méthode de l'échantillonnage utilisée est celle de **Girard (1965)**. Sur les vingt et une (21) communes prospectées, dans seize (16) communes, nous avons prospecté au moins deux ksour par commune (Tableau 13). Dans chaque jardin du ksar concerné, nous avons choisi trois (03) palmiers homogènes pour chaque cultivar. Pour chaque palmier, vingt (20) dattes au stade « Tamr », sans calice, ont été prélevées sur quatre régimes à différentes hauteurs et orientations. À partir de cet échantillonnage global pour chaque cultivar, 20 dattes saines sont choisies pour constituer l'échantillon final, orienté pour la caractérisation morphologique, physico-chimique et biochimique.

Une fois la caractérisation morphologique effectuée, les pulpes de dattes ont été coupées en petits morceaux et conservées dans des boîtes à 4 °C pour les analyses physico-chimiques et biochimiques ultérieures.

III.3. Méthodes d'analyse

III.3.1. Caractérisation biométrique

Les caractéristiques morphologiques et biométriques ont porté sur vingt cultivars échantillonnés au stade « **Tamr** ». Les paramètres tels que la couleur, la forme, la texture de la datte ainsi que la forme du calice et l'aspect du noyau ont été déterminés visuellement (IPGRI, 2005).

Nous avons retenu les paramètres biométriques :

- Le poids de la datte entière, de la pulpe et du noyau sont déterminés à l'aide d'une balance analytique numérique de type « Scaltec SBA 62, Gamme de pesée 4200 g, Lecture 0,1 g » ;
- Le pourcentage de la pulpe a été déterminé par la formule suivante (Khatchadourian *et al.*, 1983) :

$$\text{Pulpe (\%)} = (\text{Poids datte} - \text{Poids noyau} / \text{Poids datte}) \times 100$$

La consistance des dattes, déterminée déjà au toucher, a été confirmée par l'indice de qualité « R », déterminé par le rapport entre les sucres totaux et la teneur en eau (Reynes *et al.*, 1994) comme suit :

R > 3,5	Dattes molles
2 < R < 3,5	Dattes demi-molles
R < 2	Dattes sèches

III.3.2. Caractérisation physico-chimique

III.3.2.1. Détermination de la teneur en eau

La détermination de la teneur en eau (taux d'humidité) a été effectuée, selon **Wrolstad *et al.* (2005)**, par une dessiccation de 5 g de l'échantillon dans une étuve isotherme à 105 °C jusqu'à atteindre un poids constant.

La teneur en eau (ou taux d'humidité) est déterminée selon la formule :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = [(P_i - P_f) / m] \times 100$$

Où :

P_i : Poids initial, en (g), avant dessiccation, « capsule + matière fraîche » ;

P_f : Poids final en (g) après dessiccation, « capsule + matière sèche » ;

m : la masse en (g) de la prise d'essai.

III.3.2.2. Détermination du pH

Le pH a été déterminé selon les normes **NF V 05 – 108, 1970**. Vingt (20 g) de l'échantillon sont mis dans 60 mL d'eau distillée et chauffés dans un bain-marie à 60 °C pendant 30 minutes avec agitation à l'aide d'une baguette en verre. Après refroidissement, le tout est filtré. La détermination du pH est effectuée à l'aide d'un pH-mètre de type « Mettler Toledo », après immersion de la sonde de pH dans cette solution aqueuse de pulpe de dattes.

III.3.2.3. Détermination de l'acidité titrable

L'acidité titrable a été déterminée selon les normes **NF V 05 – 101, 1974**. Vingt-cinq (25 g) de l'échantillon sont mis dans une fiole conique, avec 50 mL d'eau distillée. Un réfrigérant à reflux est adapté à la fiole conique, puis nous procédons à un chauffage au bain-marie pendant 30 minutes. Après refroidissement, le contenu de la fiole conique est transvasé dans une fiole jaugée de 250 mL en complétant jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie et refroidie. Le tout est filtré. Dans 25 mL du filtrat, nous ajoutons l'indicateur (quelques gouttes) de phénophtaléine à 1 %. Tout en agitant, le titrage est effectué par une solution de NaOH à 0,1 N, jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes.

L'acidité titrable est exprimée en grammes équivalent d'acide acétique pour 100g de produit selon la formule :

$$A\% = (250 \times V_1 \times 100 / m \times V_0 \times 10) \times 0,06$$

Où :

V_0 : volume du filtrat pris pour le titrage (mL) ;

V_1 : volume de la solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 N (mL) ;

m : masse de la prise d'essai (g) ;

0,06 : facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent acide acétique.

Il est également possible d'exprimer conventionnellement l'acidité titrable en grammes d'acide pour 100 g de produit en multipliant par le facteur correspondant à l'acide (AFNOR, 1986) (Tableau 15).

Tableau 15 : Différents facteurs de conversion de l'acidité titrable, correspondants aux différents acides organiques (Bousdira, 2007).

Acides	Facteur
Acide malique	0.067
Acide oxalique	0.045
Acide citrique monohydraté	0.070
Acide tartrique	0.075
Acide sulfurique	0.049
Acide acétique	0.060
Acide lactique	0.090

III.3.2.4. Détermination de la teneur en cendres

La détermination des cendres a été déterminée selon les normes NF V 05-113, 1972. Elle est basée sur la destruction de toute matière organique sous l'effet de la température élevée. La teneur en cendres reflète la richesse d'un échantillon en éléments minéraux. Elle est déterminée par incinération d'un gramme (1 g) de l'échantillon dans un four à moufle, dans des capsules en porcelaine, à une température de 500 °C jusqu'à ce que les résidus deviennent blancs après refroidissement. La teneur en cendres est déterminée selon la formule :

Où :

$$\text{Cendres (\%)} = [(P_3 - P_1) / (P_2 - P_1)]$$

P_1 : poids de capsule vide en g ;

P_2 : poids de capsule en g + l'échantillon avant incinération ;

P_3 : poids de capsule en g + l'échantillon après incinération.

III.3.3. Caractérisation biochimique en métabolites primaires

III.3.3.1. Détermination de la teneur en matières grasses (lipides)

La teneur en matières grasses (lipides) a été déterminée par la méthode **AOAC (1995)**. L'extraction est réalisée dans un appareil de type Soxhlet en utilisant un solvant organique spécifique. Cette technique assure une extraction à chaud. Quinze grammes (15 g) de l'échantillon sont placés dans une cartouche de cellulose poreuse, fermée par du coton. La cartouche est ensuite placée dans l'extracteur Soxhlet. L'extraction est réalisée par de l'hexane (250 mL) porté à reflux pendant 7 heures. Le solvant est ensuite éliminé par distillation dans un rotavapor sous pression réduite à 45 °C.

La teneur en matières grasses (lipides) est donnée par la formule :

Où :

$$\text{MG (\%)} = [(P_1 - P_2) / m] \times 100$$

MG : matière grasse (%);
 P₁ : poids en g du ballon après évaporation ;
 P₂ : poids en g du ballon vide ;
 m : masse en g de l'échantillon.

III.3.3.2. Détermination de la teneur en protéines

La teneur en protéines a été déterminée par la méthode Kjeldahl (**AOAC, 1999**). Dans un matras d'une unité de minéralisation « Bucchi », est introduit 1 gramme (1 g) de l'échantillon, auquel nous ajoutons une pincée de catalyseurs (sulfate de potassium anhydre K₂ SO₄, sulfate de cuivre CuSO₄ et quelques traces de sélénium), puis 12 mL d'acide sulfurique à 98 %. La minéralisation est lancée avec un chauffage progressif (380 °C pendant deux heures), jusqu'à l'obtention d'une couleur limpide. Le minéralisat est refroidi et complété à 100 mL avec de l'eau distillée.

Dans une unité de distillation « Bucchi », l'ammonium est déplacé dans 50 mL d'une solution de NaOH à 35 %. Ensuite, le distillat est récupéré dans un flacon de réception qui contient 25 mL de solution d'acide borique à 4 % auquel sont additionnées quelques gouttes d'indicateur de Tashiro. L'excès d'ammoniac est alors titré avec une solution d'HCl à 0,1 N.

Le pourcentage d'azote total est calculé par la formule suivante :

$$\text{Azote totale (\%)} = (V_e - V_b) \times N \times 14,01 \times 100/m$$

Où :

V_e : volume en mL de la solution HCl à 0.1N nécessaire pour neutraliser l'excès des anions de borate présent dans l'échantillon à analyser ;

V_b : volume en mL de la solution HCl à 0.1N nécessaire pour neutraliser l'excès des anions de borate présent dans l'essai à blanc ;

N : normalité de la solution HCl ;

14.01 : la masse atomique de l'azote ;

m : masse (g) de la prise d'essai.

La teneur en protéines brutes du produit est obtenue en multipliant la valeur de la teneur en azote total par le facteur 6,25 dans le cas des aliments.

$$\text{Protéines (\%)} = N (\%) \times 6.25$$

III.3.3.3. Détermination de la teneur en sucres totaux

La détermination des monosaccharides constitutifs des polysaccharides nécessite la rupture de toutes les liaisons glycosidiques par hydrolyse acide. La détermination des sucres totaux a été réalisée par la méthode de **Dubois *et al.* (1956)**.

Principe

Le principe est basé sur la condensation par estérification d'un chromogène (Phénol, Orcinol, Anthrone) avec les produits de déshydratation des pentoses, hexoses et acides uroniques. En milieu acide fort et à chaud, ces oses se déshydratent respectivement en des dérivés du furfural, 5-hydroxy-méthyl-furfural et de l'acide 5-formylfuroïque. Les chromophores ainsi formés sont de couleur jaune-orange.

Mode opératoire

Après hydrolyse acide à 105 °C de l'échantillon (0,5 g), dans 20 mL d'acide sulfurique (0,5 M), une aliquote de 1 mL de l'échantillon dilué a été ajoutée à 1 mL de phénol à 5 % et 5 mL d'acide sulfurique à 96 % (H₂SO₄). Après agitation, les tubes sont mis dans une étuve pendant 5 minutes à 100 °C, puis laissés dans l'obscurité pendant 30 minutes. L'absorbance a été mesurée par un spectrophotomètre UV-Visible (de marque « Agilent Technologies, Cary 60 ») à 490 nm.

Une solution mère de glucose à 0,1 mg/mL est préparée pour établir une courbe d'étalonnage à partir de différentes dilutions filles de 0,025 à 0,1 mg/mL. La concentration en sucres totaux est calculée à partir de l'équation $y = 13,668x - 0,1169$; $R^2 = 0,9922$, figure 20.

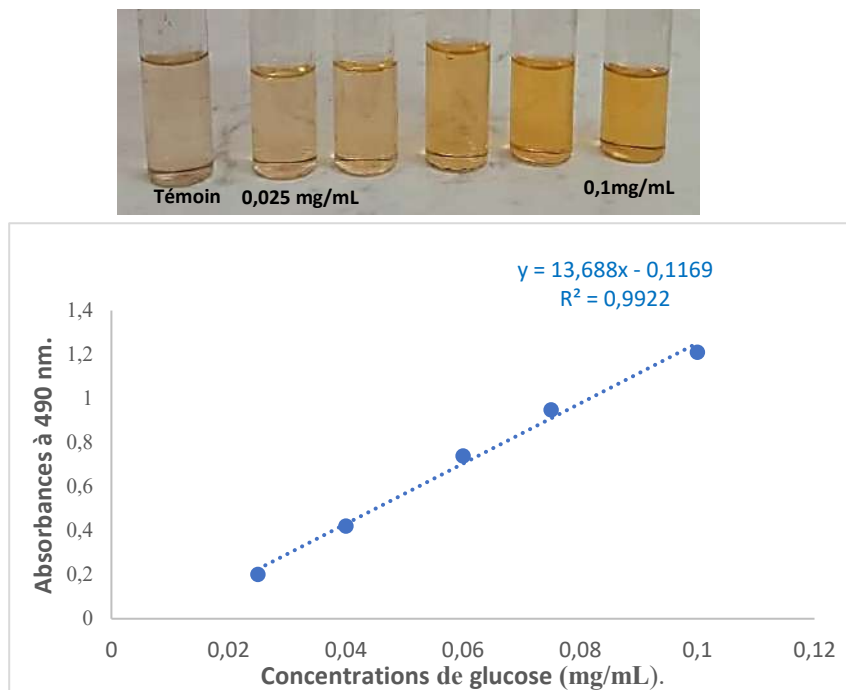


Figure 20 : Gamme et courbe d'étalonnage du glucose pour le dosage des sucres totaux.

III.3.3.4. Détermination de la teneur en sucres réducteurs

La détermination des sucres réducteurs a été réalisée selon le protocole de **Miller (1959)** en utilisant le réactif Acide 3,5-Dinitrosalicylique (DNS).

Principe

La méthode repose sur le principe qu'à chaud et en milieu alcalin, il y a réduction du DNS (oxydant) par les sucres réducteurs. Dans cette réaction, la fonction aldéhyde du sucre libre (réducteur) est transformée en fonction carboxylique par le DNS (oxydant), ce qui se traduit par une coloration rouge-orangée (Figure 21).

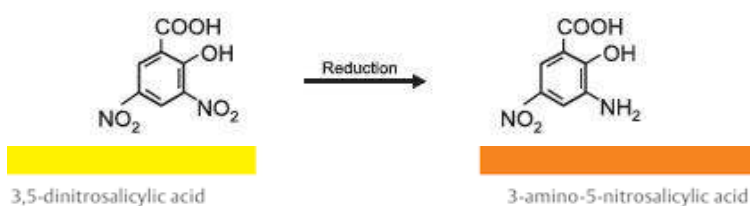


Figure 21 : Principe de la réaction du DNS avec les sucres réducteurs (National Center for Biotechnology Education, 2016, www.ncbe.reading.ac.uk)

Mode opératoire

À 1 mL de l'échantillon dilué/standard, ajouter 1 mL de réactif DNS (préparé comme suit : 8 g de soude, 5 g d'acide di-nitro-3,5 salicylique, 150 g de tartrate double de sodium et de potassium dans 500 mL d'eau). Après homogénéisation du mélange, les tubes sont portés dans un bain-marie à 100 °C pendant exactement 5 minutes. À la sortie du bain-marie, tous les tubes sont placés dans un bain de glace pour un refroidissement. Ensuite, 10 mL d'eau distillée sont ajoutés à chaque tube. L'absorbance est mesurée par un spectrophotomètre UV-Visible à 540 nm.

Une solution mère de glucose à 2 mg/mL est préparée pour établir une courbe d'étalonnage à partir de différentes dilutions filles de 0,2 à 2 mg/mL. La concentration en sucres réducteurs est calculée à partir de l'équation $y = 0,5521x - 0,0093$; $R^2 = 0,9998$, figure 22.

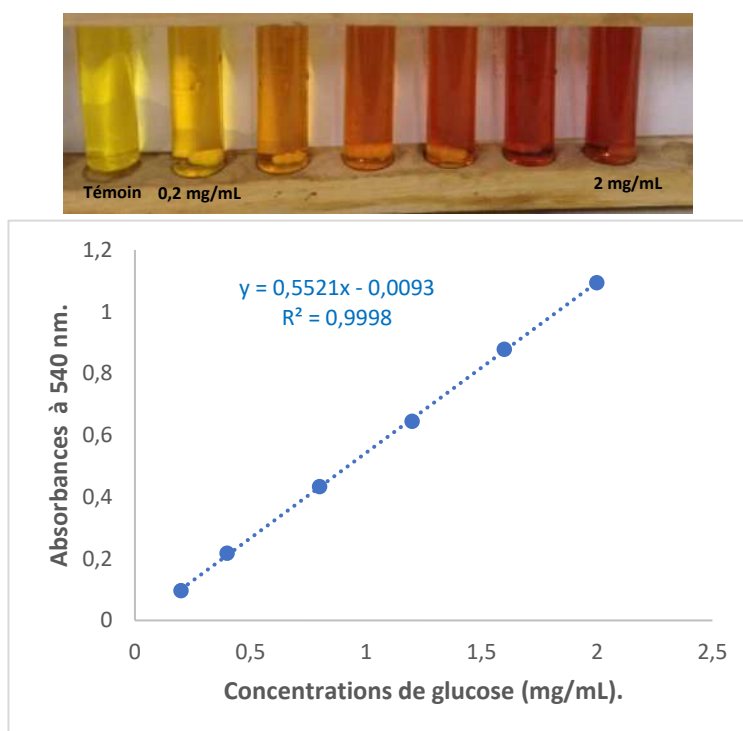


Figure 22 : Gamme et courbe d'étalonnage du glucose pour le dosage des sucres réducteurs.

III.3.3.5. Détermination de la teneur en saccharose

Le saccharose est déterminé selon la formule décrite par **Yousif *et al.* (1982)** :

$$\text{Saccharose (\%)} = (\text{Sucres totaux} - \text{Sucres Réducteurs}) \times 0.96$$

III.3.3.6 Détermination de la valeur énergétique

La valeur énergétique a été déterminée en utilisant la formule décrite par **Crisan and Sands (1978)**.

$$\text{Valeur énergétique (kcal=100g)} = (\text{Protéines \%} \times 2.26) + (\text{Lipides \%} \times 8.37) + (\text{Sucres \%} \times 4.2).$$

III.3.4. Évaluation de la qualité des dattes

Certains paramètres biométriques, physico-chimiques et biochimiques : poids de la datte, poids de la pulpe, pH, teneurs en eau (humidité) et sucres totaux ont permis d'évaluer la qualité des dattes en se référant aux critères d'évaluation qualitative des dattes, rapportés par **Meligi and Sourial (1982)** et **Mohammed *et al.* (1983)**, sur les cultivars égyptiens et irakiens (Tableau 16).

Tableau 16 : Critères d'évaluation qualitative des dattes (**Meligi and Sourial, 1982** **Mohammed *et al.*, 1983**).

Données	Normes	Classes de qualité	Caractères
Poids de la datte (g)	Inférieur à 6 g	Mauvais caractère	Faible
	6 – 8 g	Acceptable	Moyen
	Supérieur à 8 g	Bon caractère	Elevé
Poids de la pulpe (g)	Inférieur à 5 g	Mauvais caractère	Faible
	5 – 7 g	Acceptable	Moyen
	Supérieur à 7 g	Bon caractère	Elevé
TE (%)	Inférieure à 10 %	Mauvais caractère	Très faible
	10-24 %	Bon caractère	Moyenne
	25-30 %	Acceptable	Elevée
	Supérieure à 30 %	Mauvais caractère	Très élevée
pH	Inférieur à 5,4	Mauvais caractère	pH acide
	5,4 – 5,8	Acceptable	
	Supérieur à 5,8	Bon caractère	
Sucres totaux (%)	50 – 60 %	Mauvais caractère	Faible
	60-70 %	Acceptable	Moyen
	Supérieur à 70 %	Bon caractère	Elevé

TE : Teneurs en eau (= Humidité)

III.3.5. Extractions et caractérisation en composés phénoliques

III.3.5.1. Extractions

III.3.5.1.1. Critères de choix des systèmes d'extraction

De nombreuses études ont démontré que l'utilisation de mélanges comprenant des solvants organiques avec l'eau serait plus favorable à l'extraction des composés phénoliques, en comparaison aux solvants purs, du fait que la présence de l'eau dans les mélanges augmenterait la perméabilité des tissus végétaux et favoriserait le phénomène de diffusion de masse dans l'étape d'extraction (**Trabelsi *et al.*, 2010 ; Arimboor and Arumughan, 2011**).

- Pour la préparation d'extraits ternaires, un système de solvants avec une mixture ternaire de MeOH-acétone-eau (MAE, 7 : 7 : 6, V/V/V) a été adopté.
- Pour la préparation des extraits flavonoïdiques, une mixture binaire MeOH-eau à 80 % suivie d'une série d'extractions liquide-liquide avec le n-butanol, l'acétate d'éthyle et l'eau a été adoptée.
- Pour la préparation des extraits tanniques, une mixture binaire acétone-eau à 80 % suivie d'une série d'extractions liquide-liquide avec l'acétate d'éthyle et l'eau a été adoptée.

III.3.5.1.1.1. Préparation des extraits ternaires

Les polyphénols ont été extraits dans une mixture ternaire composée de MeOH-acétone-eau, avec un rapport solide-liquide 1 : 20, selon la méthode décrite par **Liyana-Pathirana and Shahidi (2006)**, avec de légères modifications.

Deux grammes (02 g) de chaque échantillon de dattes ont été macérés dans 40 mL d'une mixture ternaire composée de MeOH-acétone-eau (7/7/6, V/V/V) à température ambiante et sous agitation pendant 2 heures. L'échantillon a été réextrait une deuxième fois dans les mêmes conditions d'extraction. Après filtration, les deux filtrats sont réunis et l'ensemble est évaporé à sec dans un rotavapor rotatif (de type Buchi R-200) à 45 °C. Les résidus sont récupérés dans 8 mL de MeOH.

III.3.5.1.1.2. Préparation des fractions liquide-liquide des extraits flavonoïdiques

Les trois fractions liquide-liquide des extraits flavonoïdiques ont été préparées selon le protocole de **Bekkara *et al.* (1998)**, avec de légères modifications. Deux grammes (02 g) de chaque échantillon ont été macérés dans 40 mL d'une mixture MeOH-eau (80/20, V/V) à température ambiante et sous agitation pendant 2 heures. L'échantillon a été réextrait une deuxième fois dans les mêmes conditions d'extraction. Après filtration, les deux filtrats sont réunis et le solvant organique est évaporé à sec dans un rotavapor à 45 °C. Le résidu sec obtenu est partagé entre 10 mL d'acétate d'éthyle et 10 mL d'eau distillée, dans une ampoule à décanter. Après évaporation de la phase acétate d'éthyle, le résidu est récupéré dans 5 mL de MeOH. La phase aqueuse est de nouveau fractionnée à volume égal avec le n-butanol et les deux phases sont évaporées à sec. Les résidus sont récupérés dans 5 mL de MeOH (Figure 23). Les trois (03) fractions : acétate d'éthyle, n-butanol et aqueuse sont conservées à 4 °C.

III.3.5.1.1.3. Préparation des fractions liquide-liquide des extraits tanniques

Les deux fractions des extraits tanniques ont été préparées selon le protocole de **Zhang *et al.* (2008)**, avec de légères modifications. Deux grammes (02 g) de l'échantillon ont été macérés dans 40 mL d'une mixture acétone-eau (80/20, V/V) à température ambiante et sous agitation pendant 2 heures. L'échantillon a été réextrait une deuxième fois dans les mêmes conditions d'extraction.

Après filtration, les deux filtrats sont réunis et le solvant organique est évaporé à sec dans un rotavapor à 45 °C. Le résidu sec obtenu est récupéré dans 15 mL d'eau distillée. La phase aqueuse ainsi obtenue est lavée dans 15 mL d'éther de pétrole afin d'éliminer les pigments et les lipides. Après séparation de la phase organique, la phase aqueuse est fractionnée deux fois à l'acétate d'éthyle. Évaporés à sec, les résidus des deux fractions sont récupérés dans 5 mL de MeOH (Figure 24). Les deux (02) fractions : acétate d'éthyle et aqueuse sont conservées à 4 °C.

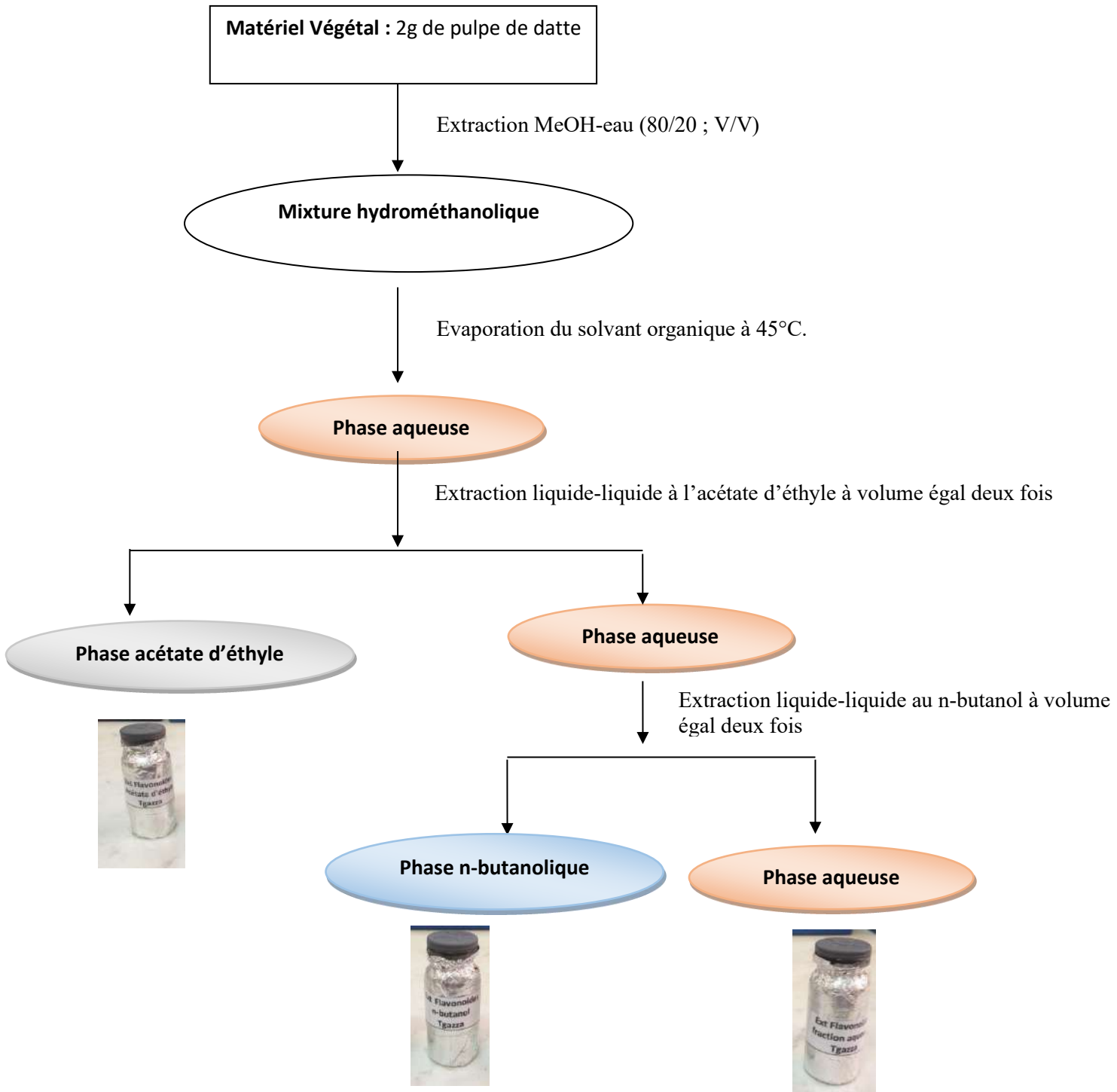


Figure 23 : Protocole de préparation des fractions liquide-liquide des extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques (Bekkara *et al.*, 1998, modifié).

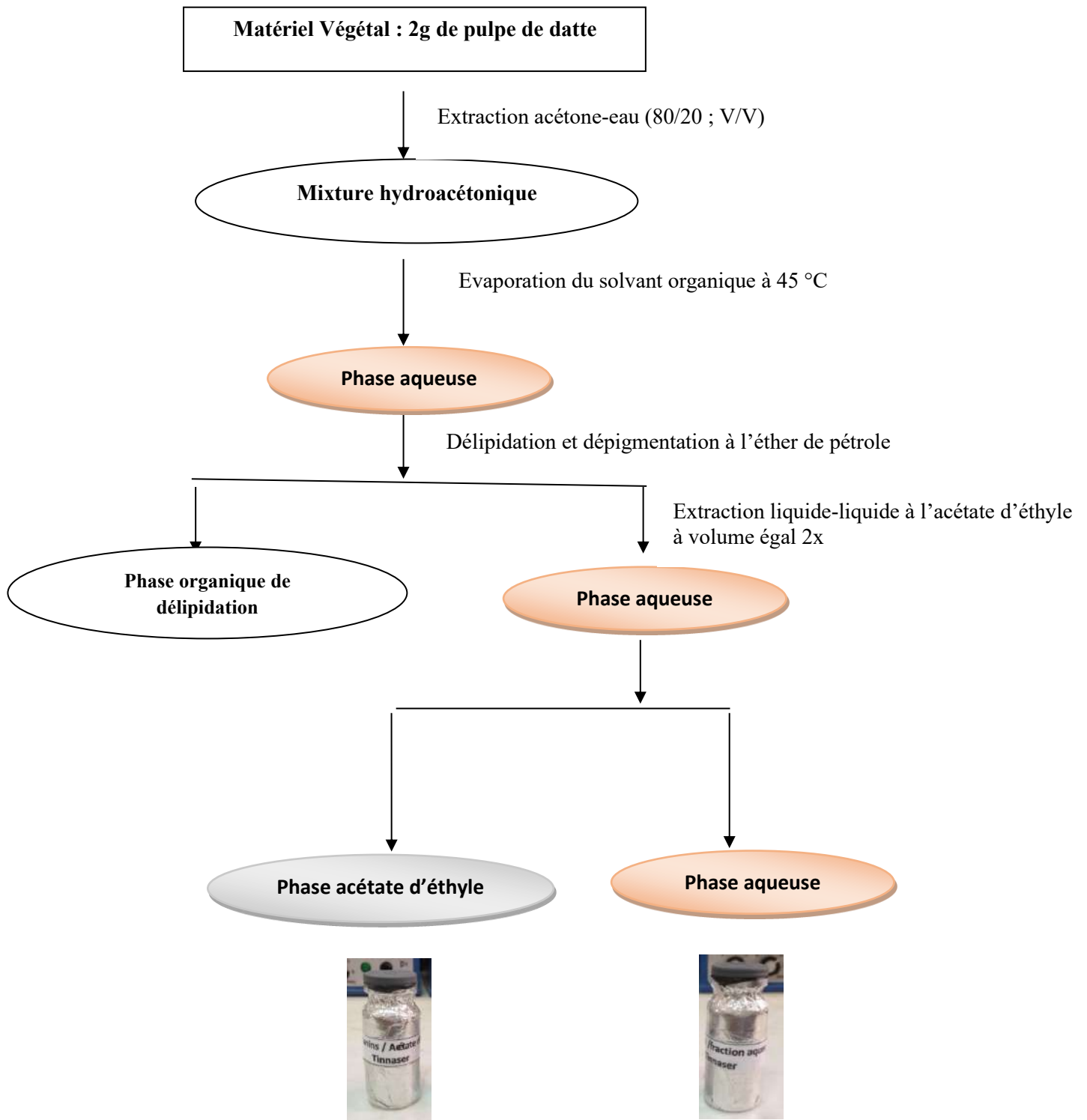


Figure 24 : Protocole de préparation des fractions liquide-liquide des extraits des cultivars de dattes tanniques (Zhang *et al.*, 2008, modifié).

III.3.5.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée en utilisant le réactif de **Folin-Ciocalteu** et selon la méthode décrite par **Slinkard and Singleton (1977)**.

Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolibdique ($H_3PmO_{12}O_{40}$). IL est réduit par les phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) (**Ribéreau-Gayon *et al.*, 1972**).

Mode opératoire

À 500 μ L de l'extrait de chaque échantillon/standard, nous avons ajouté 2,5 mL de Folin-Ciocalteu et 2 mL de N_2CO_3 à 7,5 %. Le mélange bien agité est incubé dans l'obscurité pendant 1 h à température ambiante. L'absorbance est lue à 765 nm.

Une solution mère d'acide gallique à 0,3 mg/mL est préparée pour établir une courbe d'étalonnage à partir de différentes dilutions filles de 0,024 à 0,21 mg/mL. La concentration en polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation $y = 9,9812x + 0,0674$; $R^2 = 0,9973$, figure 25. Les teneurs en polyphénols totaux sont exprimées en mg EAG/100 g MS.

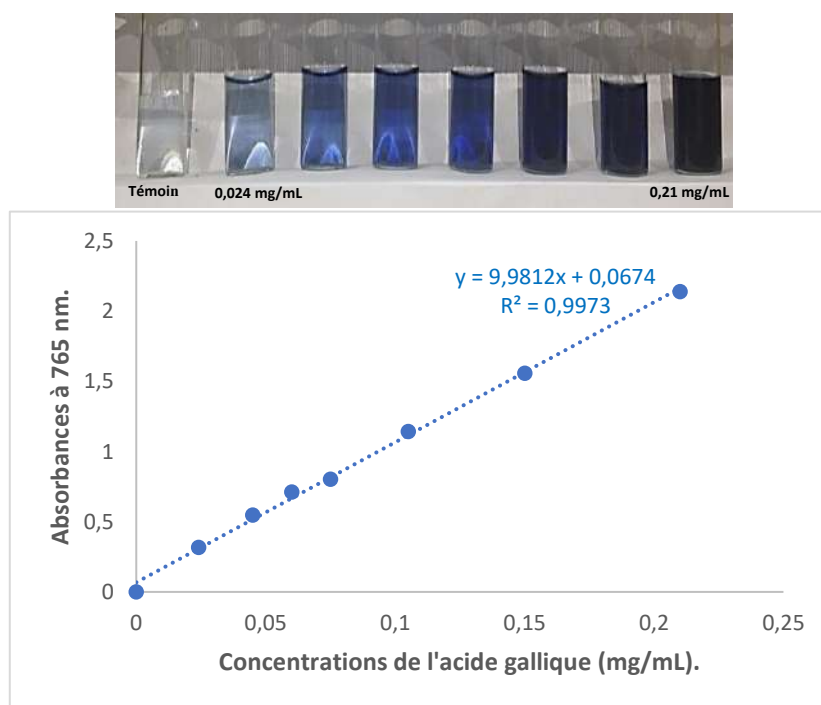


Figure 25 : Gamme et courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols.

III.3.5.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux

La teneur en flavonoïdes totaux a été déterminée par la méthode au **chlorure d'aluminium**, telle que décrite par **Ardestani and Yazdanparast (2007)**.

Principe

Le chlorure d'aluminium forme des complexes acides stables avec le groupe cétonique C-4 et avec le groupe d'hydroxyle de carbone C-3 ou C-5 de flavones et de flavonols (Figure 26). En outre, le chlorure d'aluminium forme des complexes acides labiles avec les groupes orthodihydroxyl dans le cycle A ou B des flavonoïdes (**Chang et al., 2002**).

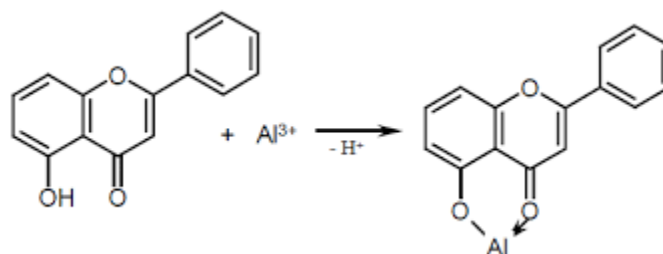


Figure 26 : Principe de la réaction du chlorure d'aluminium ($AlCl_3$) avec les flavonoïdes (**Lagnika, 2005**).

Mode opératoire

À 700 μ L d'extrait/standard, sont ajoutés 2000 μ l d'eau distillée, puis 150 μ l $NaNO_2$ à 15 %. Après deux intervalles consécutifs de 6 min, 150 μ l ($AlCl_3, 6H_2O$) à 10 %, puis 2000 μ l de $NaOH$ à 4 % ont été rajoutés. Les tubes sont incubés pendant 15 min à température ambiante. Les absorbances sont lues à 510 nm.

Une solution mère de catéchine à 0,4 mg/mL est préparée pour établir une courbe d'étalonnage à partir de différentes dilutions filles de 0,04 à 0,4 mg/mL. La concentration en flavonoïdes totaux est calculée à partir de l'équation $y = 4,4414x + 0,0202$; $R^2 = 0,9956$, figure 27. Les teneurs en flavonoïdes totaux sont exprimées en mg EC/100 g MS.

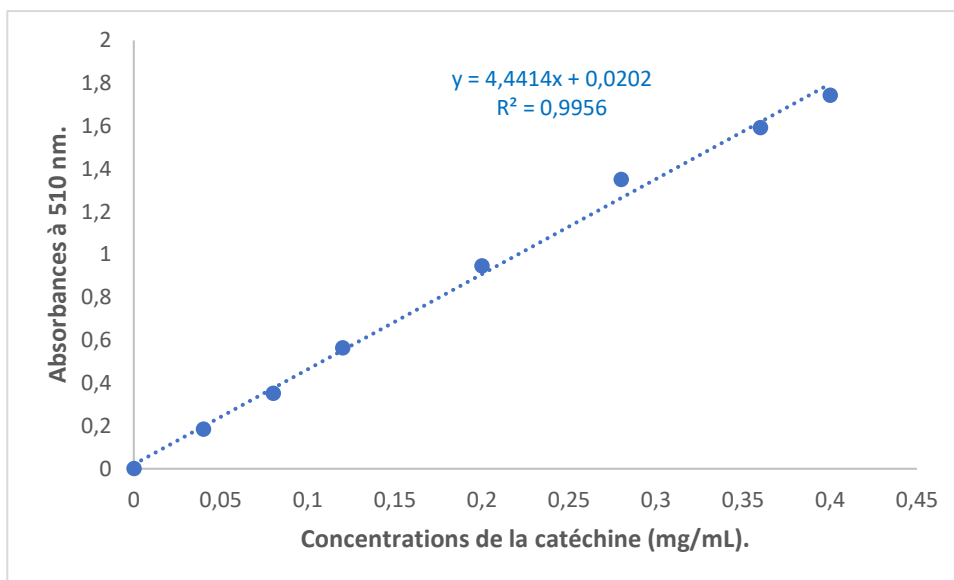


Figure 27 : Gamme et courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux.

III.3.5.4. Détermination de la teneur en tanins condensés

La teneur en tanins condensés a été déterminée par la méthode à la **vanilline-acide**, telle que décrite par **Julkunen-Tiitto (1985)**.

Principe

La vanilline réagit avec les monomères catéchiques et les unités terminales des proanthocyanidines pour former un complexe chromophore rouge qui absorbe à 500 nm (Figure 28) (**Schofield et al., 2001**).

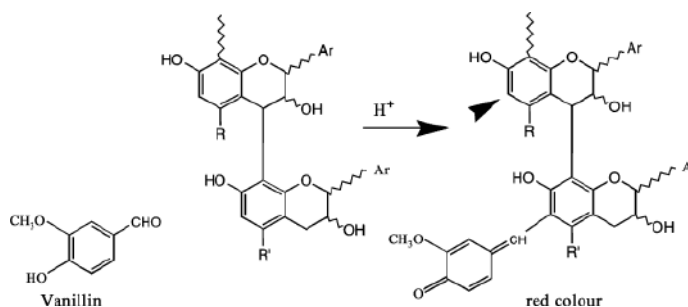


Figure 28 : Principe de la réaction de la vanilline avec les monomères catéchiques (**Schofield et al., 2001**).

Mode opératoire

À 400 µL de l'extrait/standard, on ajoute 3 mL d'une solution de vanilline à 4 % et 1,5 mL d'acide hydrochlorique concentré à 37 %. Le mélange est incubé durant 15 min. L'absorbance est lue à 500 nm. Une solution mère de catéchine à 0,5 mg/mL est préparée pour établir une courbe d'étalonnage à partir de différentes dilutions filles de 0,05 à 0,5 mg/mL. La concentration en tanins condensés est calculée à partir de l'équation $y = 2,7634x - 0,0221$; $R^2 = 0,9933$, figure 29. Les teneurs en tanins condensés sont exprimées en mg EC/100 g MS.

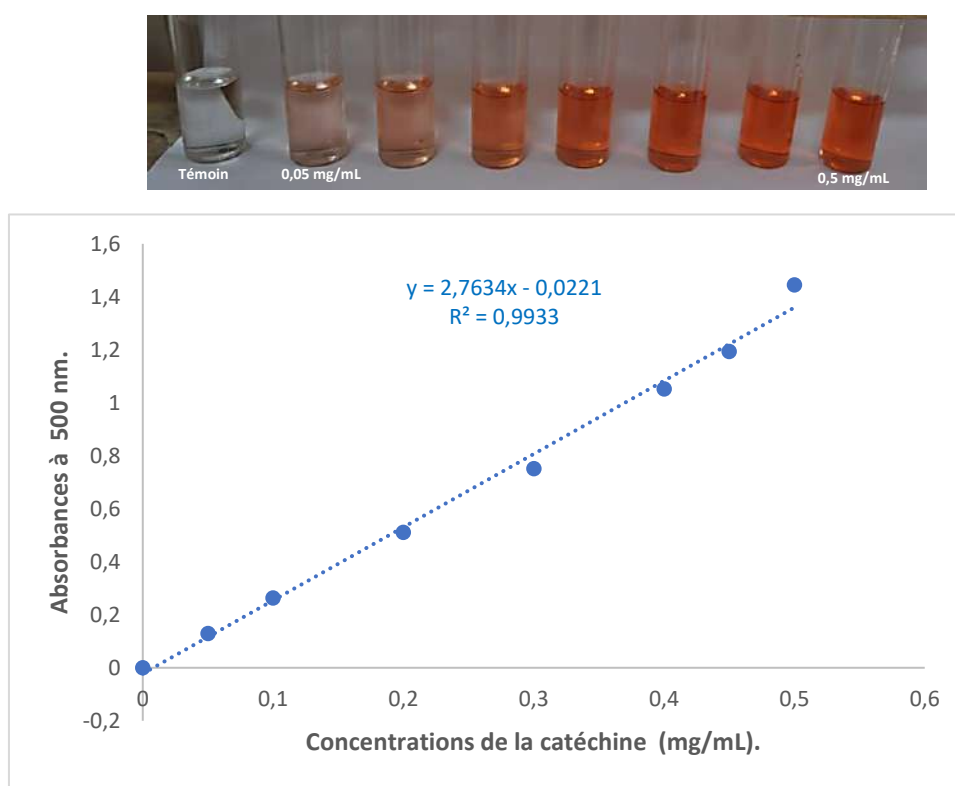


Figure 29 : Gamme et courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des tanins condensés.

III.3.6. Evaluation de la capacité antioxydante par des tests *in vitro*

La capacité antioxydante (CA) a été réalisée par trois tests *in vitro* : DPPH, ABTS (TEAC) et FRAP, qui sont basés sur des mécanismes réactionnels chimiques. Il s'agit d'un transfert de proton ou d'électron pour les tests DPPH et ABTS et d'une réaction de réduction du fer pour le FRAP (Prior *et al.*, 2005 ; Seeram *et al.*, 2008).

Comme pour les extractions sélectives, des fractions liquide-liquide, des extraits flavonoïdiques et tanniques, la capacité antioxydante n'a été réalisée que sur 12 extraits ternaires des cultivars les plus fréquents : *Adâam Bullah*, *Agaz*, *Aghamou*, *Aghares*, *Ahartane*, *Deglet Talmine*, *Hmira*, *Taqerbucht Safra*, *Tazarzeyt*, *Tgazza et Tinnaser*. Et le cultivar moins fréquent *Tinnaqor*.

III.3.6.1. Test de piégeage du radical libre DPPH• et cinétique

Le composé chimique DPPH• (2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle) fut l'un des premiers radicaux libres utilisés pour étudier la relation entre la structure et l'activité antioxydante des polyphénols (Brand-Williams *et al.*, 1995).

Principe

Le test DPPH permet de mesurer le pouvoir antiradicalaire de molécules pures ou d'extraits végétaux dans un système modèle (solvant organique, température ambiante). Il mesure la capacité d'un antioxydant à réduire le radical chimique DPPH• (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) par transfert d'un hydrogène. Le DPPH•, initialement violet, se transforme en DPPH-H, en jaune pâle (Figure 30) (Munteanu and Apetrei, 2021).

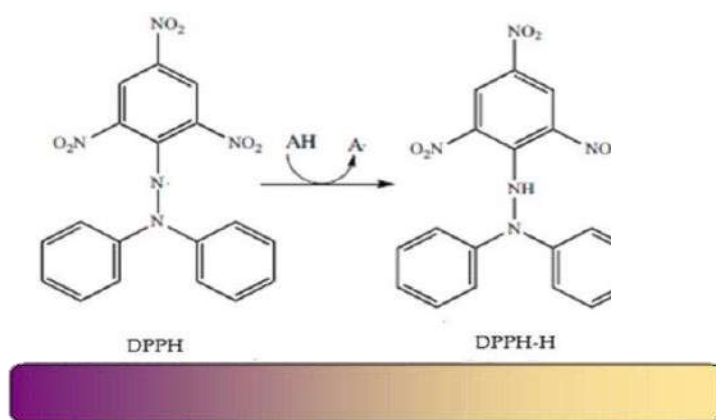


Figure 30 : Mécanisme de réduction du radical DPPH• par un antioxydant (AH) (Munteanu and Apetrei, 2021).

Mode opératoire

Pour chaque extrait, 100 µL de concentrations croissantes (allant de 0,0125 à 0,5 mg/mL) ont été prélevés dans différents tubes à essai. Après avoir ajouté 50 µL de DPPH^{*} (2,5 mM), un volume de 2000 µL de méthanol a été rajouté. Le mélange est bien homogénéisé puis incubé dans l'obscurité pendant 30 min à 37 °C (Bahiani et al., 2023). L'acide gallique et l'acide ascorbique (vitamine C) sont utilisés en tant qu'antioxydants de référence (Figure 31). L'absorbance est mesurée à 517 nm contre un blanc sans DPPH^{*}.

- **Expression des résultats**

% d'inhibition du radical libre est déterminé comme suit :

$$\% \text{ d'inhibition} = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

Où :

A₀ : correspond au tube contenant 2000 µl MeOH, 50 µL DPPH^{*} et 100 µL MeOH (contrôle négatif) ;

A₁ : correspond au tube contenant 2000 µl MeOH, 50 µL DPPH^{*} et 100 µL de l'extrait ou référence (Contrôle positif).

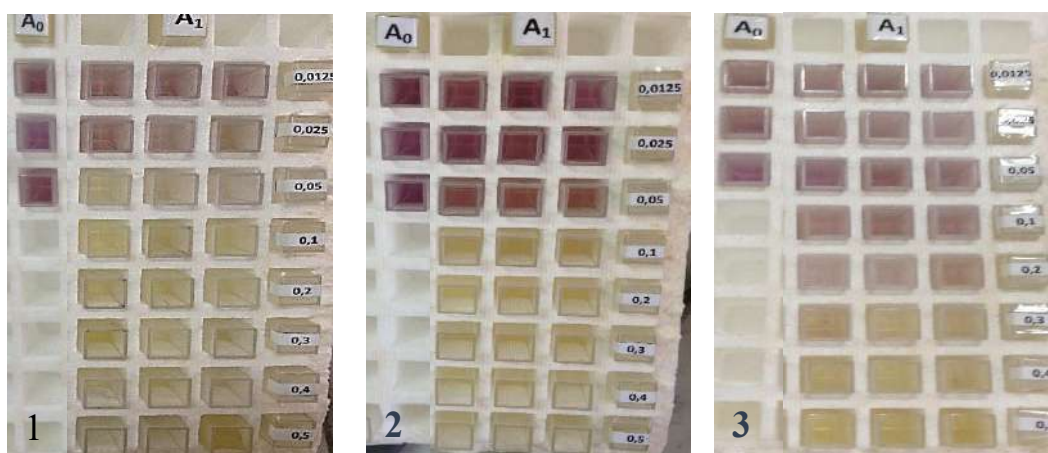


Figure 31 : Activité antiradicalaire de l'acide gallique (1), de l'acide ascorbique (2) et de l'extrait de datte ternaire du cultivar *Tagerbucht Safra* (3) par le test au DPPH.

a- Détermination des EC₅₀^{DPPH}

L'activité anti-radicalaire des extraits est exprimée en EC₅₀^{DPPH}, qui correspond à la concentration de l'extrait permettant de réduire 50 % du radical libre. Les valeurs des EC₅₀ sont calculées graphiquement par les régressions linéaires des graphes tracés. Plus la valeur de l'EC₅₀ est petite, plus l'extrait est considéré comme un antioxydant puissant (Pokorny *et al.*, 2001 ; Munteanu and Apetrei, 2021).

b-Cinétique de la réaction de piégeage du radical libre DPPH•

L'étude cinétique est réalisée par la mise en réaction du radical libre DPPH• avec la concentration inhibitrice EC₅₀ des extraits et des antioxydants de référence. On note l'absorbance du mélange à 517 nm à différents intervalles de temps pendant 30 minutes à 37° C (Silva *et al.*, 2010).

III.3.6.2. Test de réduction du radical cation ABTS^{•+}

Le test de réduction du radical cation ABTS^{•+} a été déterminé selon la méthode telle que décrite par Re *et al.* (1999).

Principe

Le test ABTS^{•+}, appelé méthode TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), est une technique basée sur l'utilisation d'un radical cationique coloré (bleu-vert) stable, l'ABTS^{•+}: 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid), qui se décolore lorsqu'il est réduit par un antioxydant suite à un transfert d'électron. En présence de Trolox (ou d'antioxydant donneur de H•), l'atome d'azote concerné piège un H• conduisant à l'ABTS, ce qui entraîne la décoloration de la solution (Figure 32) (Pellegrini *et al.*, 2003).

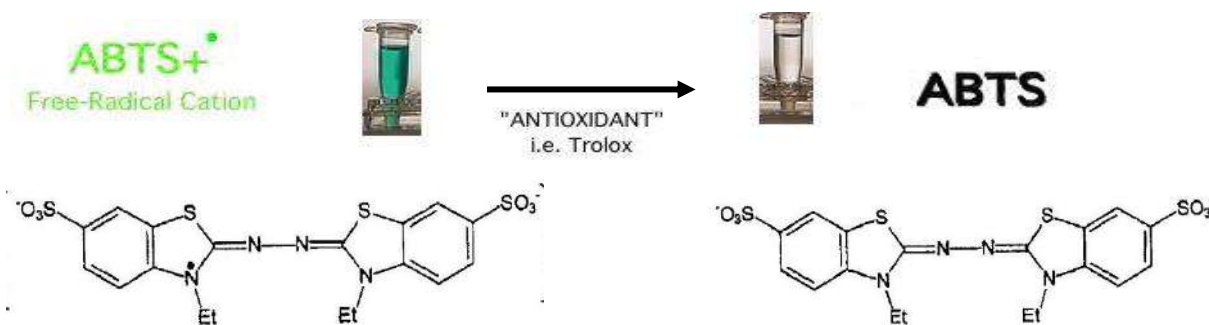


Figure 32 : Mécanisme de réduction du radical cation ABTS^{•+} par un antioxydant (Trolox) (Boligon *et al.*, 2014).

Mode opératoire

À 3,9 mL de la solution de radicaux ABTS^{•+} sont ajoutés 100 µL de l'extrait/standard. Après 6 min d'incubation à température ambiante, les absorbances sont lues à 734 nm.

Une solution mère de Trolox (il s'agit d'un analogue structural hydrosoluble de la vitamine E) à 1 mM est préparée pour établir une courbe d'étalonnage pour des concentrations de 0,05-0,5 mM /L. La capacité antioxydante est calculée à partir de l'équation $y = -0,7747x + 0,7008$; $R^2 = 0,9955$, figure 33. Les résultats sont exprimés en micromoles équivalent Trolox pour 100 g MS (µmol ET/100 g MS).

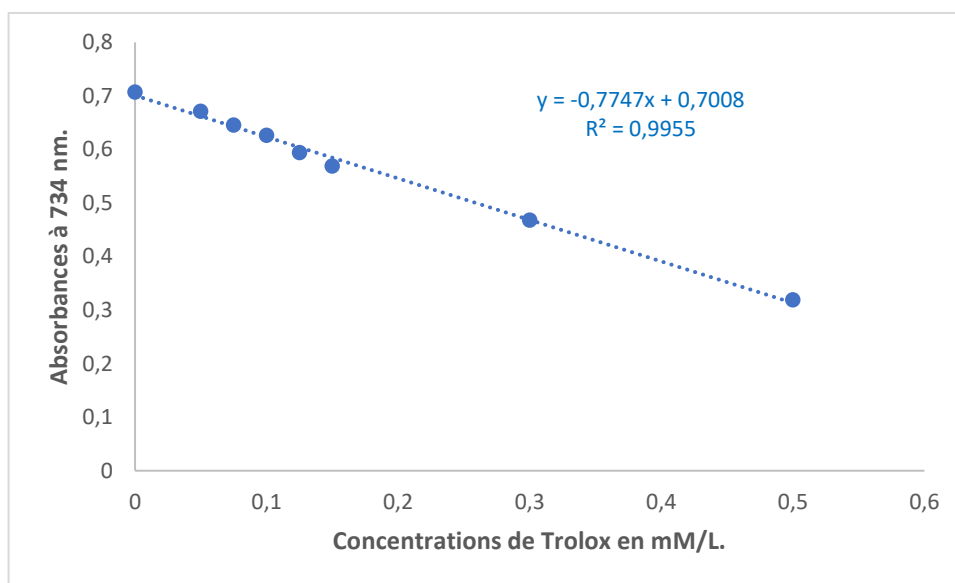
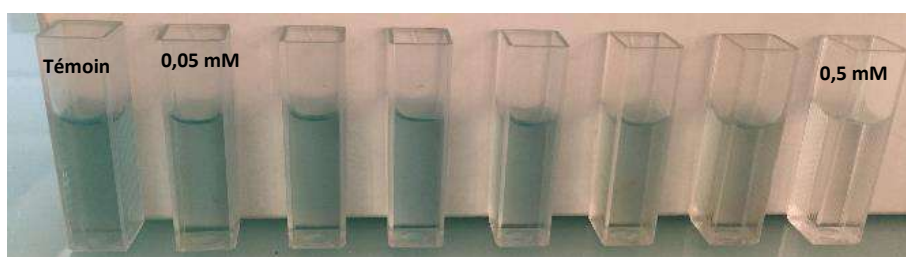


Figure 33 : Gamme et courbe d'étalonnage du Trolox pour le test ABTS

III.3.6.3. Test de réduction du fer (FRAP : Ferric reducing antioxidant power)

Le test du pouvoir de réduction du fer, FRAP (ou Ferric reducing antioxidant power), a été réalisé selon la méthode de **Benzie and Strain (1996)**.

Principe

La méthode FRAP est basée sur la capacité que possède une solution antioxydante à réduire le complexe ferrique tripyridyltriazine (Fe^{3+} -TPTZ) en cation ferreux tripyridyltriazine (Fe^{2+} -TPTZ) (Figure 34), ce qui se traduit par l'apparition d'une coloration d'un bleu foncé (**Pellegrini *et al.*, 2003 ; Munteanu and Apetrei, 2021**).

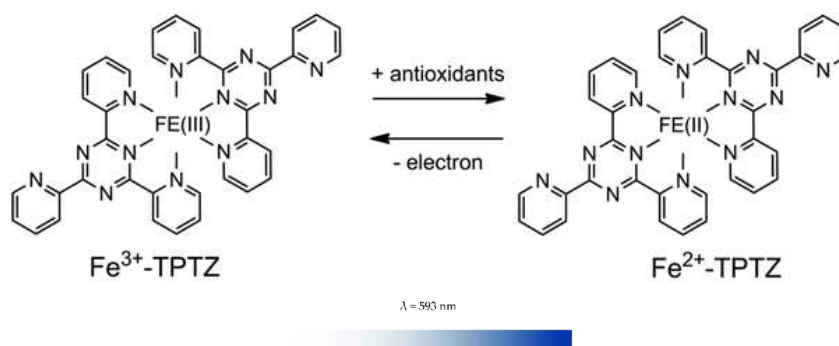


Figure 34 : Mécanisme de réduction du complexe Fe^{3+} - TPTZ par les antioxydants (**Munteanu and Apetrei, 2021**).

Mode opératoire

À 40 μL de l'extrait/standard sont ajoutés 3 mL du réactif FRAP. Après 30 min d'incubation à 37°C, les absorbances sont lues à 593 nm. Une solution mère de Trolox à 1 mM est préparée pour établir une courbe d'étalonnage à partir de plusieurs dilutions de 0,1 à 1 mM/L. La capacité antioxydante est calculée à partir de l'équation $y = 0,4742x + 0,1341$; $R^2 = 0,9976$, figure 35. Les résultats sont exprimés en micromoles équivalent Trolox pour 100 g MS ($\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$).

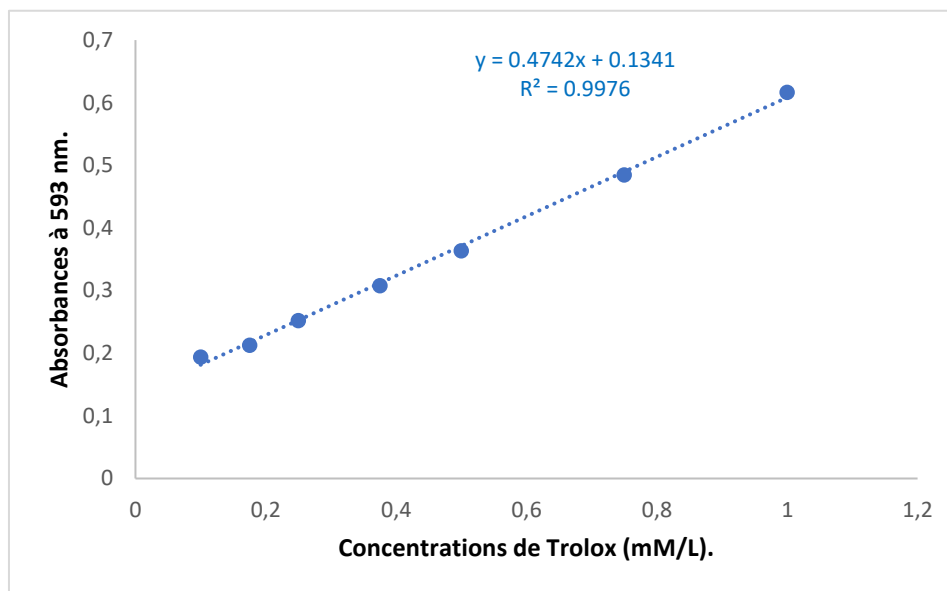


Figure 35 : Gamme et courbe d'étalonnage du Trolox pour le test FRAP

III.3.7. Analyses statistiques des données

Il y a lieu de souligner que, pour les paramètres biométriques (poids des dattes, poids des pulpes, poids des noyaux, % des pulpes et rapport noyau/datte), les résultats sont présentés par la moyenne de vingt (n=20) répétitions.

Quant aux résultats des paramètres physico-chimiques et biochimiques, chaque paramètre analysé est présenté sous forme de la moyenne de trois répétitions (n = 3), suivie de l'écart-type. L'analyse de variance (ANOVA) est utilisée pour détecter les différences significatives entre les échantillons et une valeur de $p < 0,05$ est considérée comme statistiquement significative. L'analyse de la composante principale (ACP), les tests de corrélations, le clustering K-Means (**Govender and Sivakumar, 2020**) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) (**Szekely and Rizzo, 2005**) ont été réalisés en utilisant le logiciel XLSTAT version 5.5.

III.4. Prises de photos

Toutes les photos incluses dans la thèse ont été prises avec un appareil numérique de type Nikon D5000 (AF-S DX VR 18-55 mm, capteur au format DX de 12,3 millions de pixels).

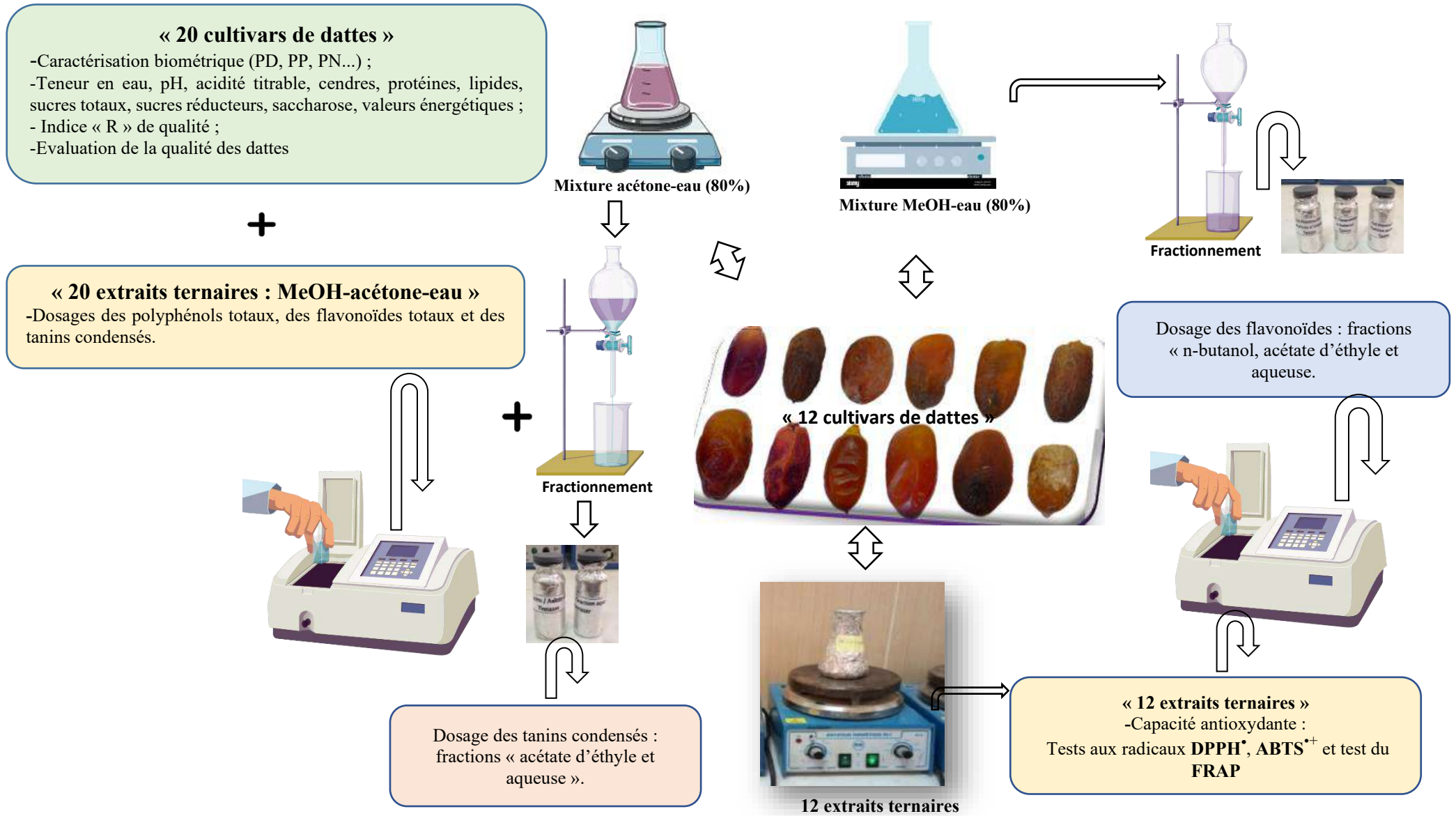


Figure 36 : Schéma global récapitulant la partie expérimentale.



CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV. Résultats et discussions

IV.1. Caractérisation morphologique et biométrique

Les caractéristiques morphologiques des vingt (20) cultivars de dattes sont conciliées dans le tableau 17.

La forme des dattes a été décrite selon **IPGRI (2005)**. La majorité des cultivars de dattes sont de forme subcylindrique. À l'exception des trois cultivars de dattes : *Aghares*, *Taqerbucht Safra* et *Tinnaqor*, communs aux trois régions phœnicicoles, dont la forme est subsphérique. Quant aux dattes du cultivar *Adekli*, commun aux trois régions phœnicicoles, elles sont de forme cylindrique (Tableau 17).

La couleur des vingt cultivars de dattes, déterminée visuellement, varie d'un cultivar à un autre. Les dattes de consistance « sèche » sont généralement de couleur plus claire, d'un jaune ambré, comparées aux dattes de consistance « molle à demi-molle » ; comme cela a été rapporté par **Açourene et al. (2001)**.

En effet, les dattes de consistance « demi-sèche et sèche » des cultivars *Taqerbucht Safra Aghares*, *Tinnaqor* et *Tinnaser*, communs aux trois régions phœnicicoles, sont d'une couleur généralement jaune ambré. De même que les dattes du cultivar endémique et dominant du Gourara, *Deglet Talmine*. Quant aux dattes de consistance « molle à demi-molle », elles sont de couleur plus foncée. C'est le cas des cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Hmira*, *Bamakhlouf*, *Mes'Udia*, *Ouarglia*, *Cheikh M'Hamed*, de couleur rouge-noire ainsi que les dattes des cultivars : *Ahartane*, *Tgazza* et *Tazarzeyt* de couleur marron.

À des dattes de consistance « sèche » s'associe un processus métabolique qui limite la synthèse des molécules colorantes, ce qui induit des dattes de couleur plus claire. À l'opposé, à des dattes de consistance « molle » s'associe un processus métabolique qui s'accompagne d'une accumulation des molécules de couleur, ce qui induit des dattes de couleur plus foncée (**Diboun et al., 2015**).

La couleur des dattes évolue significativement d'un stade de maturation à un autre. Les molécules colorantes sont particulièrement : la chlorophylle, les caroténoïdes et les polyphénols tels que les flavonoïdes et les anthocyanines (**Marfak, 2003 ; Al-Farsi et al., 2005b ; Mortazavi et al., 2015 ; Hussain et al., 2020 ; Pakkish and Mohammadrezakhani, 2020 ; Khodabakhshian and Khojastehpour, 2021**).

Tableau 17 : Caractéristiques morphologiques des vingt cultivars de dattes.

Cultivars	Couleur datte	Forme datte	Forme calice	Surface noyau	Position pore germinatif	Aspect épicarpe	Consistance
<i>Abdeslam</i> **	Ambrée	Subcylindrique	Très proéminent	Lisse	Central	Plissé	Demi-molle à demi-sèche
<i>Adâam Bullah</i> **	Ambrée ou Marron	Subcylindrique	Très proéminent	Lisse	Proximal	Plissé	Molle
<i>Adâam Robb</i> **	Ambrée ou Marron	Subcylindrique	Très proéminent	Lisse	Central	Plissé	Demi-molle à demi-sèche
<i>Adekli</i> *	Rouge/Noire	Cylindrique	Aplati	Lisse	Central	Plissé	Demi-molle
<i>Agaz</i> ***	Marron	Subcylindrique	Aplati	Lisse	Proximal/Central	Plissé	Demi-molle
<i>Aghamou</i> *	Ambrée ou Marron	Subcylindrique	Aplati	Lisse	Central	Plissé avec stries	Sèche
<i>Aghares</i> *	Jaune ambré	Subsphérique	Aplati	Lisse	Central	Plissé avec stries	Sèche
<i>Ahartane</i> *	Marron	Subcylindrique	Aplati	Lisse	Central/Distal	Plissé	Molle
<i>Bamakhlouf</i> *	Rouge/Noire	Subcylindrique	Aplati	Lisse + protubérances	Central	Plissé	Molle
<i>Cheikh M'Hamed</i> *	Marron ou Rouge/Noire	Subcylindrique	Proéminent	Lisse	Central	Plissé	Molle
<i>Deglet Talmine</i> **	Jaune ambré	Subcylindrique	Aplati	Lisse	Proximal	Plissé avec stries	Demi-sèche à sèche
<i>Hmira</i> *	Marron ou Rouge	Subcylindrique	Très proéminent	Lisse	Central	Plissé	Demi-molle
<i>Mes'Udia</i> *	Rouge/Noire	Subcylindrique	Proéminent	Lisse	Central	Plissé	Molle
<i>Ouarglia</i> *	Rouge/Noire	Subcylindrique	Proéminent	Lisse	Central	Plissé	Molle
<i>Taqerbucht safra</i> *	Jaune ambré	Subsphérique	Aplati	Lisse + souvent protubérances	Central	Plissé	Demi-molle/demi-sèche
<i>Tazarzeyt</i> *	Marron	Subcylindrique	Proéminent	Lisse	Central	Cloqué	Demi-molle
<i>Tgazza</i> *	Marron	Subcylindrique	Proéminent	Lisse	Central	Cloqué	Demi-molle à demi-sèche
<i>Timliha</i> *	Marron	Subcylindrique	Proéminent	Lisse	Central	Plissé	Demi-sèche
<i>Tinnaqor</i> *	Jaune ambré	Subsphérique	Aplati	Lisse	Central	Plissé	Sèche
<i>Tinnaser</i> *	Jaune ambré	Subcylindrique	Proéminent	Lisse	Central	Plissé	Sèche

* : Communs aux trois régions phœnicicoles ; ** : Spécifique du **Gourara** ; *** : Spécifique du **Tidikelt**.

La couleur représente un indice qui détermine la maturité de la datte et qui affecte le choix des consommateurs et des opérateurs industriels. Les dattes de couleur foncée, marron-rouge, sont les plus particulièrement prisées et attrayantes, avec une aptitude à la transformation en sirops de dattes (Khodabakhshian and Khojastehpour, 2021).

Par rapport au **goût**, les dattes des cultivars précoces et communs aux trois régions phœnicicoles : *Bamaklouf*, *Mes'Udia*, *Ouarglia* et *Cheikh M'Hamed*, très appréciées par la population, sont particulièrement très succulentes à goût parfumé.

De plus, il est important de souligner l'importance des acides organiques dans la saveur et le goût en créant une acidité et en régulant la douceur du fruit. L'acide malique et l'acide citrique jouent un rôle essentiel dans la saveur des dattes fraîches (Reynes, 1997 ; Ghnimi *et al.*, 2018).

Par ailleurs, il y a lieu de mentionner que les polyphénols impliqués dans la couleur sont également impliqués dans la qualité organoleptique en déterminant l'amertume, l'astringence, la saveur, l'odeur des fruits et légumes. Certains flavonoïdes, dont les flavanones, sont responsables de l'amertume des agrumes. Quant aux tanins condensés, ils sont à l'origine de la sensation d'astringence (Medel-Marabolí *et al.*, 2017 ; Pakkish and Mohammadrezakhani, 2020).

Par rapport à la **forme du calice**, les dattes des cultivars spécifiques du Gourara : *Abdeslam*, *Adâam Bullah*, *Adâam Robb* et celles du cultivar *Hmira*, dominant en tonnage et commun aux trois régions phœnicicoles, ont un calice de forme très proéminente (Figure 37).



Figure 37 : Aspects de la forme du calice au stade de maturation « Khalal », selon IPGRI.

A₁ : Calice aplati (Cultivar *Agaz*) ; A₂ : Calice proéminent (Cultivar *Cheikh M'Hamed*) ;
A₃ : Calice très proéminent (Cultivar *Hmira*) (Photos originales).

Par rapport à l'aspect du péricarpe, la majorité des cultivars de dattes analysés ont un épicarpe plissé ; à l'exception des dattes des cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Tazarzeyt* et *Tgazza*, dont l'épicarpe est cloqué.

Par rapport à l'aspect de la surface du noyau (nommé également graine), la majorité des cultivars de dattes présentent des noyaux sans protubérances, à l'exception des dattes des cultivars *Bamakhlouf* et *Taqerbucht Safra* qui présentent des noyaux avec des protubérances en ailettes (Figure 38).

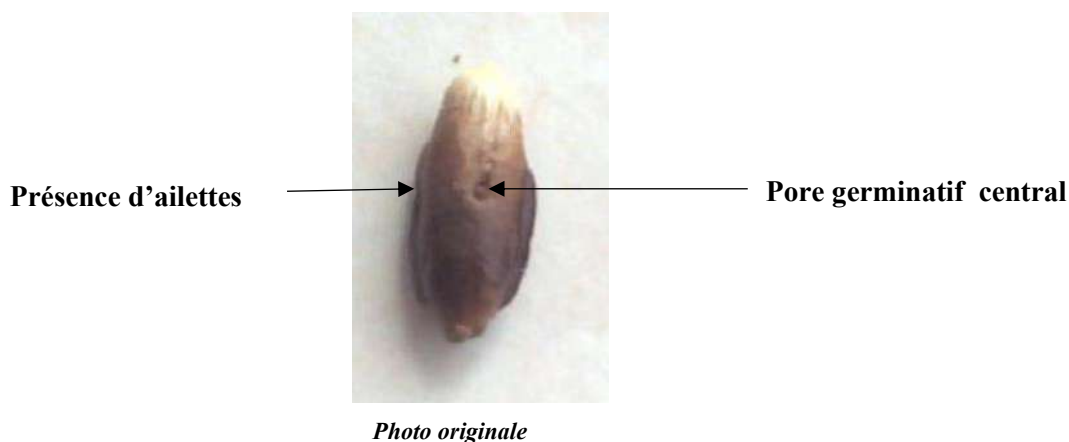


Figure 38 : Position du pore germinatif du noyau et type de protubérances (cultivar *Taqerbucht Safra*).

Dans la majorité des cultivars de dattes analysés, le pore germinatif est principalement de position centrale, tel illustré dans la figure 38.

Quant à la texture, la majorité des cultivars sont de texture « fibreuse », à l'exception des dattes des trois cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Aghamou*, *Aghares* et *Tinnaser*, connues pour leur consistance sèche et qui se caractérisent par une texture « farineuse ».

La caractérisation biométrique a porté sur la détermination du poids de la datte, du poids de la pulpe et du poids du noyau sur un effectif de 20 dattes. Les résultats expriment les poids moyens de 20 dattes. Ils sont conciliés dans le tableau 01 en annexes 02 et illustrés dans la figure 39.

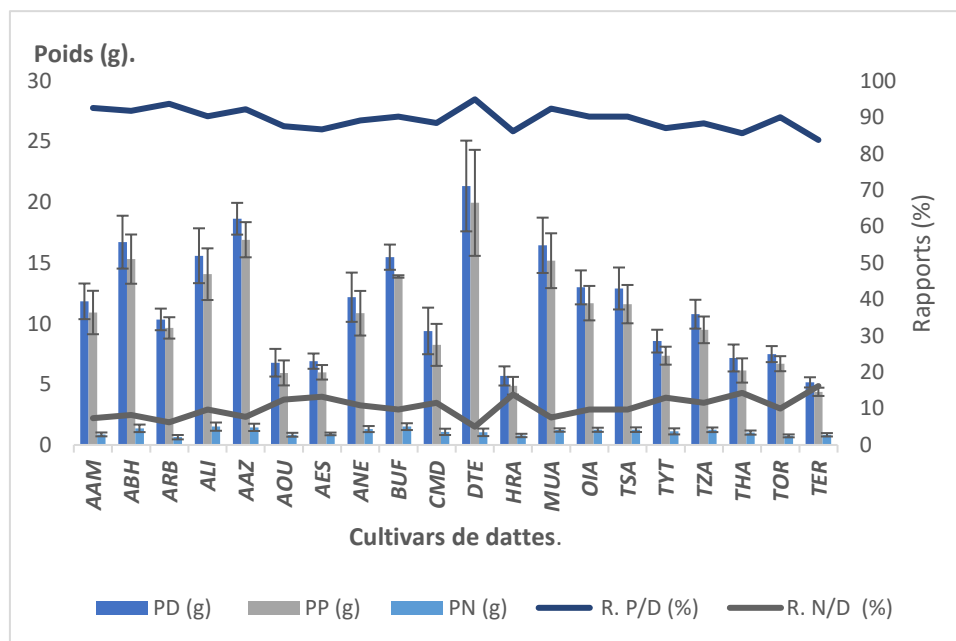


Figure 39 : Caractéristiques biométriques des vingt cultivars de dattes.

AAM : Abdeslam ; *ABH* : Adâam Bullah ; *ARB* : Adâam Robb ; *ALI* : Adekli ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *BUF* : Bamaklouf ; *CMD* : Cheikh M'Hamed ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *MUD* : Mes'Udia ; *OIA* : Ouarglia ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *THA* : Timliha ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

PD : Poids Datte ; **PP** : Poids Pulpe ; **PN** : Poids Noyau ; **R. P/D** : Rapport Pulpe Datte (= % Pulpe) ; **R. N/D** : Rapport Noyau Datte.

- Les poids des dattes des vingt (20) cultivars de dattes sont compris entre $5,69 \pm 0,79$ g, pour les dattes du cultivar *Hmira* et $21,35 \pm 3,74$ g, pour celles du cultivar *Deglet Talmine*.

- Quant aux poids des pulpes, ils sont compris entre $4,88 \pm 0,73$ g et $19,96 \pm 4,37$ g, respectivement pour les mêmes cultivars.

- Les poids des noyaux des 20 cultivars de dattes sont compris entre $0,64 \pm 0,18$ g, pour les dattes du cultivar *Adâam Robb* et $1,51 \pm 0,34$ g ; $1,51 \pm 0,28$ g, respectivement pour les dattes des deux cultivars *Adekli* et *Bamaklouf* (Figure 39).

Sur des cultivars de dattes du patrimoine phœnicicole algérien, **Allam et al. (2021)** ont rapporté, sur 24 cultivars de la région de Ghardaïa, des résultats qui concordent avec notre présente étude ; avec des poids de dattes compris entre 5,62 (*Tadmamt*) et 23,16 g (*Tmar-Bousbaa*) et des poids de pulpes compris entre 4,60 et 21,63 g, respectivement pour les mêmes cultivars. **Gourchala et al. (2015)** ont trouvé pour les dattes du cultivar *Hmira*, échantillonné à Adrar, des résultats qui concordent avec notre présente étude, sur le même cultivar ; avec un poids moyen de la datte de 6,23 g.

Quant à **Açourene et al. (2014)** sur 54 cultivars algériens cultivés dans différentes aires phœnicicoles, ils indiquent des poids de dattes compris entre 3,88 et 19,41 g et des poids de pulpes compris entre 2,85 et 17,8 g, respectivement pour les dattes des cultivars *Badjmill* et *Baydh-Ghoul*. Quant à l'étude menée par **Belguedj et al. (2023)** sur des cultivars de dattes des oasis de la Saoura, elle indique des poids de dattes de 9,23 (*Hmira*) à 32,63 g (*Deglet Djedir*) et des poids de pulpes de 8,24 à 31,41 g, respectivement pour les mêmes cultivars.

En comparaison avec d'autres cultivars de dattes du patrimoine phœnicicole mondial, **Qadri et al. (2016)** ont cité des poids de dattes compris entre 4,71 et 18,91 g sur des cultivars de dattes cultivés au Pakistan. Quant à **Rekab et al. (2010)**, ils indiquent des poids de dattes compris entre 11,21 et 17,79 g, sur des cultivars de dattes égyptiennes.

L'un des critères de caractérisation des dattes est le rapport poids pulpe/poids datte qui indique le pourcentage de la pulpe. Une datte est qualifiée de bonne qualité si son rapport pulpe/datte est élevé (**El Arem et al., 2012**).

Dans notre présente étude, les dattes spécifiques du Gourara, du cultivar *Deglet Talmine* présentent le pourcentage de la pulpe le plus élevé, de $94,99 \pm 1,86$ %, suivies des dattes des cultivars *Adâam Robb* et *Abdeslam*, avec respectivement des rapports de $93,76 \pm 1,66$ % et $92,65 \pm 1,03$ %. Quant aux dattes, communes aux trois régions phœnicicoles, du cultivar *Tinasser*, elles indiquent le pourcentage de pulpe le plus faible, de $83,81 \pm 2,23$ %, suivies des dattes des cultivars *Timliha* et *Hmira*, respectivement de $85,66 \pm 1,77$ et $86,16 \pm 2,5$ % (Tableau 01 en Annexes 02 et Figure 39).

Les vingt cultivars de dattes affichent des pourcentages de pulpes de 83,81 à 94,99 %. Onze cultivars (11) de dattes atteignent un pourcentage de pulpe de 90 %, ce qui leur confère une bonne qualité par rapport à cet indice. Nos résultats sont comparables à ceux de **Metwally et al. (2019)** qui indiquent des valeurs comprises entre 80,57 et 90,45 % sur des cultivars de dattes égyptiennes. Quant aux études de **Qadri et al. (2016)** et celles de **Belguedj et al. (2023)**, elles rapportent des pourcentages de pulpe compris de 77 à 97 %.

Par ailleurs, le rapport noyau/datte représente également une caractéristique d'appréciation de la qualité commerciale des dattes (**Dowson and Aten, 1963**). Le rapport noyau/datte le plus faible indique une bonne qualité.

Les dattes des cultivars spécifiques du Gourara : *Deglet Talmine*, *Adâam Robb* et *Abdeslam* présentent les rapports noyau/datte les plus faibles, respectivement de $5,01 \pm 1,86$ %, $6,24 \pm 1,66$ % et $7,35 \pm 1,03$ %. Quant aux dattes du cultivar *Tinnaser*, elles indiquent un rapport noyau/datte le plus élevé de $16,19 \pm 2,23$ %.

Les caractéristiques morphologiques et biométriques dépendent de plusieurs facteurs :

- La couleur des dattes dépendrait du facteur génotypique, des stades de maturation, des conduites culturales et également de l'ensoleillement (**Hasnaoui *et al.*, 2011 ; Mortazavi *et al.*, 2015 ; Hussain *et al.*, 2020 ; Pakkish and Mohammadrezakhani, 2020 ; Khodabakhshian and Khojastehpour, 2021**) ;
- La qualité des pollens utilisés a une influence directe sur la forme, la taille et le développement des fruits et sur leur qualité (**Açourene *et al.*, 2001 ; Ibrahim *et al.*, 2014 ; Soliman *et al.*, 2016**) ;
- Les conduites d'irrigation et de fertilisation, appliquées par les agriculteurs (**Hussein and Hussein, 1983 ; Açourene *et al.*, 2001**) ;
- Et des conditions climatiques, telles que l'humidité de l'air et les températures (**Abul-Soad *et al.*, 2013**).

Dans l'ensemble, la caractérisation biométrique des vingt (20) cultivars de dattes a démontré :

- Des poids de dattes compris entre $5,69 \pm 0,79$ g (*Hmira*) et $21,35 \pm 3,74$ g (*Deglet Talmine*).
- Des poids de pulpes compris entre $4,88 \pm 0,73$ g (*Hmira*) et $19,96 \pm 4,37$ g (*Deglet Talmine*).
- Des pourcentages de pulpe compris entre $83,81 \pm 2,23$ % (*Tinasser*) et $94,99 \pm 1,86$ % (*Deglet Talmine*).

Dans l'ensemble, la caractérisation biométrique a fait ressortir des cultivars intéressants, par leur pourcentage de pulpe élevé, pouvant offrir des perspectives économiques.

Le cultivar *Agaz* de la région du Tidikelt, ainsi que les cultivars de dattes de la région du Gourara : *Deglet Talmine*, *Adâam Robb*, *Abdeslam* et *Adâam Bullah*, suivis des cultivars : *Mes'Udia*, *Bamaklouf*, *Ouarglia*, *Taqerbucht Safra*, *Adekli* et *Tinnaqor*, communs aux trois régions phœnicicoles (Ti, To et Go), se démarquent par leurs caractéristiques biophysiques très intéressantes, avec les pourcentages de pulpe les plus élevés, à partir de 90 %.

IV.2. Caractérisation physico-chimique et biochimique en métabolites primaires

Les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques en métabolites primaires des vingt (20) cultivars de dattes sont conciliées respectivement dans les tableaux 02 et 03 en annexes 02.

IV.2.1. Caractérisation physico-chimique

IV.2.1.1. Teneur en eau

Les teneurs en eau des vingt cultivars de dattes, avec des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 02 en annexes 02 et illustrées dans la figure 40.

Elles sont comprises entre $14,28 \pm 0,89$ % pour les dattes du cultivar *Tinnaser* et $44,89 \pm 1,21$ % pour les dattes du cultivar *Cheikh M'Hamed* (Figure 40).

Il est à noter que les dattes des cultivars de consistance « molle », *Cheikh M'Hamed*, *Bamaklouf*, *Mes'Udia* et *Ouarglia*, particulièrement précoces, présentent les teneurs en eau les plus élevées, respectivement de $44,89 \pm 1,21$ %, $42,55 \pm 1,60$ %, $37,79 \pm 0,1$ % et $36,67 \pm 0,24$ %.

Il en est de même pour le cultivar tardif *Ahartane* et le cultivar spécifique du Gourara *Adâam Bullah*, qui indiquent des teneurs élevées, respectivement de $38,82 \pm 5,17$ % et $37,78 \pm 0,39$ %. Quant aux

dattes des cultivars communs aux trois régions phœnicicoles et de consistance « sèche » : *Tinnaser*, *Aghamou* et *Aghares*, elles indiquent les teneurs en eau les plus faibles, respectivement de $14,28 \pm 0,89$ % ; $16,55 \pm 1,53$ % et $16,85 \pm 0,35$ %.

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par **Djaoudene et al. (2019a)** et ceux cités par **Allam et al. (2021)**, sur des cultivars de dattes algériennes de la région de Ghardaïa, qui indiquent respectivement des TE de 15,8 % (*Halwa*) à 42 % (*Baba-Kassi*) et des TE de 11,34 % (*Ourous*) à 39,04 % (*Oukasaba*). Ils sont également assez comparables avec l'étude de **Bedjaoui (2019)**, qui cite des TE de 9,6 % (*Halwa*) à 38,6 % (*Deglet Abdallah*) sur des cultivars de dattes du Ziban et celle menée par **Açourene et al. (2014)**, avec des TE comprises entre 9 % (*Tinakor*) et 44 % (*Tati*).

Les travaux menés par **Al-Harrasi et al. (2014)** et ceux d'**Abdul-Hamid et al. (2020)** rapportent des teneurs en eau plus faibles, comprises entre 12 et 28 %, respectivement sur des cultivars de dattes de Sultanat d'Oman et d'Arabie Saoudite. En outre, **Qadri et al. (2016)** citent, sur des cultivars de dattes du Pakistan, des TE comprises entre 20,51 et 25,11 %.

La teneur en eau est un critère fondamental dans le choix des opérateurs industriels. Il ressort de la caractérisation physico-chimique que les cultivars de dattes spécifiques de la région du Gourara : *Deglet Talmine*, *Adâam Robb* et *Abdeslam* et les cultivars : *Taqerbucht Safra*, *Tazarzeyt*, *Tgazza*, *Timliha*, *Aghamou*, *Aghares*, *Tinnaser* et *Tinnaqor*, communs aux trois régions phœnicicoles, ont des teneurs en eau comprises entre $14,28 \pm 0,89$ (*Tinnaser*) et $30,24 \pm 1,07$ % (*Taqerbucht Safra*), ce qui peut être en faveur d'une conservation plus prolongée, particulièrement les dattes des cultivars : *Deglet Talmine*, *Adâam Robb*, *Aghamou*, *Aghares*, *Tinnaqor* et *Tinnaser*, dont les TE ne dépassent pas les 20 %.

Il est bien établi que la teneur en eau des dattes dépend des conditions climatiques, telles que la température et l'humidité de l'air. Par ailleurs, la teneur en eau des produits alimentaires est considérée comme un facteur critique dans la conservation des aliments et oriente très souvent le choix des consommateurs et des opérateurs industriels (**Agboola and Adejumo, 2013** ; **Abdul-Hamid et al., 2020**).

En effet, la TE des dattes indique leur degré de stabilité et leur durée de conservation pendant les opérations de stockage et les processus de transformation.

Elle détermine également leur texture par le ratio TE/ST (**Younas et al., 2020**). Les dattes, dont les TE ne sont pas élevées, s'apprêtent facilement à la conservation ; contrairement aux dattes dont les TE sont très élevées.

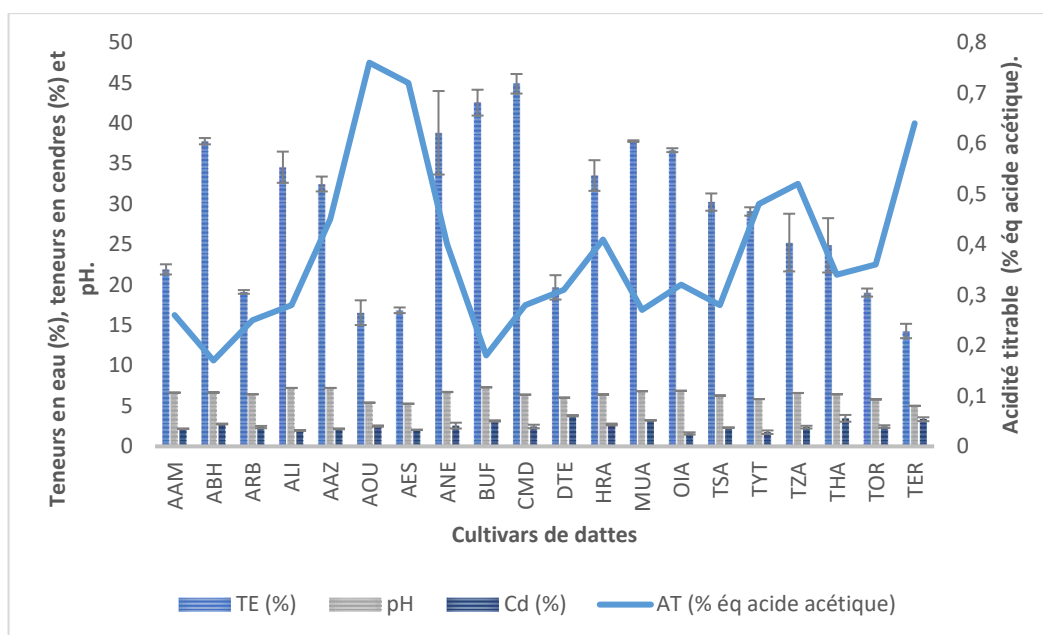


Figure 40 : Teneurs en eau, en cendres, pH et acidité titrable des vingt cultivars de dattes.

AAM : Abdeslam ; *ABH* : Adâam Bullah ; *ARB* : Adâam Robb ; *ALI* : Adekli ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *BUF* : Bamaklouf ; *CMD* : Cheikh M'Hamed ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *MUD* : Mes'Udia ; *OIA* : Ouarglia ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *THA* : Timliha ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

TE : Teneur Eau ; Cd : Cendres ; AT : Acidité Titrable.

IV.2.1.2. pH

Les pH des vingt (20) cultivars de dattes, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliés dans le tableau 02 en annexes 02 et illustrés dans la figure 40.

Les pH des vingt cultivars de dattes sont compris entre $5,02 \pm 0,01$, pour les dattes du cultivar *Tinnaser* et $7,31 \pm 0,01$, pour les dattes du cultivar *Bamakhlouf* (Figure 40).

Il y a lieu de souligner que les dattes des cultivars : *Tinnaser*, *Aghares* et *Aghamou*, principalement de consistance « sèche », présentent les pH les plus acides, respectivement de $5,02 \pm 0,01$, $5,28 \pm 0,01$ et $5,41 \pm 0,01$.

Les résultats de la présente étude viennent corroborer ceux rapportés sur des cultivars algériens par **Allam et al. (2021)**, avec des pH compris entre 4,94 (*Takamait*) et 7,34 (*Baba-Kassi*). De même que ceux indiqués par **Açourene et al. (2014)** et ceux de **Djaoudene et al. (2019a)**, avec des pH respectivement de 5,42 (*Tinakor*) à 7,29 (*Takerboucht*) et des pH de 5,49 (*Tamezwert n'telet*) à 6,76

(*Tazizout*). Quant à l'étude de **Bedjaoui (2019)**, elle indique des pH légèrement plus faibles, compris entre 4,13 (*Safraya*) et 6,40 (*Ksebet Mira*).

Qadri et al. (2016), sur les trente-deux cultivars de dattes du Pakistan analysés, indiquent des pH élevés de 6,53 à 7,43.

Dans l'ensemble, la majorité des cultivars de dattes analysés ont un pH proche de 6, à l'exception des dattes des trois cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Tinnaser*, *Aghares* et *Aghamou*. **Rygg (1948)** rapporte qu'un pH proche de la neutralité s'associe à une bonne qualité commerciale des dattes.

IV.2.1.3. Acidité titrable

Les acidités titrables des vingt (20) cultivars de dattes, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$) et exprimées en pourcentage d'acide acétique (g acide acétique/100g), sont conciliées dans le tableau 02 en annexes 02 et illustrées en figure 40.

Les acidités titrables des vingt cultivars de dattes analysés sont comprises entre $0,17 \pm 0,02$ % pour les dattes du cultivar *Adâam Bullah* et $0,76 \pm 0,02$ % pour les dattes du cultivar *Aghamou* (Figure 40).

Il est à noter que les dattes des cultivars, particulièrement de consistance « sèche », *Aghamou*, *Aghares* et *Tinnaser* présentent les acidités titrables les plus élevées, respectivement de $0,76 \pm 0,02$ % ; $0,72 \pm 0,01$ % et $0,64 \pm 0,02$ % (Figure 40).

Dans l'ensemble, en comparaison avec d'autres cultivars de dattes du patrimoine algérien, **Açourene et al. (2001)** rapportent, sur des cultivars de dattes de la région du Ziban, des AT plus faibles, comprises entre 0,06 (*Rotbet-Abdellah*) et 0,28 % (*Deldala*). L'étude menée par **Djaoudene et al. (2019a)** indique des valeurs de 0,16 (*Ourous*) à 0,33 % (*Tazizaout*). Quant à **Belguedj et al. (2023)**, ils rapportent sur des cultivars de dattes des oasis de la Saoura des AT de 0,56 (*Adem Boulleh*) à 0,91 % (*Hmira*).

En outre, les résultats de la présente étude corroborent avec ceux trouvés sur des dattes des cultivars cultivés au Pakistan, avec des acidités titrables de 0,31 à 0,66 % (**Qadri et al., 2016**). Quant à l'étude de **Metwally et al. (2019)**, elle indique sur des cultivars de dattes égyptiennes des valeurs en acidité titrable beaucoup plus faibles, de 0,11 à 0,28 %.

Il y a lieu de relever que, sur les vingt cultivars de dattes analysés, seuls les trois cultivars, communs aux trois régions phœnicicoles : *Aghamou*, *Aghares* et *Tinnaser*, ont des acidités titrables élevées et des pH acides leur conférant une mauvaise qualité.

Dans les dattes, l'acidité titrable varie significativement selon le stade de maturation. **Hamad et al. (2015)** rapportent, sur des cultivars de dattes de l'Arabie Saoudite, six acides organiques, avec une prédominance de l'acide malique, suivi des acides succinique, isobutyrique, citrique, oxalique et de l'acide formique. Les travaux de **Ghnimi et al. (2018)** et ceux de **Cherif et al. (2021)** évoquent une prédominance de l'acide malique et de l'acide citrique.

Les acides organiques sont impliqués dans la saveur et dans le goût, en contribuant à l'acidité et en modulant la douceur du fruit. Par ailleurs, ils jouent un rôle déterminant dans la qualité du fruit par leurs impacts sur la qualité de conservation des produits et sur le développement des micro-organismes ; autant qu'agents antimicrobiens (**Ghnimi et al., 2018**). Ce sont particulièrement les acides maliques et citriques qui contribuent à la saveur des dattes fraîches (**Reynes, 1997**).

IV.2.1.4. Teneurs en cendres

Les teneurs en cendres des vingt (20) cultivars de dattes analysés, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 02 en annexes 02 et illustrées dans la figure 40. Les teneurs en cendres des vingt cultivars de dattes sont comprises entre $1,60 \pm 0,14$ %, pour les dattes du cultivar *Ouarglia* et $3,80 \pm 0,08$ %, pour les dattes du cultivar *Deglet Talmine* (Figure 40).

Sur les vingt cultivars de dattes analysés, le cultivar spécifique du Gourara, *Deglet Talmine*, suivi des trois (03) cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Mes'Udia*, *Timliha* et *Tinnaser*, affichent les teneurs en cendres les plus élevées, de $3,22 \pm 0,03$ (*Mes'Udia*) à $3,80 \pm 0,08$ % (*Deglet Talmine*).

En comparaison avec d'autres cultivars de dattes du patrimoine algérien de la région du Ziban, nos résultats corroborent avec les travaux menés par **Açourene et al. (2001)** et **Bedjaoui (2019)** qui citent respectivement des teneurs en cendres comprises de 1,10 (*Laoun-Bouarous*) à 3,69 % (*Bent Merague*) et des teneurs entre 0,7 (*Mokh El Begri*) et 3,88 % (*Tichtat*). De même qu'avec ceux cités par **Bousdira (2007)**, avec des teneurs en cendres de 1,5 (*Tawdant*) à 3 % (*Degla Beida*), sur des cultivars de dattes de la région du M'Zab.

Aussi, les résultats de la présente étude sont comparables à ceux rapportés par **Assirey (2015)**, avec des teneurs en cendres de 1,68 à 3,94 %, sur des cultivars de dattes saoudiennes. De même que ceux cités par **Hasnaoui et al. (2011)**, avec des teneurs de 1,88 à 3,46 %, sur des cultivars de dattes marocaines. Quant à **Abdul-Hamid et al. (2020)**, ils rapportent des teneurs en cendres plus élevées, de 5,23 à 6,20 %, sur des dattes d'Arabie Saoudite.

La teneur en cendres représente un indice de la teneur en minéraux et un critère de la qualité nutritionnelle des aliments (**Abdul-Hamid et al., 2020**). Elle dépend de divers facteurs, tels que : le facteur variétal, les conditions agro-climatiques et environnementales et les conduites culturales (**Al-Hooti et al., 1997**).

Il ressort de l'ensemble de l'analyse physico-chimique que :

- Les teneurs en eau des vingt cultivars de dattes sont comprises entre $14,28 \pm 0,89$ (*Tinnaser*) et $44,89 \pm 1,21$ % (*Cheikh M'Hamed*).
Les dattes précoces *Bamaklouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia* et *Ouarglia* ont particulièrement des TE les plus élevées, de $36,67 \pm 0,24$ à $44,89 \pm 1,21$ %. Également, le cultivar tardif *Ahartane*, avec une TE de $38,82 \pm 5,17$ % et le cultivar spécifique des oasis du Gourara : *Adâam Bullah* avec une TE de $37,78 \pm 0,39$ %. Quant aux cultivars : *Tinnaser*, *Aghamou* et *Aghares*, connus pour être de consistance « sèche », ils indiquent des TE les plus faibles, comprises entre $14,28 \pm 0,89$ et $16,85 \pm 0,35$ % ;
- Les pH des vingt cultivars de dattes sont compris entre $5,02 \pm 0,01$ (*Tinnaser*) et $7,31 \pm 0,01$ (*Bamaklouf*). Les dattes des cultivars *Tinnaser* et *Aghares* suivies du cultivar *Aghamou* indiquent les pH les plus acides ;
- Les acidités titrables sont comprises entre $0,17 \pm 0,02$ (*Adâam Bullah*) et $0,76 \pm 0,02$ % (*Aghamou*). Ce sont les dattes des cultivars *Tinnaser*, *Aghamou* et *Aghares* qui indiquent des AT les plus élevées, comprises entre $0,64 \pm 0,02$ et $0,76 \pm 0,02$ % ;
- Les teneurs en cendres sont comprises entre $1,60 \pm 0,14$ (*Ouarglia*) et $3,80 \pm 0,08$ % (*Deglet Talmine*). La majorité des cultivars indiquent des teneurs en cendres supérieures à 2 % ; à l'exception des trois cultivars : *Ouarglia*, *Tazarzeyt* et *Adekli*, avec des teneurs inférieures à 2 %.

IV.2.2. Caractérisation biochimique en métabolites primaires

IV.2.2.1. Teneurs en matières grasses (lipides)

Les teneurs en lipides des vingt (20) cultivars de dattes analysés, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 03 en annexes 02 et illustrées dans la figure 41. Les teneurs en lipides des vingt cultivars de dattes sont comprises entre $0,03 \pm 0,00$ %, pour les dattes du cultivar *Adâam Robb* et $0,44 \pm 0,02$ %, pour les dattes du cultivar *Mes'Udia* (Figure 41).

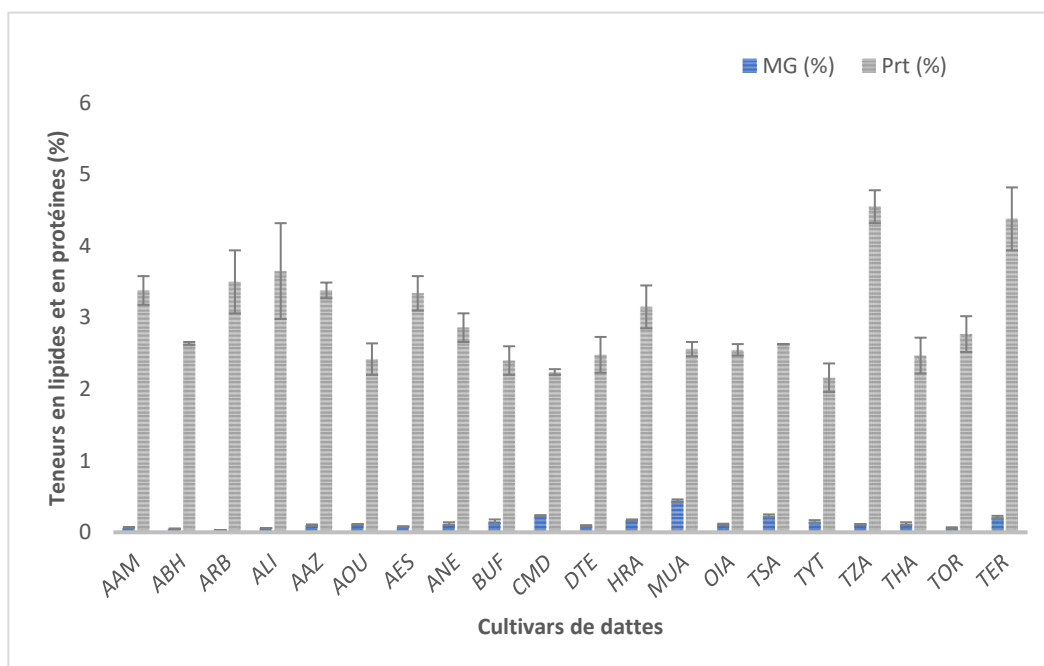


Figure 41 : Teneurs en lipides et en protéines des vingt cultivars de dattes.

AAM : Abdeslam ; *ABH* : Adâam Bullah ; *ARB* : Adâam Robb ; *ALI* : Adekli ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *BUF* : Bamaklouf ; *CMD* : Cheikh M'Hamed ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *MUD* : Mes'Udia ; *OIA* : Ouarglia ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *THA* : Timliha ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

MG : Matières Grasses (ou Lipides) ; **Prt** : Protéines.

En comparaison avec d'autres cultivars de dattes du patrimoine phœnicicole algérien, l'étude menée par **Djaoudene et al. (2019a)** indique des teneurs en lipides de $0,037$ (*Tazarzeit*) à $0,113$ % (*Delat*), sur des cultivars de dattes de la région du M'Zab.

Il est à noter que les dattes des cultivars : *Adâam Robb*, *Adâam Bullah*, *Tinnaqor* et *Adekli* présentent les teneurs les plus faibles, comprises entre $0,03 \pm 0,00$ % et $0,06 \pm 0,00$ %, ce qui concorde avec les résultats rapportés par **Al-Harrasi et al. (2014)** sur des dattes d'Oman et dont les teneurs sont respectivement de $0,03$ et $0,06$ %, pour les dattes des cultivars *Menhi* et *Handal*.

Bouhlali et al. (2017) et **Hasnaoui et al. (2011)** indiquent sur des cultivars de dattes marocaines, des teneurs en lipides respectivement comprises de 0,22 à 0,36 % et de 0,1 à 0,46 %. Quant à l'étude menée par **Assirey (2015)**, elle cite des teneurs de 0,12 à 0,72 % sur des cultivars de dattes de l'Arabie Saoudite.

Les dattes ne sont pas considérées comme une excellente source de lipides et ces composants sont principalement concentrés dans la peau et sont impliqués dans la protection du fruit que dans la contribution à la valeur nutritionnelle de la chair de la datte (**Ibrahim et al., 2021**). Ils joueraient un rôle physiologique dans la protection contre l'évaporation du fruit (**Reynes, 1997**).

IV.2.2.2. Teneurs en protéines

Les teneurs en protéines des vingt (20) cultivars de dattes analysés, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 03 en annexes 02 et sont illustrées dans la figure 41.

Les teneurs en protéines des vingt cultivars de dattes sont comprises entre $2,16 \pm 0,2$ %, pour les dattes du cultivar *Tazarzeyt* et $4,55 \pm 0,23$ %, pour les dattes du cultivar *Tgazza* (figure 41).

Sur les vingt cultivars de dattes analysés, huit cultivars de dattes ont des teneurs en protéines dépassant les 3 % et sont : *Tgazza*, *Tinnaser*, *Adekli*, *Adâam Robb*, *Abdeslam*, *Agaz*, *Aghares* et *Hmira*.

En comparaison avec d'autres cultivars de dattes du patrimoine phœnicicole algérien, **Açourene et al. (2014)** ont rapporté des teneurs en protéines comprises entre 0,85 (*Tati* et *Missouhi*) et 4,44 % (*Loulou*).

En comparaison avec d'autres cultivars de dattes du patrimoine phœnicicole mondial, les résultats de la présente étude sont comparables à ceux rapportés par **Assirey (2015)** et **Al-Harrasi et al. (2014)**, dont les teneurs en protéines sont respectivement comprises de 1,72 à 4,73 % et de 1,78 à 3,78 %, pour les cultivars de dattes d'Arabie Saoudite et de Sultanat d'Oman. Aussi, nos résultats sont assez proches de ceux indiqués par **Bouhlali et al. (2017)**, dont les teneurs sont comprises entre 2,20 et 3,45 %. Quant aux travaux de **Besbes et al. (2009)**, ils rapportent sur des cultivars de dattes tunisiennes des teneurs en protéines plus faibles, comprises entre 1,07 et 2,43 %.

Les dattes ne sont pas une grande source de protéines, mais elles contiennent la majorité des acides aminés essentiels. Il est établi que la composition en acides aminés et en protéines des dattes varie selon les cultivars, les stades de maturation et les conduites culturales et de fertilisation des sols (**Al-Farsi and Lee 2008a ; Sarraf et al., 2021**).

IV.2.2.3. Teneurs en sucres totaux

Les teneurs en sucres totaux des vingt (20) cultivars de dattes analysés, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 03 en annexes 02 et sont illustrées dans la figure 42.

Les teneurs en sucres totaux des vingt cultivars de dattes sont comprises entre $63,09 \pm 0,96$ %, pour les dattes du cultivar *Adâam Robb* et $87,67 \pm 1,26$ %, pour les dattes du cultivar *Tinnaqor* (Figure 42).

Dans les vingt cultivars de dattes analysés, dix-huit (18) cultivars ont des teneurs en ST dépassant les 70 %, à l'exception des deux cultivars endémiques de la région du Gourara : *Adâam Robb* et *Adâam Bullah* qui affichent les teneurs les plus faibles, respectivement de $63,09 \pm 0,96$ % et de $65,84 \pm 0,85$ %.

En comparaison avec d'autres cultivars de dattes du patrimoine algérien, les résultats de la présente étude corroborent avec ceux rapportés par **Allam et al. (2021)**, qui indiquent des teneurs en ST comprises entre 62,46 (*Bouarous*) et 88,13 % (*Tassebaït*). **Açourene et al. (2014)** rapportent des teneurs comprises entre 55,27 (*Tinakor*) et 92,04 % (*Tati*). Quant à l'étude menée par **Bedjaoui (2019)**, elle mentionne des teneurs entre 46,5 (*Kseba*) et 75,9 % (*Sokria*). **Bousdira (2007)** cite des teneurs en ST de 53 (*Addela*) à 93 % (*Timjuhart*).

Aussi, les résultats de la présente étude concordent avec ceux rapportés dans de nombreuses études sur des cultivars de dattes du patrimoine phœnicicole mondial et qui indiquent des teneurs comprises entre 64,55 et 86,66 % (**Bouhlali et al., 2017 ; Abdulrahman et al., 2020**). En outre, **Hasnaoui et al. (2011)** évoquent des teneurs en ST de 54,79 à 75,56 %, sur des cultivars de dattes du Maroc. Quant aux travaux de **Qadri et al. (2016)** et ceux de **Metwally et al. (2019)**, ils rapportent des teneurs plus faibles, comprises entre 41,23 et 66,03 % et entre 61,0 et 67,52 %, respectivement sur des cultivars de dattes du Pakistan et de l'Égypte. **Assirey et al. (2015)** citent des teneurs en ST comprises entre 71,2 et 81,4 % sur des cultivars de dattes de l'Arabie Saoudite.

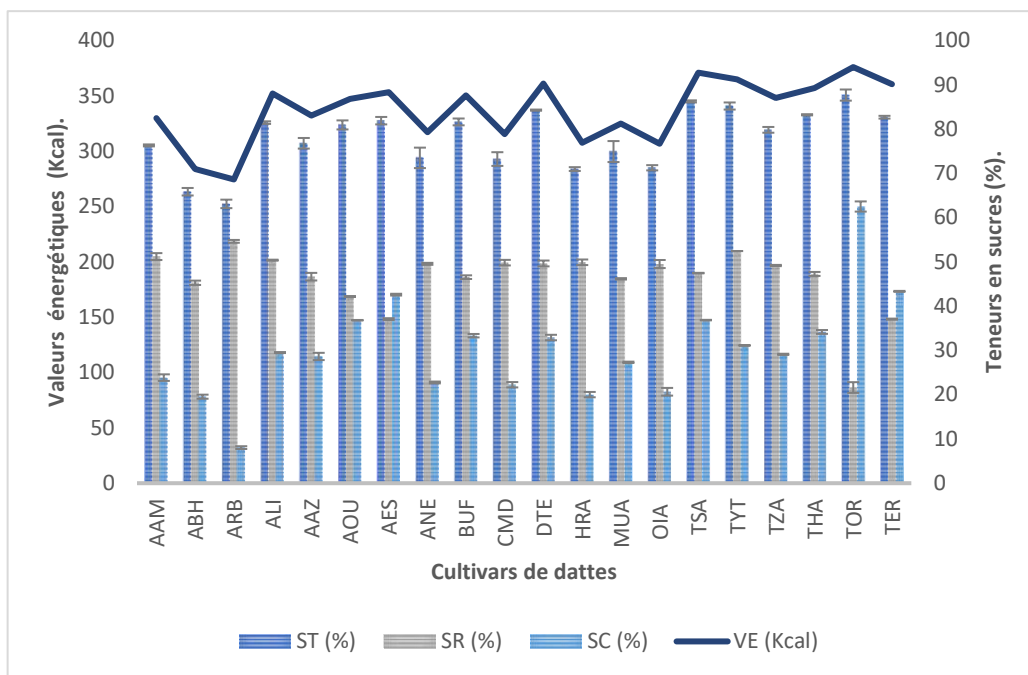


Figure 42 : Teneurs en sucres totaux, en sucres réducteurs, en saccharose et valeurs énergétiques des vingt cultivars de dattes.

AAM : Abdeslam ; *ABH* : Adâam Bullah ; *ARB* : Adâam Robb ; *ALI* : Adekli ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *BUF* : Bamaklouf ; *CMD* : Cheikh M'Hamed ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *MUD* : Mes'Udia ; *OIA* : Ouarglia ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *THA* : Timliha ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

ST : Sucres totaux ; SR : Sucres Réducteurs ; SC : Saccharose ; VE : Valeur énergétique.

IV.2.2.4. Teneurs en sucres réducteurs

Les teneurs en sucres réducteurs des vingt (20) cultivars de dattes analysés, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 03 en annexes 02 et illustrées dans la figure 42.

Les teneurs en sucres réducteurs des vingt (20) cultivars de dattes sont comprises entre $21,61 \pm 1,21$ %, pour les dattes du cultivar *Tinnaqor* et $54,63 \pm 0,32$ %, pour les dattes du cultivar *Adâam Robb* (Figure 42).

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine algérien, nos résultats contrastent avec ceux rapportés par **Allam et al. (2021)** et **Açourene et al. (2014)** qui évoquent respectivement des teneurs en SR de 24,24 (*Tadmami*) à 84,88 % (*Tassebaït*) et des teneurs de 18,54 (*Tinakor*) à 91,39 % (*Tati*). **Bousdira (2007)** cite des teneurs en SR de 50 (*Azerza*) à 93 % (*Tafiziwin*).

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine mondial, **Assirey et al. (2015)** indiquent des teneurs en SR plus élevées, comprises entre 68,2 et 78,3 %. Quant aux travaux de **Qadri**

et al. (2016) et ceux de *Metwally et al.* (2019), ils citent respectivement des teneurs en SR comprises entre 31,93 et 56,93 % et entre 27,79 et 31,57 %.

IV.2.2.5. Teneurs en saccharose

Les teneurs en saccharose des vingt (20) cultivars de dattes analysés, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 03 (Annexes 02) et illustrées dans la figure 42.

Les teneurs en saccharose des vingt cultivars de dattes sont comprises entre $8,04 \pm 0,31$ %, pour les dattes du cultivar *Adâam Robb* et $62,75 \pm 1,15$ %, pour les dattes du cultivar *Tinnaqor* (Figure 42).

Les dattes des deux cultivars, *Adâam Robb* et *Adâam Bullah*, affichent les teneurs les plus faibles en SC, alors que les dattes des cultivars *Tinnaqor*, *Tinnaser* et *Aghares* affichent les teneurs les plus élevées (Figure 42).

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine phœnicicole algérien, nos résultats contrastent avec ceux rapportés par *Allam et al.* (2021) et *Açourene et al.* (2014) qui évoquent respectivement des teneurs en SC comprises entre 0 et 42,87 % (*Tinnaser*) et des teneurs comprises entre 0 et 48,86 % (*Aabad*). *Bousdira* (2007) cite des teneurs en SC de 0 à 24 % (*Timjuhart*).

Il y a lieu de souligner que *Allam et al.* (2021) citent pour le cultivar *Tinnaser* une teneur en SC de 42,87 %, comparable à celle trouvée dans notre présente étude, pour le même cultivar *Tinnaser* de $43,33 \pm 0,11$ %.

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine phœnicicole mondial, *Metwally et al.* (2019) indiquent des teneurs en SC comprises entre 33,03 et 35,99 %. Quant à *Assirey et al.* (2015), ils indiquent des teneurs en SC beaucoup plus faibles, comprises entre 2,9 et 5,1 %.

Dans l'ensemble, **par rapport à la composition en sucres**, il y a lieu de noter que les deux cultivars endémiques du Gourara : *Adâam Robb* et *Adâam Bullah*, affichent les teneurs en ST les plus faibles, respectivement de $63,09 \pm 0,96$ et $65,84 \pm 0,85$ %. Également, des teneurs en SC les plus faibles, respectivement de $8,04 \pm 0,31$ et $19,54 \pm 0,46$ %.

En outre, sur les 20 cultivars de dattes analysés, seize cultivars (16) dont les consistances sont molles, demi-molles et demi-sèches ont des teneurs en SR qui dépassent les 45 %, comprises entre $45,27 \pm 0,49$ (*Adâam Bullah*) et $54,63 \pm 0,32$ % (*Adâam Robb*).

Quant aux trois cultivars habituellement connus pour leur consistance « sèche » et communs aux trois régions phœnicicoles, *Tinnaqor* suivi des cultivars *Tinnaser* et *Aghares*, ils enregistrent les teneurs les plus élevées en SC, respectivement de $62,75 \pm 1,15$ % ; $43,33 \pm 0,11$ % et $42,59 \pm 0,20$ %.

Par ailleurs, le ratio SR/SC détermine la consistance des dattes. Plus le ratio est élevé, plus les dattes sont molles et riches en SR (**Tassoult et al., 2021**). De nombreux travaux stipulent que les dattes molles à TE élevée sont plus riches en sucres réducteurs, alors que les dattes sèches à faible TE sont plus riches en saccharose (**Açourene et al., 2001** ; **Al-Farsi et al., 2007** ; **Hasnaoui et al., 2011** ; **Tassoult et al., 2021**).

Dans notre présente étude, il y a lieu de noter que les deux cultivars de consistance « sèche » : *Aghamou* et *Deglet Talmine* indiquent des teneurs en SR élevées, respectivement de $42,17 \pm 0,06$ % et de $49,64 \pm 0,66$ %, par rapport au saccharose. En effet, de nombreux travaux ont mis l'accent sur le fait que certains cultivars de dattes, dont la TE ne dépasse pas les 18 %, ont des teneurs en SR élevées, comme cela a été démontré par **Bedjaoui (2019)** dans les dattes des cultivars *Kahlay* et *Sersara*, avec des teneurs en SR respectivement de 69,16 % et de 67,44 %. Le même constat a été démontré par **Açourene et al. (2001)**, avec des TE ne dépassant pas les 18 % et des teneurs en SR élevées, de 44,37 % et de 45,83 %, respectivement pour les dattes des cultivars *Feliacha* et *Gasbaya*. De même que l'étude menée par **Khan et al. (2008)** sur des cultivars de dattes d'Iran, qui évoque des TE ne dépassant pas les 18 % et affichant des teneurs en SR élevées, respectivement comprises entre 77 % et 79,2 % dans les cultivars *Janshoor* et *Begun*.

Par ailleurs, à l'inverse, certains cultivars de dattes, connus habituellement pour leur consistance « demi-molle » sont des dattes à saccharose, comme c'est le cas du cultivar *Deglet Nour* et *Aziza*, avec des teneurs en SC respectivement de 38,64 et 47,6 % (**Hasnaoui et al., 2011**).

IV.2.2.6. Valeurs énergétiques

Les glucides contenus dans les dattes fournissent la charge calorique essentielle dans le régime alimentaire humain (**Abdul-Hamid et al., 2020**).

Les valeurs énergétiques des vingt (20) cultivars de dattes analysés sont conciliées et illustrées dans le tableau 03 (Annexes 02) et figure 42.

Les valeurs énergétiques des vingt cultivars de dattes sont comprises entre 274,43 kcal/100 g, pour les dattes du cultivar *Adâam Robb* et 375,98 kcal/100 g, pour les dattes du cultivar *Tinnaqor* (Figure 42).

Les résultats de la présente étude concordent avec ceux rapportés par **Bouhali et al. (2017)** sur des cultivars de dattes marocaines et dont les valeurs énergétiques sont comprises entre 288,37 kcal/100 g et 358,32 kcal/100 g. Sur des cultivars de dattes d'Arabie Saoudite, **Abdul-Hamid et al. (2020)** citent des valeurs de 254 kcal/100g et 318 kcal/100g. Quant à **Al-Harrasi et al. (2014)**, sur des cultivars de dattes du Sultanat d'Oman, ils citent des valeurs comprises entre 307,70 et 345,29 kcal/100g.

Dans l'ensemble, la caractérisation biochimique des vingt (20) cultivars de dattes a démontré que :

- Les teneurs en lipides et en protéines sont faibles, respectivement de $0,03 \pm 0,00$ (*Adâam Robb*) à $0,44 \pm 0,02$ % (*Mes'Udia*) et de $2,16 \pm 0,20$ (*Tazarzeyt*) à $4,55 \pm 0,23$ % (*Tgazza*) ;
- Des teneurs en sucres totaux comprises entre $63,09 \pm 0,96$ (*Adâam Robb*) et $87,67 \pm 1,26$ % (*Tinnaqor*) ;
- Des teneurs en sucres réducteurs comprises entre $21,61 \pm 1,21$ (*Tinnaqor*) et $54,63 \pm 0,32$ % (*Adâam Robb*) ;
- Des teneurs en saccharose comprises entre $8,04 \pm 0,31$ (*Adâam Robb*) et $62,75 \pm 1,15$ % (*Tinnaqor*). Et des valeurs énergétiques comprises entre 274,43 (*Adâam Robb*) et 375,98 kcal/100 g (*Tinnaqor*).

Il ressort de la caractérisation biochimique que les cultivars de dattes analysés offrent un substrat de choix, particulièrement à travers leur richesse en sucres. Sur les vingt (20) cultivars de dattes analysés, dix-huit (18) cultivars ont des teneurs en sucres totaux dépassant les 70 %. Ainsi, les trois régions

phœnicicoles Ti, To et Go peuvent offrir un potentiel à valoriser et à promouvoir avec les outils technologiques et biotechnologiques pour la production de diverses substances à haute valeur ajoutée.

IV.2.3. Indice de qualité « R »

En fonction du rapport **sucres totaux/eau**, il est possible de classer les dattes en trois catégories en fonction de leur texture (molle, demi-molle, sèche). Selon **Munier (1961)**, ce rapport, connu sous le nom d'indice de qualité ou de dureté, joue un rôle crucial dans la détermination du degré de stabilité de la datte et dans l'évaluation de son aptitude à la conservation.

Les dattes dont l'indice « **R** » est inférieur à 2 sont dans la classe des dattes à consistance « molle ». Les dattes dont l'indice « **R** » est assez proche de la valeur « 2 » sont considérées comme « demi-molles » et les dattes dont l'indice « **R** » est assez proche de « 3,5 » sont considérées comme « demi-sèches ». Quant aux dattes dont l'indice « **R** » est supérieur à 3,5, elles sont dans la classe des dattes à consistance « sèche » (Tableau 18). La figure 43 illustre la classification des vingt (20) cultivars de dattes dans les classes de consistance selon l'indice « **R** ».

Les dattes des cultivars communs aux trois régions phœnicicoles et précoces : *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia* et *Ouarglia*, connues pour leur précocité, sont classées dans la classe des dattes à consistance « molle ». De même que les dattes du cultivar tardif *Ahartane* et celles du cultivar spécifique du Gourara *Adâam Bullah* (Figure 43).

Quant aux dattes des cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Tinnasser*, *Aghamou* et *Aghares*, elles sont dans la classe des dattes à consistance « sèche », comme cela est habituellement constaté déjà au toucher. De même que les dattes du cultivar *Deglet Talmine*, endémique des oasis du Gourara et celles du cultivar *Tinnaqor* (Figure 43), elles sont dans la classe de dattes à consistance « sèche ».

Les dattes des neuf autres cultivars, *Hmira*, *Adekli*, *Agaz*, *Taqerbucht Safra*, *Tazarzeyt*, *Tgazza*, *Adâam Robb*, *Timliha* et *Abdeslam*, elles sont dans la classe intermédiaire, entre demi-molles et demi-sèches (Figure 43).

Tableau 18 : Indices de qualité « R » des vingt cultivars de dattes.

Paramètres	TE (%)	ST (%)	Indice « R »
Cultivars			
<i>Abdeslam</i>	21,91±0,63	76,30±0,30	3,48
<i>Adâam Bullah</i>	37,78±0,39	65,84±0,85	1,74
<i>Adâam Robb</i>	19,12±0,23	63,09±0,96	3,30
<i>Adekli</i>	34,56±1,93	81,45±0,29	2,36
<i>Agaz</i>	32,48±0,09	76,78±1,20	2,36
<i>Aghamou</i>	16,55±1,53	80,93±1,02	4,89
<i>Aghares</i>	16,85±0,35	81,89±0,84	4,86
<i>Ahartane</i>	38,82±5,17	73,49±2,31	1,89
<i>Bamakhlouf</i>	42,55±1,60	81,61±0,77	1,92
<i>Cheikh M'Hamed</i>	44,89±1,21	73,22±1,55	1,63
<i>Deglet Talmine</i>	19,68±1,51	84,27±0,13	4,28
<i>Hmira</i>	33,53±1,90	70,96±0,43	2,12
<i>Mes'udia</i>	37,79±0,10	74,91±2,37	1,98
<i>Ouarglia</i>	36,67±0,24	71,25±0,59	1,94
<i>Taqerbucht Safra</i>	30,24±1,07	86,24±0,24	2,85
<i>Tazarzeyt</i>	29,08±0,52	85,20±0,80	2,93
<i>Tgazza</i>	25,23±3,57	79,82±0,65	3,16
<i>Timliha</i>	24,89±3,36	83,22±0,13	3,34
<i>Tinnaqor</i>	19,04±0,50	87,67±1,26	4,60

TE : Teneur en eau ; ST : Sucres Totaux.

R = sucres totaux/teneur en eau.

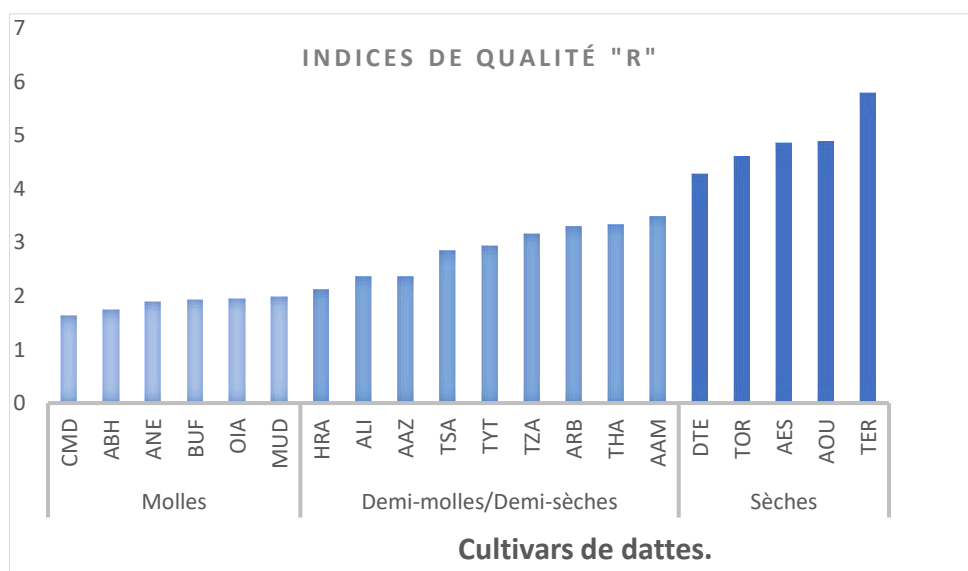


Figure 43 : Classification des vingt cultivars de dattes selon leur consistance, définie par l'indice de qualité « R ».

AAM : Abdeslam ; *ABH* : Adâam Bullah ; *ARB* : Adâam Robb ; *ALI* : Adekli ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *BUF* : Bamakhlouf ; *CMD* : Cheikh M'Hamed ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *MUD* : Mes'Udia ; *OIA* : Ouarglia ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *THA* : Timliha ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser

IV.3. Evaluation de la qualité des dattes

Les travaux de **Meligi and Sourial (1982)** et ceux de **Mohammed *et al.* (1983)** ont défini sur des dattes trois caractères de qualité « Bon, Mauvais et Acceptable », en se référant à des paramètres biométriques, physico-chimiques et biochimiques. L'analyse des vingt (20) cultivars de dattes selon les critères de qualité est reportée dans le tableau 19.

Il ressort que sur les vingt cultivars de dattes analysés, quatorze (14) cultivars de dattes ont des caractéristiques morphométriques intéressantes : poids de la datte et poids de la pulpe, et sont classés dans la classe de « bon caractère » avec des poids de dattes et de pulpes, respectivement supérieurs à 8 g et 7 g. Il s'agit des dattes des quatre (04) cultivars spécifiques du Gourara : *Deglet Talmine*, *Abdeslam*, *Adâam Bullah*, *Adâam Robb*. Également, du cultivar *Agaz* spécifique des oasis du Tidikelt et des cultivars de dattes : *Adekli*, *Ahartane*, *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia*, *Ouarglia*, *Taqerbucht Safra*, *Tazarzeyt* et *Tgazza*, communs aux trois régions phœnicicoles (Tableau 19).

Quant aux quatre cultivars de dattes, communs aux trois régions phœnicicoles : *Aghamou*, *Aghares*, *Timliha* et *Tinnaqor*, ils sont classés dans la classe de « caractère acceptable », avec des poids de dattes et de pulpes, respectivement compris de $6,78 \pm 1,14$ (*Aghamou*) à $7,49 \pm 0,66$ g (*Tinnaqor*) et de $5,94 \pm 1,03$ (*Aghamou*) à $6,70 \pm 0,61$ g (*Tinnaqor*) (Tableau 19).

Les deux cultivars de dattes, communs aux trois régions phœnicicoles : *Hmira* et *Tinnaser* sont les moins intéressants par rapport aux caractéristiques biométriques, avec des poids de dattes et de pulpes, respectivement inférieurs à 6 g et 5 g, leur conférant un « mauvais caractère » (Tableau 19).

Tableau 19 : Qualité des vingt cultivars de dattes selon **Meligi and Sourial (1982)** et **Mohammed *et al.* (1983)**

Paramètres Cultivars	PD (g)	PP (g)	TE (%)	pH	ST (%)
<i>Abdeslam</i>	11,84 Elevé et B	10,92 Elevé et B	21,91 Moyenne et B	6,65 B	76,30 Elevé et B
<i>Adâam Bullah</i>	16,72 Elevé et B	15,32 Elevé et B	37,78 Très élevée et M	6,67 B	65,84 Moyen et A
<i>Adâam Robb</i>	10,35 Elevé et B	9,65 Elevé et B	19,12 Moyenne et B	6,45 B	63,09 Moyen et A
<i>Adekli</i>	15,60 Elevé et B	14,08 Elevé et B	34,56 Très élevée et M	7,23 B	81,45 Elevé et B
<i>Agaz</i>	18,65 Elevé et B	16,92 Elevé et B	32,48 Très élevée et M	7,23 B	76,78 Elevé et B
<i>Aghamou</i>	6,78 Moyen et A	5,94 Moyen et A	16,55 Moyenne et B	5,41 A	80,93 Elevé et B
<i>Aghares</i>	6,91 Moyen et A	5,99 Moyen et A	16,85 Moyenne et B	5,28 Acide et M	81,89 Elevé et B
<i>Ahartane</i>	12,18 Elevé et B	10,86 Elevé et B	38,82 Très élevée et M	6,73 B	73,49 Elevé et B
<i>Bamakhlouf</i>	15,48 Elevé et B	13,89 Elevé et B	42,55 Très élevée et M	7,31 B	81,61 Elevé et B
<i>Cheikh M'Hamed</i>	9,40 Elevé et B	8,25 Elevé et B	44,89 Très élevée et M	6,40 B	73,22 Elevé et B
<i>Deglet Talmine</i>	21,35 Elevé et B	19,96 Elevé et B	19,68 Moyenne et B	6,03 B	84,27 Elevé et B
<i>Hmira</i>	5,69 Faible et M	4,88 Faible et M	33,53 Très élevée et M	6,42 B	70,96 Elevé et B
<i>Mes 'Udia</i>	16,46 Elevé et B	15,19 Elevé et B	37,79 Très élevée et M	6,83 B	74,91 Elevé et B
<i>Ouarglia</i>	12,99 Elevé et B	11,69 Elevé et B	36,67 Très élevée et M	6,88 B	71,25 Elevé et B
<i>Taqerbucht Safra</i>	12,90 Elevé et B	11,61 Elevé et B	30,24 Elevée et A	6,29 B	86,24 Elevé et B
<i>Tazarzeyt</i>	8,56 Elevé et B	7,36 Elevé et B	29,08 Elevée et A	5,85 B	85,20 Elevé et B
<i>Tgazza</i>	10,78 Elevé et B	9,49 Elevé et B	25,23 Elevée et A	6,61 B	79,82 Elevé et B
<i>Timliha</i>	7,17 Moyen et A	6,14 Moyen et A	24,89 Elevée et A	6,45 B	83,22 Elevé et B
<i>Tinnaqor</i>	7,49 Moyen et A	6,70 Moyen et A	19,04 Moyenne et B	5,81 A	87,67 Elevé et B
<i>Tinnaser</i>	5,16 Faible et M	4,38 Faible et M	14,28 Moyenne et B	5,02 Acide et M	82,67 Elevé et B

PD : Poids Datte ; PP : Poids Pulpe ; TE : Teneurs Eau ; ST : Sucres Totaux.

B : Bon ; A : Acceptable et M : Mauvais.

Le paramètre teneur en eau (TE) est un facteur déterminant et de choix pour les opérateurs industriels, du fait que ce paramètre nous renseigne sur les aptitudes de la dattes à la conservation. Par rapport à la TE, sur les vingt (20) cultivars de dattes analysés, sept cultivars (07) cultivars seulement sont dans la classe de « bon caractère », avec des TE comprises entre 10 et 24 %. Il s'agit des trois cultivars endémiques du Gourara : *Abdeslam*, *Adâam Robb* et le cultivar *Deglet Talmine* et des quatre cultivars : *Aghares*, *Aghamou*, *Tinnaqor* et *Tinnaser*, communs aux trois régions phœnicicoles. Quant aux cultivars *Taqerbucht Safra*, *Tazarzeyt*, *Tgazza* et *Timliha*, communs aux trois régions phœnicicoles, ils ont des teneurs en eau intermédiaires, comprises entre 25 et 30 %, leur conférant un « caractère acceptable ». Cependant, les dattes du cultivar *Adâam Bullah*, endémique des oasis du Gourara et celles du cultivar *Agaz*, endémique des oasis du Tidikelt, ont des TE supérieures à 30 %, leur conférant la classe de « mauvais caractère », comme c'est le cas également des dattes des cultivars *Adekli*, *Ahartane*, *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Hmira*, *Mes'Udia* et *Ouarglia*, communs aux trois régions phœnicicoles (Tableau 19).

Par rapport au pH, il ressort que, sur les vingt cultivars de dattes analysés, la majorité des cultivars (16 cultivars) ont des dattes avec des pH supérieurs à 5,8 leur conférant la classe de « bon caractère ». Les dattes des cultivars *Aghares* et *Tinnaser*, connus pour être habituellement de consistance sèche, ont des pH acides leur conférant la classe de « mauvais caractère » (Tableau 19). Les dattes du cultivar *Aghamou*, également de consistance sèche, indiquent un pH légèrement acide de 5,41 leur conférant la classe de « caractère acceptable ». De même que les dattes du cultivar *Tinnaqor*, qui affichent un pH de 5,81 leur conférant la classe de « caractère acceptable ».

Par rapport aux teneurs en sucres totaux, sur les vingt cultivars de dattes analysés, dix-huit (18) cultivars ont des teneurs en sucres comprises entre $70,96 \pm 0,43$ (*Hmira*) et $87,67 \pm 1,26$ % (*Tinnaqor*), dépassant ainsi les 70 %, ce qui leur confère la classe de « bon caractère ». Quant aux dattes des deux cultivars : *Adâam Bullah* et *Adâam Robb*, spécifiques des oasis du Gourara, elles indiquent des teneurs en sucres les moins élevées, respectivement de $65,84 \pm 0,85$ % et $63,09 \pm 0,96$ % ; leur conférant ainsi la classe de « caractère acceptable » (Tableau 19).

Dans l'ensemble, il ressort de l'évaluation de la qualité des dattes, selon les critères établis par **Meligi and Sourial (1982)** et ceux de **Mohammed et al. (1983)**, que les cinq (05) cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia*, *Ouarglia* et *Ahartane*, de même que le cultivar *Agaz* spécifique des oasis du Tidikelt, ont de bons caractères à l'exception de leurs TE qui dépassent les 30 %, ce qui leur confère le caractère « mauvais » par rapport à la difficulté de leur conservation.

Il y a lieu de souligner que les quatre cultivars de dattes précoces : *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia* et *Ouarglia*, sont représentés dans les jardins par quelques pieds et sont les plus appréciés pour leurs qualités organoleptiques (couleurs, goût) par les populations oasiennes. On assiste en juillet à des petits points de vente informels dans les marchés locaux d'Adrar à des prix élevés, arrivant à 850 DA/kg. Les dattes de ces cultivars sont généralement consommées fraîches, du fait de leur consistance molle, qui leur confère une aptitude à la conservation courte et assez difficile. Contrairement aux dattes de consistance « sèche », particulièrement les dattes des cultivars *Tinnaser* et *Aghamou*, elles font l'objet d'un troc frontalier avec les pays du Sahel ; probablement du fait de leur consistance sèche, n'induisant pas de grandes difficultés de conservation et de stockage.

Par ailleurs, il est à noter que seuls les cultivars communément de consistance sèche et communs aux trois régions phœnicicoles : *Aghamou*, *Aghares* et *Tinnaser* présentent des pH acides leur conférant la qualité de « mauvais caractère ».

Par rapport aux teneurs en sucres totaux, tous les cultivars analysés présentent des teneurs en sucres totaux supérieures à 70 %, leur conférant ainsi la qualité de « bon caractère », à l'exception de deux cultivars de dattes spécifiques des oasis du Gourara : *Adâam Bullah* et *Adâam Robb*, dont les teneurs sont comprises entre 60 et 70 %, leur attribuant la qualité de « caractère acceptable ».

Il y a lieu de mentionner que les variations dans la composition physico-chimique et biochimique des dattes impliquent plusieurs facteurs, tels que : le facteur variétal, les stades de maturation, les conditions du sol, les conduites culturales, les températures et l'humidité (**Al Hooti et al., 1997 ; Hasnaoui et al., 2011 ; Lemine et al., 2014 ; Ghnimi et al., 2018 ; Bentrhad and Hamida-Ferhat, 2020 ; Sarraf et al., 2021**).

En outre, les teneurs en sucres totaux dépendraient d'une multitude de paramètres, tels que le facteur variétal, la consistance, les stades de maturation du fruit et également des aires géographiques,

des conduites culturelles et des conditions de stockage (**Rastegar et al., 2012 ; Qadri et al., 2016 ; Bentradi and Hamida-Ferhat, 2020 ; Rambabu et al., 2020**).

Il est également important de souligner que, dans les dattes à consistance « molle », l'enzyme « invertase » présente une activité intense, avec une cinétique rapide induisant l'hydrolyse du saccharose en sucres réducteurs (**Diboun et al., 2015**). En effet, la teneur en eau des dattes est un facteur important de l'activité de cette enzyme et les variétés à forte activité en invertase sont généralement de la catégorie des dattes à consistance « molle », comme rapporté par **Rastegar et al. (2012)**. Les conditions de stockage, telles que la durée et les températures de stockage, ont un impact sur l'activité de cette enzyme (**Diboun et al., 2015**).

L'évaluation de la qualité des dattes, selon les critères établis par **Meligi and Sourial (1982)** et ceux de **Mohammed et al. (1983)**, a permis de relever que les deux cultivars : *Deglet Talmine* et *Abdeslam*, spécifiques des oasis du Gourara, affichent de bons caractères par rapport à tous les paramètres analysés. Il y a lieu de rappeler que le cultivar *Deglet Talmine* est très intéressant par son pourcentage de pulpe le plus élevé, de 94,99 %.

Aussi, le cultivar précoce *Agaz* spécifique de la région du Tidikelt ainsi que les cultivars précoces communs aux trois régions phœnicicoles : *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia* et *Ouarglia* se démarquent par leurs qualités organoleptiques intéressantes : goûts et couleurs et leurs caractères biophysiques et biochimiques, à l'exception de leurs teneurs en eau élevées qu'il est possible de maîtriser par les techniques de stockage et de conservation les plus adéquates. De même que le cultivar tardif *Ahartane*, commun aux trois régions phœnicicoles.

Par ailleurs, sur les vingt (20) cultivars de dattes analysés dans la présente étude, dix-huit (18) cultivars ont des teneurs en sucres totaux dépassant les 70 %. Ainsi, les trois régions phœnicicoles Tidikelt, Touat et Gourara ont un potentiel de cultivars de dattes à valoriser et à promouvoir avec les outils technologiques et biotechnologiques.

IV.4. Caractérisation en composés phénoliques

La caractérisation en composés phénoliques a porté sur la détermination des teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux et en tanins condensés dans différentes mixtures d'extraction.

IV.4.1. Teneurs en composés phénoliques dans la mixture ternaire

Selon **Tabart et al. (2007)**, les mixtures binaires : hydro-éthanolique, hydro-méthanolique ou hydro-acétonique permettent une meilleure extraction des polyphénols. La plupart des travaux sur l'extraction et la caractérisation des composés phénoliques des dattes ont impliqué le plus souvent la mixture binaire hydro-méthanolique (Tableau 20).

Dans notre présente étude, notre choix s'est porté sur un système de solvants avec une mixture ternaire impliquant trois solvants : MeOH-acétone-eau, selon **Liyana-Pathirana and Shahidi (2006)**. Cette mixture ternaire n'a jamais fait l'objet d'études pour l'extraction des polyphénols du palmier dattier, ce qui explique l'orientation de notre choix.

IV.4.1.1. Teneurs en polyphénols totaux

Les teneurs en polyphénols totaux des vingt (20) extraits ternaires, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 04 (Annexes 02) et illustrées en figure 44. Les teneurs en polyphénols totaux des 20 extraits ternaires sont comprises entre $97,75 \pm 12,10$ mg EAG/100 g MS, pour les dattes du cultivar *Ahartane* et $421,15 \pm 1,53$ mg EAG/100 g MS, pour les dattes du cultivar *Aghamou* (Tableau 04 en Annexes 02 et Figure 44).

En comparaison avec d'autres cultivars de dattes du patrimoine algérien, **Louaileche et al. (2015)** mentionnent des teneurs en PT de 169,18 (*Beid Lahmam*) à 381,76 (*Ourrous*) mg EAG/100 g MS, sur des extraits aqueux issus de cultivars de dattes de la région de Ghardaïa. **Benmeddour et al. (2013)** rapportent sur des extraits hydro-acétoniques, issus de cultivars de dattes de la région de Biskra, des teneurs plus élevées comprises entre 225,57 (*Deglet Noor*) et 954,59 (*Ghazi*) mg EAG/100 g MS. **Ghiaba et al. (2012)** indiquent, sur des extraits hydro-méthanoliques, issus de cultivars de dattes de la région de Ouargla, des teneurs en PT faibles comprises entre 41,80 (*Tamjhourt*) et 84,73 mg EAG/100 g MS (*Degla Beida*). Quant à **Mansouri et al. (2005)** et selon leur étude sur des extraits hydro-méthanoliques, issus de cultivars de dattes de la région de Ghardaïa, ils rapportent des teneurs en PT beaucoup plus faibles, comprises entre 2,49 (*Tazizaout*) et 8,36 (*Tantbouchte*) mg EAG/100 g MF.

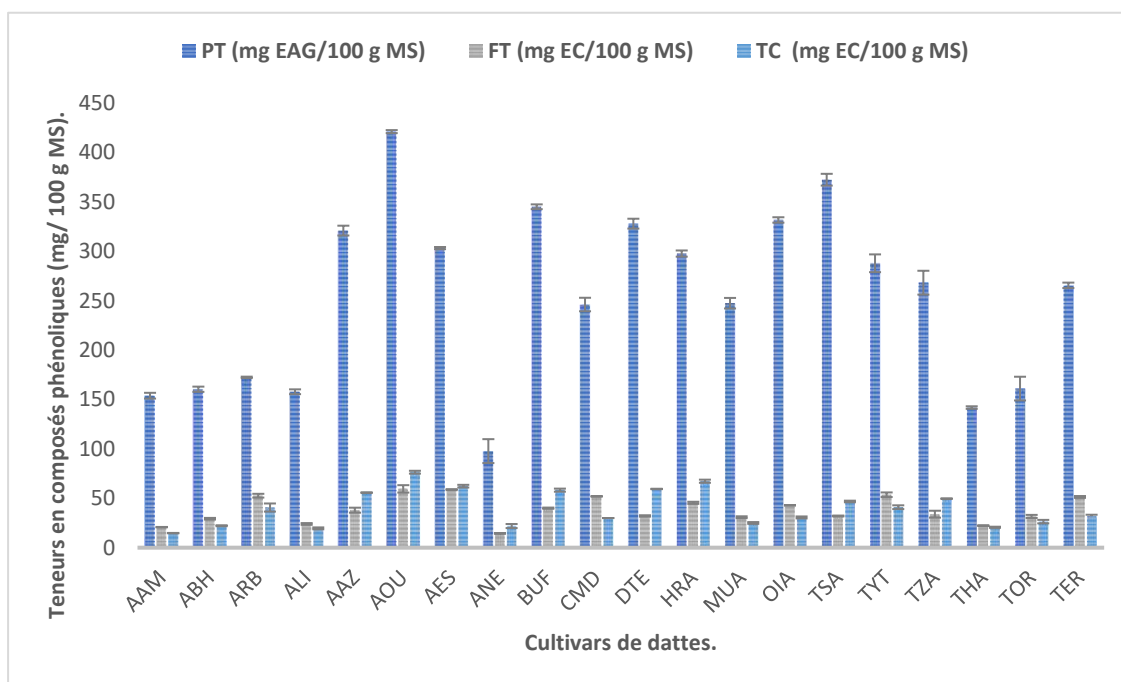


Figure 44 : Teneurs en composés phénoliques : PT, FT et TC des vingt extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire.

AAM : Abdeslam ; *ABH* : Adâam Bullah ; *ARB* : Adâam Robb ; *ALI* : Adekli ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *BUF* : Bamaklouf ; *CMD* : Cheikh M'Hamed ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *MUD* : Mes'Udia ; *OIA* : Ouarglia ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *THA* : Timliha ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

PT : Polyphénols totaux ; FT : Flavonoïdes totaux ; TC : Tanins Condensés.

Aussi, l'étude menée par **Ali Haimoud (2016)** rapporte, sur des extraits méthanoliques issus de cultivars de dattes de la région de El-Oued, des teneurs en PT très faibles de 2,6 (*Biraya*) à 6,53 (*Ali Ourached*) EAG/100 g MS.

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine phœnicicole mondial, nos résultats sont comparables à ceux mentionnés par **Alahyane et al. (2019)** sur des extraits issus de cultivars de dattes des oasis marocaines de la région de Drâa et dont les teneurs en PT sont comprises entre 101,06 et 478,37 mg EAG/100 g MS. Ils sont assez comparables à ceux trouvés, sur des extraits issus des cultivars de dattes iraqiennes, avec des teneurs en PT comprises entre 147,6 et 475,5 mg EAG/100 g (**Matloob and Balakita, 2016**).

D'autres études indiquent des teneurs en PT plus élevées, en comparaison avec les résultats de la présente étude, telles que l'étude conduite par **Bouhlali et al. (2017)** qui indique, sur des extraits issus des cultivars de dattes marocaines, des teneurs en PT comprises entre 331,86 et 537,07 mg EAG/100 g MS. **Besbes et al. (2009)** citent également des teneurs en PT entre 280,6 et 681,8 mg

EAG/100 g MS, sur des extraits issus de cultivars de dattes tunisiennes. De même que l'étude menée par **Lemine et al. (2014)**, qui indique des teneurs élevées, de 405,5 à 661,1 mg EAG/100 g MS, dans des extraits issus de dattes mauritaniennes.

D'autres travaux rapportent des teneurs en PT plus faibles, en comparaison avec les résultats de la présente étude, tels que l'étude menée par **Biglari et al. (2008)**, qui cite des teneurs en PT entre 2,89 et 141,35 mg EAG/100 g MS, sur des extraits issus de cultivars de dattes iraniennes. De même que l'étude, menée par **Mohamed et al. (2014)**, qui rapporte des teneurs en PT comprises entre 35,82 et 199,34 mg EAG/100g MS, sur des extraits issus de cultivars de dattes du Soudan. **Souli et al. (2018)**, sur des extraits de cultivars de dattes tunisiennes, mentionnent des teneurs en PT de 98,64 à 124,12 mg EAG/100 g MF. Enfin, beaucoup plus récemment, **Bettaeib et al. (2023)** évoquent, sur des extraits hydro-éthanoliques de cultivars de dattes tunisiens, des teneurs en PT de 10,35 à 297,42 mg EAG/100 g MF.

Il y a lieu de relever que certains travaux stipulent que généralement les dattes de consistance « sèche » sont plus riches en PT que les dattes de consistance « molle » ; comme cela a été rapporté par **Biglari et al. (2008)** et **Souli et al. (2018)**. Dans la présente étude, nous notons que les deux cultivars de dattes de consistance « molle » : *Bamakhlouf* et *Ouarglia* affichent des teneurs en PT élevées dépassant les 300 mg EAG/100 g MS.

Il y a lieu de mentionner que de nombreuses études soulignent l'inconvénient du dosage des PT par le réactif Folin-Ciocalteu du fait que ce dernier est peu sélectif et peut ainsi réagir avec d'autres composés non phénoliques, tels que les sucres réducteurs et les peptides, pouvant ainsi induire des valeurs surestimées (**Vuorela et al., 2003**). Cependant, il y a lieu de citer l'étude de **Saleh et al. (2011)**, menée sur des dattes de l'Arabie Saoudite, et qui a démontré que ce ne sont pas forcément les dattes aux teneurs les plus élevées en sucres réducteurs qui affichaient les teneurs en PT les plus élevées, ce qui a amené les auteurs à conclure qu'il n'y a pas eu d'interférence du Folin avec les sucres réducteurs.

En résumé, le tableau 20 illustre la comparaison des teneurs en PT de la présente étude avec d'autres extraits de pulpes de dattes du patrimoine phœnicicole algérien et mondial et impliquant des systèmes d'extraction avec des solvants purs ou des mixtures de solvants.

Tableau 20 : Comparaison des teneurs des polyphénols totaux de la présente étude avec la littérature.

PT (mg EAG/100g) (Noms des cultivars)	Milieux d'extraction	Pays	Références
97,75 (<i>Ahartane</i>) -421,15 (<i>Aghamou</i>)	MeOH-acétone- eau	Algérie/Adrar	<i>Présente étude</i>
225,57 (<i>Deglet Noor</i>) – 954,59 (<i>Ghazi</i>)	Acétone-eau	Algérie/Biskra	<i>Benmeddour et al., 2013.</i>
41,80 (<i>Tamjhourt</i>) – 84,73 (<i>Degla Baidha</i>)	MeOH-eau	Algérie/Ouargla	<i>Ghiaba et al., 2012.</i>
2,49 (<i>Tazizaout</i>) – 8,36 (<i>Tantbouchte</i>)	MeOH-eau	Algérie/Ghardaïa	<i>Mansouri et al., 2005.</i>
169,18 (<i>Beid Lahmam</i>) - 381,76 (<i>Ourrous</i>)	Eau	Algérie/Ghardaïa	<i>Louaileche et al., 2015.</i>
2,06 (<i>Biraya</i>) – 6,53 (<i>Ali Ourached</i>)	MeOH-eau	Algérie, <i>El Oued</i>	<i>Ali-Haimoud et al., 2016.</i>
280,6 (<i>Kentichi</i>) – 681,8 (<i>Deglet Noor</i>)	Eau	Tunisie	<i>Besbes et al., 2009.</i>
98,64 (<i>Horra</i>) - 124,12 (<i>Deglet Noor</i>)	MeOH	Tunisie	<i>Souli et al., 2018.</i>
209,42 (<i>Kentichi</i>) – 447,73 (<i>Allig</i>)	MeOH-eau	Tunisie	<i>Saafi et al., 2009</i>
12,05 (<i>Nefzaoui</i>) 54,66 (<i>Korkobbi</i>)	MeOH-eau	Tunisie	<i>Chaira et al., 2009</i>
148,90 (<i>Baydh El Hamam</i>) – 294,97 (<i>Bejo</i>)	MeOH-Eau	Tunisie	
199,43 (<i>Baydh El Hamam</i>) – 576,48 (<i>Bejo</i>)	Acétone-Eau		<i>Kchaou et al., 2013.</i>
99,73 (<i>Zehdi</i>) – 222,23 (<i>Bejo</i>)	Eau		
10,35 (<i>Hessa</i>) – 297,42 (<i>Deglet Noor</i>)	Ethanol-Eau	Tunisie	<i>Bettaieb et al., 2023</i>
331,86 (<i>Bouskri</i>) – 537,07 (<i>Bousrdon</i>)	MeOH-Eau	Maroc	<i>Bouhlali et al., 2017.</i>
101,06 (<i>Elahmer chetoui</i>) – 478,37 (<i>Khalt Khel</i>)	MeOH	Maroc/Drâa	<i>Alahyane et al., 2019.</i>
147,6 (<i>Barban</i>) – 475,5 (<i>Khitawi</i>)	/	Irak	<i>Matloob and Balakita, 2016.</i>
172 (<i>Shahal</i>) - 246 (<i>Mabseeli</i>)	Eau	Oman	<i>Al-Farsi et al., 2007</i>
250 (<i>Sufry</i>) -376 (<i>Mabroom</i>)	Eau	Bahreïn <i>et autres</i>	<i>Allaith, 2008.</i>
405,5 (<i>Tenterguel</i>) - 661,1 (<i>Tijib</i>)	MeOH-Eau	Mauritanie	<i>Lemine et al., 2014.</i>
2,89 (<i>Jiroft</i>) – 141,35 (<i>Kharak</i>)	MeOH-Eau	Iran	<i>Biglari et al., 2008.</i>
35,82 (<i>Barakawi</i>) – 199,34 (<i>Madini</i>)	MeOH-Eau	Soudan	<i>Mohamed et al., 2014.</i>
105,34 (<i>Kenta</i>) – 240,66 (<i>Khadrawy</i>)	MeOH-Eau	Espagne/Tunisie/ Palestine	<i>Verde et al., 2019.</i>

PT: Polyphénols Totaux.

Les processus métaboliques des plantes, notamment la synthèse de composés phénoliques, peuvent être fortement influencés par divers facteurs tels que la température, l'humidité, l'exposition au soleil, les régimes de précipitations et la composition du sol des différentes aires géographiques (**Zakraoui *et al.*, 2023**).

En outre, les conditions post-récolte et de stockage impliquant particulièrement le temps et la température influent sur les teneurs des PT en induisant l'activité des enzymes, telle la polyphénol-oxydase qui dépend sensiblement du pH et de la température (**Samad *et al.*, 2016**). Cette enzyme peut provoquer le brunissement de la datte pendant la période post-récolte, suite à l'oxydation des composés phénoliques (**Amiour and Hambaba, 2016**).

Par ailleurs, il est établi par de nombreuses études que l'extraction des composés phénoliques est fortement influencée par la taille des particules, le choix des solvants, le rapport solide/solvant, les méthodes d'extraction, impliquant différentes mixtures de solvants et différentes méthodes d'extraction (macération, Soxhlet, décoction, etc.) et différentes méthodes de quantification utilisant des standards différents (**Adom *et al.*, 2003 ; Zhou and Yu, 2004 ; Chaira *et al.*, 2009 ; Tassoult *et al.*, 2021**).

Enfin, si les pulpes de dattes sont une source intéressante en composés phénoliques, il y a lieu de rapporter que de nombreux travaux attestent la richesse des sous-produits du palmier dattier en molécules bioactives, en autres les noyaux de dattes.

En effet, l'étude menée par **Djaoudene *et al.* (2019b)** cite, sur des extraits de noyaux de dattes de cultivars algériens, des teneurs très élevées en PT comprises entre 32 735 et 47 751 mg EAG/100 g MS.

Par ailleurs, **Radfar *et al.* (2019)** rapportent, dans des extraits de noyaux de dattes d'Iran, des teneurs en PT de 1 480 à 3 380 mg EAG/100 g MS. De même que celle conduite par **Bouhlali *et al.* (2015)**, qui indique des teneurs de 2 697 à 5 342 mg EAG/100 g MS dans des extraits de noyaux de dattes du Maroc. Plus récemment, **Majid *et al.* (2023)** évoquent également des teneurs élevées en PT, sur des noyaux de dattes du Pakistan, de 3 360 à 4 420 mg EAG/100 g MS.

IV.4.1.2. Teneurs en flavonoïdes totaux

Les flavonoïdes se trouvent fréquemment sous forme de glycosides à l'état naturel. Selon le degré d'oxydation de l'anneau C, l'hydroxylation de l'unité de flavone et le type de substituant du carbone C3, une ou plusieurs de leurs fonctions hydroxylées sont alors glycosylées (**Bentrad and Hamida-Ferhat 2020**). Selon **Hong et al. (2006)**, les dattes contiennent plus de 13 glycosides flavonoïdes distincts (tels que la lutéoline, l'apigénine et la quercétine) et 19 formes isomériques.

Les teneurs en flavonoïdes totaux des vingt (20) extraits des cultivars de dattes de mixture ternaïre, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 04 (Annexes 02) et illustrées dans la figure 44.

Les teneurs en flavonoïdes totaux des 20 extraits de dattes ternaïres sont comprises entre $14,46 \pm 0,13$ mg EC/100 g MS pour les dattes du cultivar *Ahartane* et $59,53 \pm 3,76$ mg EC/100 g MS pour les dattes du cultivar *Aghamou* (Tableau 04 en Annexes 02 et Figure 44).

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine phœnicicole algérien, les résultats de la présente étude sont assez comparables à ceux cités par **Louaileche et al. (2015)**, avec des teneurs en FT comprises entre 28,68 (*Beid Lahmam* et *Outkbala*) et 95,22 (*Ourrous*) mg EQ/100 g MS. **Benmeddour et al. (2013)** mentionnent des teneurs en FT plus élevées de 15,22 (*Deglet Nour*) à 299,74 (*Ghazi*) mg EQ/100 g MS. **Ghiaba et al. (2012)**, mentionnent des teneurs en FT plus faibles de 7,52 (*Tafezauine*) à 14,1 (*Degla Baidha*) mg ER/100 g MS. Quant à **Ali Haimoud et al. (2016)**, ils indiquent des teneurs en FT beaucoup plus faibles, de 1,6 (*Biraya*) à 4,23 (*Ali Ourached*) mg EC/100 g MS.

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine mondial, nos résultats sont assez comparables à ceux rapportés par **Verde et al. (2019)**, avec des teneurs en FT comprises entre 18,47 et 49,33 mg EC/100 g MF. Les travaux conduits par **Souli et al. (2018)**, **Chaira et al. (2009)** et **Biglari et al. (2008)** citent des teneurs en FT plus faibles, respectivement de 9,76 à 23,48 mg ER/100 g MF, de 6,28 à 54,46 mg EQ/100 g et de 1,62 à 81,79 mg EC/100 g MS. En outre, **Lemine et al. (2014)** et **Bettaieb et al. (2023)** évoquent respectivement des teneurs comprises entre 39,5 et 112,5 mg EQ/100 g MS et entre 45,02 et 117,35 mg ER/100 g MF. Cependant, **Mohamed et al. (2014)**, citent des teneurs en FT nettement plus faibles, de 1,74 à 3,39 mg EC/100 g MS. Les travaux de **Bouhlali et al. (2017)** et ceux de **Alahyane et al. (2019)** mentionnent des teneurs plus élevées, respectivement de 77,73 à 208,53 mg ER/100 g MS et de 1,79 à 216,1 mg EQ/100 g MS.

Par ailleurs, **Djaoudene et al. (2019b)**, sur des extraits de noyaux de dattes des cultivars algériens, citent des teneurs en FT comprises entre 441 et 652 mg EQ/100 g MS.

IV.4.1.3. Teneurs en tanins condensés

Les tanins condensés, également connus sous le nom de proanthocyanidines, sont des polymères de flavan-3-ols ou de flavan 3,4-diol qui se lient aux protéines (**Das et al., 2020**).

Les teneurs en tanins condensés des vingt (20) extraits de dattes ternaires, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 04 (Annexes 02) et illustrées dans la figure 44.

Les teneurs en TC des 20 extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire, sont comprises entre $14,74 \pm 0,21$ mg EC/100 g MS pour les dattes du cultivar *Abdeslam* et $76,42 \pm 1,45$ mg EC/100 g MS pour les dattes du cultivar *Aghamou* (Tableau 04 en Annexes 02 et Figure 44).

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine phœnicicole algérien, les résultats de la présente étude contrastent avec ceux de **Benmeddour et al. (2013)**, qui rapportent des teneurs en TC plus élevées, de 82,81 à 525,06 mg EC/100 g MS.

En comparaison avec d'autres cultivars du patrimoine phœnicicole mondial, les résultats de la présente étude sont assez comparables avec ceux rapportés par **Bouhlali et al. (2017)**, avec des teneurs en TC comprises entre 57,56 et 92,14 mg EC/100 g MS. **Bettaieb et al. (2023)** citent des teneurs en TC de 40,16 à 147,93 mg EC/100 g MF. Quant à l'étude de **Alahyane et al. (2019)**, celle-ci mentionne des teneurs de 5,29 à 152,15 EC/100 g MS.

IV.4.2. Teneurs en flavonoïdes totaux dans les fractions liquide-liquide d'extraits flavonoïdiques

Selon **Marston and Hostettmann (2006)**, les aglycones polaires et les glycosides de flavonoïdes peuvent être extraits avec des alcools purs ou des mélanges eau-alcool, tandis que les flavonoïdes, moins polaires (isoflavones, flavanones, flavones méthylés et flavonols), sont généralement extraits dans des solvants tels que : le chloroforme, le dichlorométhane, l'éther diéthylique ou l'acétate d'éthyle.

L'extraction sélective des flavonoïdes a été réalisée sur un milieu solide-liquide (MeOH à 80 %), suivie d'une série d'extractions liquide-liquide, avec trois solvants : n-butanol, acétate d'éthyle et eau.

Les teneurs en flavonoïdes totaux des fractions liquides des douze (12) extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 05 en (Annexes 02) et illustrées en figure 45.

Dans la fraction « acétate d'éthyle », les teneurs en FT des 12 extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques indiquent des teneurs de $0,57 \pm 0,01$ (*Ahartane*) à $8,82 \pm 0,35$ (*Aghares*) mg EC/100 g MS (Tableau 05 en Annexes 02 et Figure 45).

Dans la fraction « n-butanol », les teneurs en FT des 12 extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques indiquent des teneurs de $7,31 \pm 0,23$ (*Adâam Bullah*) et $35,34 \pm 0,31$ (*Aghamou*) mg EC/100 g MS (Tableau 05 en Annexes 02 et Figure 45).

Dans la fraction « aqueuse », les teneurs en FT des 12 extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques indiquent des teneurs de $8,57 \pm 0,08$ (*Tinnaqor*) et $17,31 \pm 0,51$ (*Tazarzeyt*) mg EC/100 g MS (Tableau 05 en Annexes 02 et Figure 45).

Il ressort des résultats de la présente étude que la fraction n-butanolique, des 12 extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques, enregistre les teneurs les plus élevées en FT, à l'exception des extraits des dattes des deux cultivars *Hmira* et *Adâam Bullah* qui enregistrent des teneurs plus élevées dans les fractions aqueuses, respectivement de $16,59 \pm 0,05$ mg EC/100 g MS à $13,80 \pm 0,14$ mg EC/100 g MS. Et l'extrait de dattes du cultivar *Ahartane* qui affiche pratiquement les mêmes teneurs dans les fractions n-butanol et aqueuse respectivement de $12,02 \pm 0,18$ et $12,30 \pm 0,18$ mg EC/100 g MS.

Par contre, c'est la fraction « acétate d'éthyle », des 12 extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques, qui affiche les teneurs les plus faibles, comprises entre $0,57 \pm 0,01$ mg EC/100g MS et $8,82 \pm 0,35$ mg EC/100g MS, respectivement pour les dattes des cultivars *Ahartane* et *Aghares*.

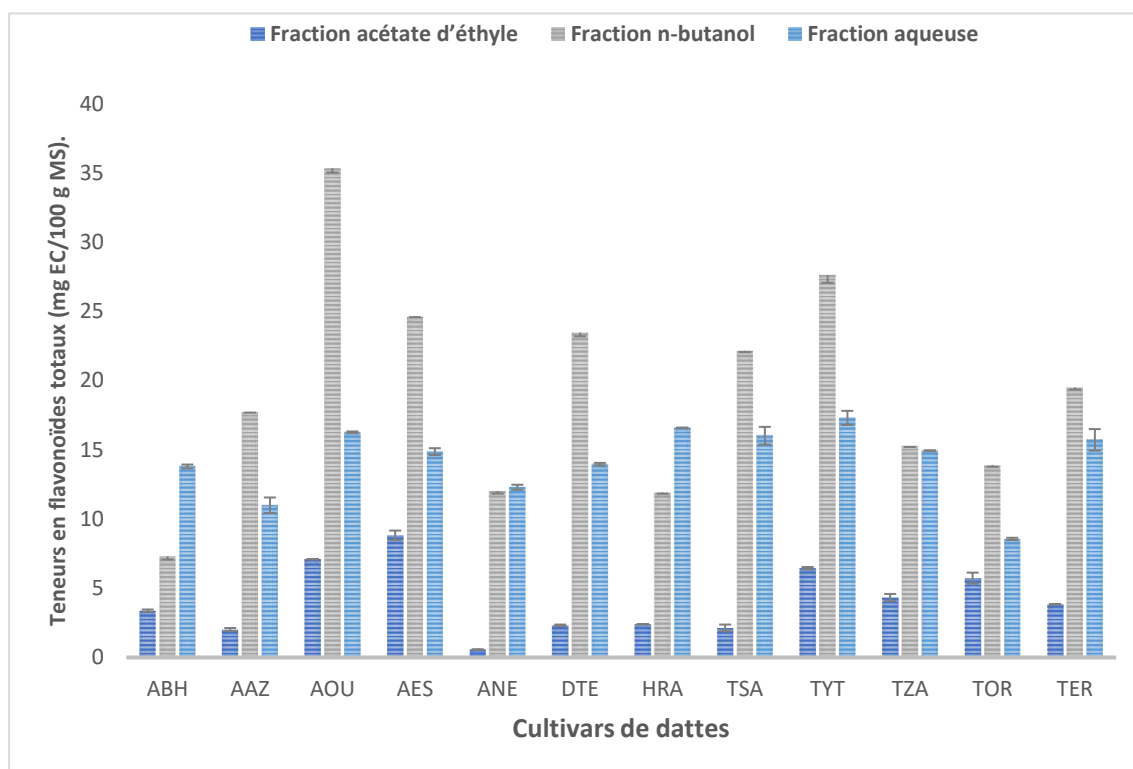


Figure 45 : Teneurs en flavonoïdes totaux des fractions « acétate d'éthyle, n-butanol et aqueuse » des douze extraits des cultivars de dattes, flavonoïdiques.

ABH : Adâam Bullah ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

Il existe peu de travaux sur des extractions « solide-liquide », suivies d'extraction liquide-liquide sur le matériel végétal « dattes ».

Dans l'ensemble, sur neuf (09) extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques, c'est la fraction « n-butanolique » qui enregistre les teneurs les plus élevées en FT, ce qui corrobore l'étude menée par **Sayah (2018)**, qui démontre que les extraits butanoliques de pulpes de dattes, issus de la région de Ouargla, sont les plus riches en flavonoïdes.

Les résultats de la présente étude s'accordent également avec l'étude de **Kriaa et al. (2012)**, conduite sur les folioles des palmes du palmier dattier, qui démontre que la fraction alcoolique, des extraits issus de folioles du cultivar *Medjhoul*, enregistre les teneurs les plus élevées en flavonoïdes. Aussi, ils s'accordent avec **Imran et al. (2014)**, qui démontrent que c'est la fraction « n-butanolique » qui enregistre les teneurs en FT les plus élevées, et cela, dans les extraits du fruit *Ficus benjamina*.

Selon **Marston and Hostettmann (2006)**, la concentration en flavonoïdes dépend du facteur variétal ainsi que du rapport entre les flavonoïdes aglycones et glycosides. De plus, la nature du solvant et sa polarité peuvent avoir un impact significatif sur l'extraction des flavonoïdes (**Chebil et al., 2007**).

IV.4.3. Teneurs en tanins condensés dans les fractions liquide-liquide d'extraits tanniques

L'acétone est le solvant couramment utilisé pour extraire les tanins solubles et insolubles, particulièrement les mixtures d'acétone combinées à l'eau. Elles permettent d'obtenir des extraits riches en tanins (**Seigler et al., 1986**).

Pour préparer les fractions liquides, nous avons effectué une extraction avec de l'acétone à 80 %, suivie d'un fractionnement liquide-liquide de l'extrait, avec de l'acétate d'éthyle et de l'eau.

Les teneurs en tanins condensés des fractions liquides des douze (12) extraits des cultivars de dattes tanniques, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliées dans le tableau 06 (Annexes 02) et illustrées en figure 46.

Les résultats de la présente étude démontrent que les fractions aqueuses enregistrent les teneurs les plus élevées en TC, dans les 12 extraits des cultivars de dattes tanniques, comprises entre $17,30 \pm 0,08$ et $78,38 \pm 1,23$ mg EC/100 g MS, respectivement pour les dattes des cultivars *Ahartane* et *Deglet Talmine* (Tableau 06 en Annexes 02 et Figure 46).

Quant aux fractions d'acétate d'éthyle, elles enregistrent les teneurs les plus faibles, de $4,62 \pm 0,02$ à $16,43 \pm 0,10$ mg EC/100 g MS, respectivement pour les dattes des cultivars *Ahartane* et *Aghamou* (Tableau 06 en Annexes 02 et Figure 46).

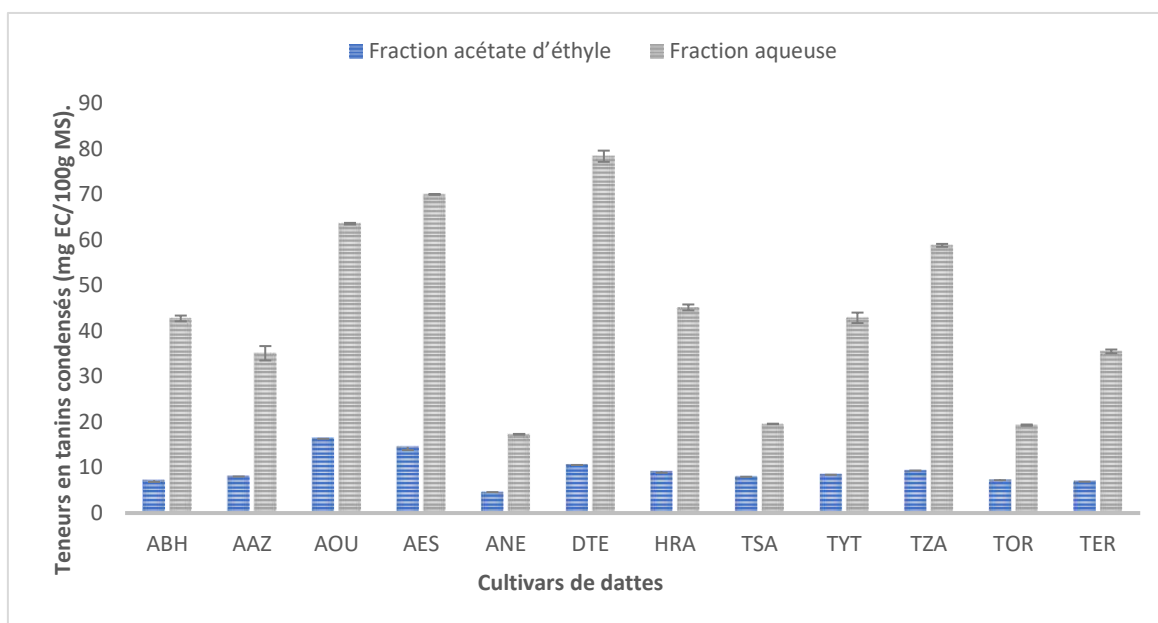


Figure 46 : Teneurs en tanins condensés des fractions « acétate d'éthyle, et aqueuse » des douze extraits des cultivars de dattes, tanniques.

ABH : Adâam Bullah ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

Concordant avec les résultats de la présente étude, **Rhazi et al. (2019)** démontrent que les phases aqueuses présentent les teneurs les plus élevées en tanins condensés dans des extraits de *Acacia mollissima* en comparaison aux phases d'acétate d'éthyle.

Plusieurs études attestent que l'extraction des tanins est fortement influencée par la taille des particules, le choix des solvants, le rapport solide/solvant, la température (**Rhazi et al., 2019** ; **Das et al., 2020**) et également influencée par le degré de polymérisation des tanins (**Larwence and Abada, 1991**).

Il ressort des résultats de la présente étude que la mixture ternaire (MeOH-acétone-eau) extrait des quantités appréciables en composés phénoliques. En effet, les vingt (20) extraits de dattes ternaires indiquent :

- Des teneurs en polyphénols totaux comprises entre $97,75 \pm 12,10$ (*Ahartane*) et $421,15 \pm 1,53$ (*Aghamou*) mg EAG/100 g MS ;
- Des teneurs en flavonoïdes totaux comprises entre $14,46 \pm 0,13$ (*Ahartane*) et $59,53 \pm 3,76$ (*Aghamou*) mg EC/100 g MS ;

- Des teneurs en tanins condensés comprises entre $14,74 \pm 0,21$ (*Abdeslam*) et $76,42 \pm 1,45$ (*Aghamou*) mg EC/100 g MS.

Dans l'ensemble, sur les vingt (20) extraits de cultivars de dattes de mixture ternaire, sept (07) extraits de cultivars de dattes ont affiché des teneurs en polyphénols totaux élevées, à partir de 300 mg EAG/100g MS. C'est le cas du cultivar *Agaz* de la région du Tidikelt, du cultivar *Deglet Talmine* de la région du Gourara et des cinq cultivars de dattes : *Aghamou*, *Aghares*, *Bamakhlouf*, *Ouarglia* et *Taqerbucht Safra*, communs aux trois régions phœnicicoles.

Il est important de relever que, parmi les vingt extraits de dattes de la mixture ternaire, ceux de six (06) cultivars : *Adâam Robb*, *Aghamou*, *Aghares*, *Cheikh M'Hamed*, *Tazarzeyt* et *Tinnaser* affichent des teneurs en FT dépassant les 50 mg EC/100 g MS et comprises entre $51,36 \pm 0,92$ (*Tinnaser*) et $59,53 \pm 3,76$ (*Aghamou*) mg EC/100 g MS.

Quant aux teneurs en TC, parmi les vingt extraits de dattes de la mixture ternaire, ceux de six (06) cultivars : *Agaz*, *Aghamou*, *Aghares*, *Bamakhlouf*, *Deglet Talmine* et *Hmira* affichent les teneurs les plus élevées en TC dépassant les 55 mg EC/100 g MS et comprises entre $55,71 \pm 0,16$ (*Agaz*) et $76,42 \pm 1,45$ (*Aghamou*).

Il ressort également de la présente étude que, dans les extractions liquide-liquide des douze (12) extraits des cultivars de dattes flavonoïdiques, après extraction (solide-liquide) dans une mixture hydro-méthanolique (80 %), ce sont les fractions « n-butanoliques » qui sont les plus riches en FT dans neuf (09) extraits, avec des teneurs comprises entre $13,90 \pm 0,12$ (*Tinnaqor*) et $35,34 \pm 0,31$ (*Aghamou*) mg EC/100 g MS.

Quant aux extractions liquide-liquide des douze (12) extraits des cultivars de dattes tanniques, après extraction (solide-liquide) dans une mixture hydro-acétonique (80 %), elles démontrent que ce sont les fractions « aqueuses » qui enregistrent les teneurs les plus élevées, entre $17,30 \pm 0,08$ (*Ahartane*) et $78,38 \pm 1,23$ (*Deglet Talmine*) mg EC/100 g MS.

Il y a lieu de noter que le cultivar tardif *Ahartane*, commun aux trois régions phœnicicoles, enregistre les teneurs en PT et FT les plus faibles dans le système de solvant à mixture ternaire (MeOH-acétone-eau). L'extraction dans un système de solvants binaire (acétone-eau), suivie d'extraction liquide-liquide, indique que ce même cultivar *Ahartane* enregistre les teneurs les plus faibles en TC et cela, dans les deux fractions « acétate d'éthyle » et « aqueuse ».

Aussi, notons que le cultivar *Aghamou*, commun aux trois régions phœnicicoles, enregistre les teneurs en PT, FT et TC les plus élevées dans le système de solvants à mixture ternaire (MeOH-acétone-eau). L'extraction dans un système de solvants binaire (méthanol-eau), suivie d'extraction liquide-liquide, indique que ce même cultivar *Aghamou* enregistre les teneurs les plus élevées en FT et cela, dans la fraction « n-butanol ».

IV.5. Capacité antioxydante *in vitro*

Les polyphénols sont connus pour leur capacité antioxydante (CA) à piéger les radicaux libres par des mécanismes de transfert d'électrons ou de protons et des mécanismes de chélation des ions métalliques capables de catalyser la peroxydation lipidique (**Leopoldini et al., 2011**).

L'activité antioxydante n'a porté que sur les extraits de mixture ternaire (MeOH-acétone-eau) et sur les douze cultivars de dattes préalablement sélectionnées pour les extractions sélectives liquide-liquide. À savoir : *Adâam Bullah*, *Agaz*, *Aghamou*, *Aghares*, *Ahartane*, *Deglet Talmine*, *Hmira*, *Taqerbucht Safra*, *Tazarzeyt*, *Tgazza*, *Tinnaqor* et *Tinnaser*.

Notre choix s'est basé sur les deux cultivars de dattes les plus fréquents de la région du Gourara : *Deglet Talmine* et *Adâam Bullah*, sur le cultivar le plus fréquent de la région du Tidikelt : *Agaz* et sur les huit (08) cultivars : *Hmira*, *Aghamou*, *Aghares*, *Ahartane*, *Taqerbucht Safra*, *Tazarzeyt*, *Tgazza* et *Tinnaser*, communs et fréquents dans les trois régions phœnicicoles. Quant au cultivar *Tinnaqor*, commun aux trois régions phœnicicoles, il a été choisi du fait qu'il devient de plus en plus moins fréquent, probablement pour sa faible capacité à rejeter (**Hannachi et al., 1998**) et sa sensibilité au Bayoud (**Boudeffeur et al., 2020**).

IV.5.1. Test de piégeage du radical libre DPPH[•]

Pour les illustrations graphiques des pourcentages d'inhibition et des cinétiques, les cultivars de dattes ont été classés selon leur consistance. Les courbes des pourcentages d'inhibitions du radical libre DPPH[•] sont déterminées en fonction de différentes concentrations de 0,025 à 0,5 mg/mL, des extraits ternaires (Figures 47, 48 et 49). L'acide gallique et l'acide ascorbique sont utilisés comme des antioxydants de référence.

Il y a lieu de noter que l'acide gallique et l'acide ascorbique, utilisés comme antioxydants de référence, atteignent les 80 % d'inhibition, respectivement à une concentration seulement de 0,05 et 0,1 mg/mL. L'extrait ternaire du cultivar *Ahartane* atteint les 80 % d'inhibition à une concentration de

l'extrait à 0,3 mg/mL alors que celui du cultivar *Adâam Bullah* atteint ce pourcentage à une concentration de l'extrait de 0,4 mg/mL (Figure 47).

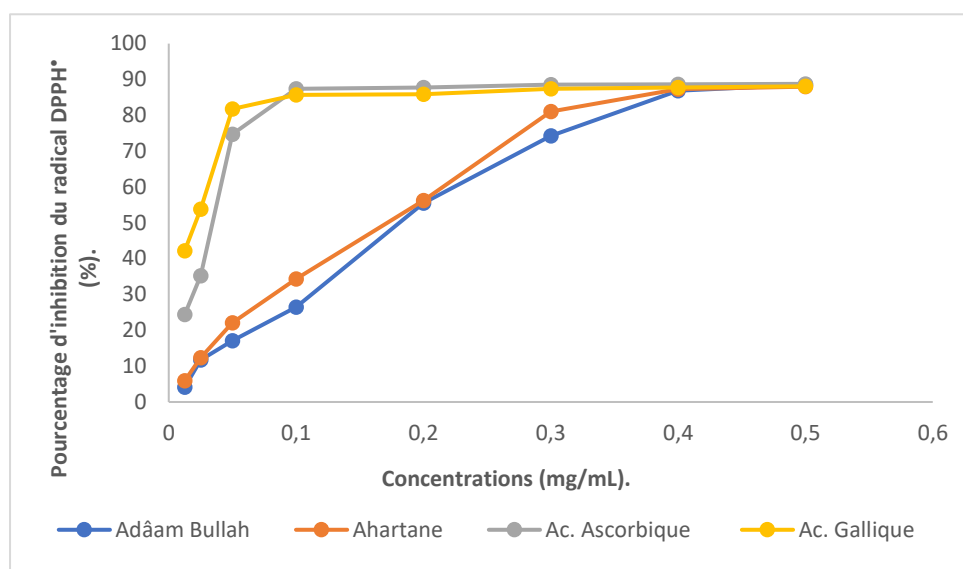


Figure 47 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH* des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « molle ».

En outre, les extraits ternaires des cultivars *Hmira* et *Tgazza* atteignent 80 % d'inhibition à une concentration de 0,3 mg/mL, alors que celui du cultivar *Taqerbucht Safra* atteint ce pourcentage à une concentration de l'extrait de 0,4 mg/mL. Quant à l'extrait du cultivar *Tazarzeyt*, il atteint ce pourcentage à une concentration seulement de 0,2 mg/mL. Il y a lieu de noter que l'extrait ternaire du cultivar *Agaz* atteint 80 % d'inhibition à seulement une concentration de l'extrait à 0,1 mg/mL, comme c'est le cas de l'acide ascorbique (Figure 48).

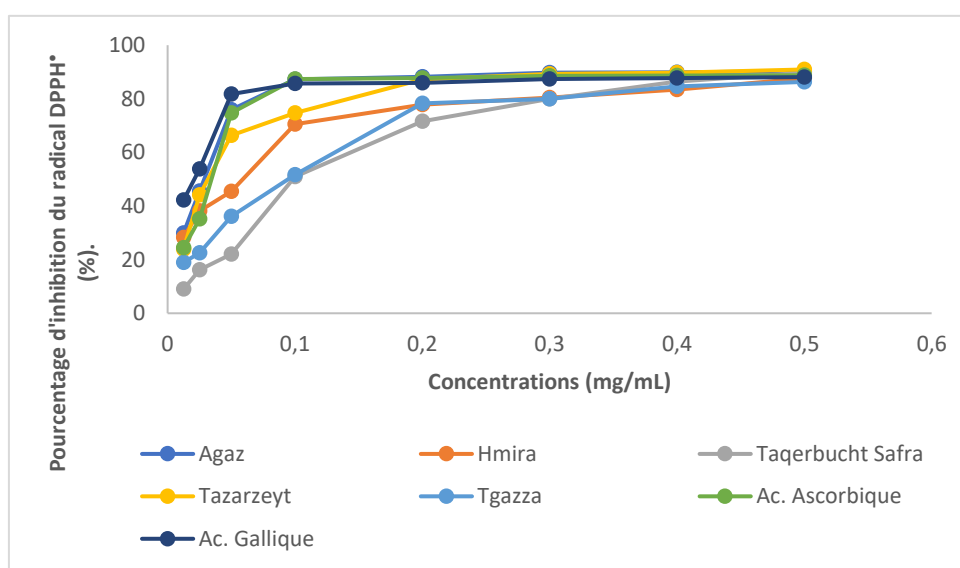


Figure 48 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH* des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « demi- molle et demi-sèche ».

Par ailleurs, les extraits ternaires des cultivars *Aghares* et *Deglet Talmine* atteignent 80 % d'inhibition à une concentration de 0,3 mg/mL, alors que les extraits des cultivars *Aghamou* et *Tinnaqor* l'atteignent à une concentration de l'extrait à 0,4 mg/mL. Il y a lieu de souligner que l'extrait du cultivar *Tinnaser* atteint 80 % d'inhibition à une concentration seulement de 0,1 mg/mL, comme c'est le cas de l'acide ascorbique (Figure 49).

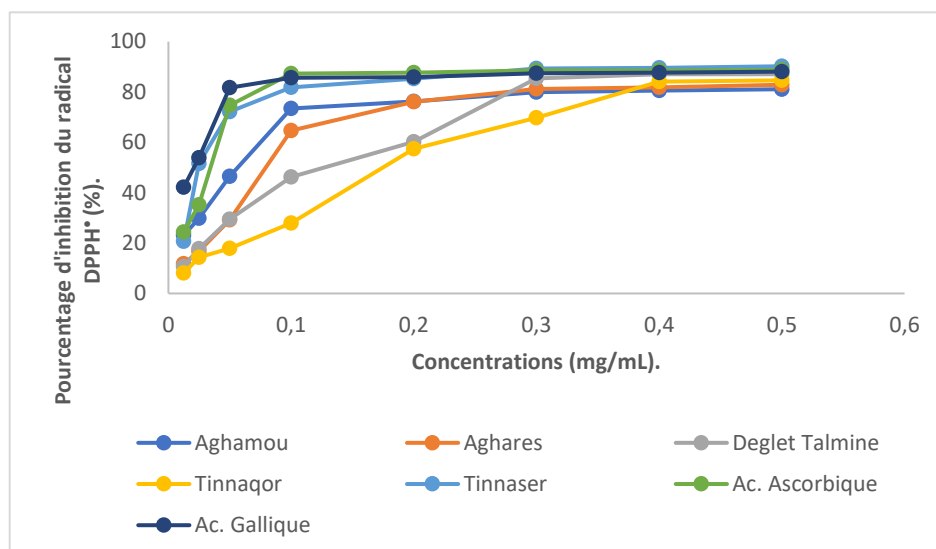


Figure 49 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH* des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « sèche ».

Dans l'ensemble, sur les douze extraits ternaires, neuf (09) extraits atteignent 80 % d'inhibition du radical libre DPPH^{•+} à partir d'une concentration de 0,3 mg/mL de leurs extraits. L'extrait du cultivar *Tazarzeyt* atteint ce pourcentage à une concentration seulement de 0,2 mg/mL. Alors que les deux extraits des cultivars *Tinnaser* et *Agaz* atteignent ce pourcentage à une concentration plus petite de 0,1 mg/mL, comme c'est le cas de l'antioxydant de référence : l'acide ascorbique.

IV.5.1.1. Test de piégeage du radical libre DPPH' exprimé en EC50

La capacité antioxydante (CA), évaluée par le test de piégeage du radical libre DPPH' est exprimée en EC50 (mg/mL). Les EC50 sont calculées graphiquement par les régressions linéaires et représentent la quantité d'antioxydants nécessaire pour diminuer 50 % du taux des radicaux libres. Plus la valeur de l'EC50 est faible, plus l'extrait est perçu comme un antioxydant puissant (Pokorny *et al.*, 2001 ; Munteanu and Apetrei, 2021).

Les résultats des EC_{50}^{DPPH} des 12 extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont reportés dans le tableau 07 (Annexes 02) et illustrés dans la figure 50.

L'acide gallique et l'acide ascorbique, utilisés comme des antioxydants de référence, ont respectivement des EC_{50}^{DPPH} de $0,021 \pm 0,00$ mg/mL et $0,034 \pm 0,00$ mg/mL.

Les cultivars *Tinnaser*, *Agaz* et *Tazarzeyt* présentent la plus grande capacité antioxydante, respectivement de $0,026 \pm 0,01$ mg/mL ; $0,029 \pm 0,00$ mg/mL et $0,032 \pm 0,00$ mg/mL. Ces résultats sont très proches des EC_{50}^{DPPH} des antioxydants de référence, acide gallique et acide ascorbique, qui affichent des capacités antioxydantes élevées, respectivement de $0,021 \pm 0,00$ mg/mL et $0,034 \pm 0,00$ mg/mL (Tableau 07 en Annexes 02 et Figure 50).

Quant aux extraits ternaires des cultivars *Adâam Bullah*, *Tinnaqor* et *Ahartane*, ils enregistrent les plus faibles capacités antioxydantes, avec respectivement des EC_{50}^{DPPH} de $0,181 \pm 0,01$ mg/mL ; $0,175 \pm 0,01$ mg/mL et $0,172 \pm 0,02$ mg/mL (Tableau 07 en Annexes 02 et Figure 50).

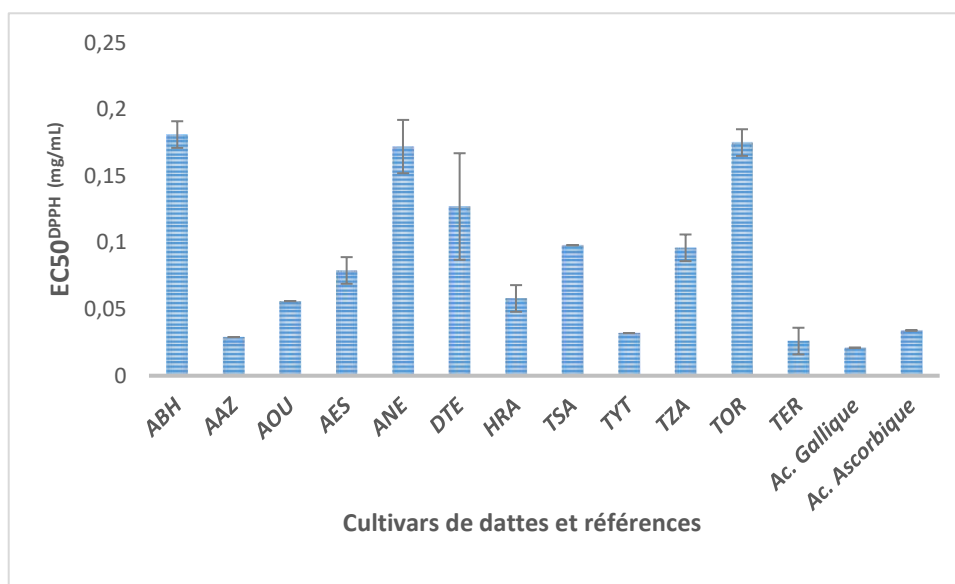


Figure 50 : Test de piégeage du radical libre DPPH^{*}, exprimé en EC_{50} , des douze extraits ternaires des cultivars de dattes et des références.

ABH : Adâam Bullah ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser, *Ac* : Acide.

L'étude menée par **Ali Haimoud et al. (2016)** sur des cultivars de dattes du patrimoine algérien évoque des EC_{50}^{DPPH} de 0,206 à 0,381 mg/mL, qui contrastent avec ceux affichés dans la présente étude. Par contre, les résultats de la présente étude, particulièrement ceux des extraits ternaires des cultivars *Adâam Bullah*, *Ahartane* et *Tinnaqor*, sont assez comparables à ceux cités par **Souli et al. (2018)** qui indiquent des EC_{50}^{DPPH} compris entre 0,16 et 0,31 mg/mL.

Par ailleurs, les extraits ternaires des six (06) cultivars de dattes de la présente étude : *Ahartane*, *Adâam Bullah*, *Taqerbucht Safra*, *Tgazza*, *Deglet Talmine* et *Tinnaqor* ont des EC_{50}^{DPPH} compris entre $0,096 \pm 0,01$ (*Tgazza*) et $0,181 \pm 0,01$ (*Adâam Bullah*) mg/mL, ce qui corrobore avec les résultats indiqués par **Zihad et al. (2021)**, avec des EC_{50}^{DPPH} compris entre 0,103 et 0,177 mg/mL, sur des cultivars de dattes d'Arabie Saoudite. **Alam et al. (2021)** évoquent des EC_{50}^{DPPH} compris entre 0,07 et 0,81 mg/mL. Cependant, les résultats de la présente étude contrastent avec ceux de **Alahyane et al. (2019)**, avec des valeurs d' EC_{50}^{DPPH} entre 2,41 et 9,74 mg/mL.

Enfin, une étude récente conduite sur des pollens, issus de palmiers de la Libye, rapporte un EC_{50}^{DPPH} de 0,233 mg/mL (**Ashour et al., 2022**), assez comparable aux résultats affichés dans la présente étude dans les extraits ternaires des cultivars : *Ahartane*, *Tinnaqor* et *Adâam Bullah*, avec des EC_{50}^{DPPH} proches de 0,2 mg/mL.

IV.5.1.2. Cinétique du pouvoir de piégeage du radical libre DPPH•

Les cinétiques du pouvoir de piégeage du radical libre DPPH• des extraits ternaires, comparées aux cinétiques des antioxydants de référence, acide gallique et acide ascorbique, sont représentées dans les figures 51, 52 et 53.

Nous remarquons que la cinétique de réaction est biphasée, avec une diminution rapide des absorbances dans les cinq premières minutes, correspondant à une zone à forte cinétique de piégeage du radical libre et une deuxième phase après 10 minutes qui correspond à une zone de tendance vers l'équilibre.

Dans le cas des dattes à consistance « molle » (Figure 51), les dattes du cultivar *Adâam Bullah* ont montré une cinétique de réaction rapide vis-à-vis du radical libre DPPH• par rapport aux dattes du cultivar *Ahartane*.

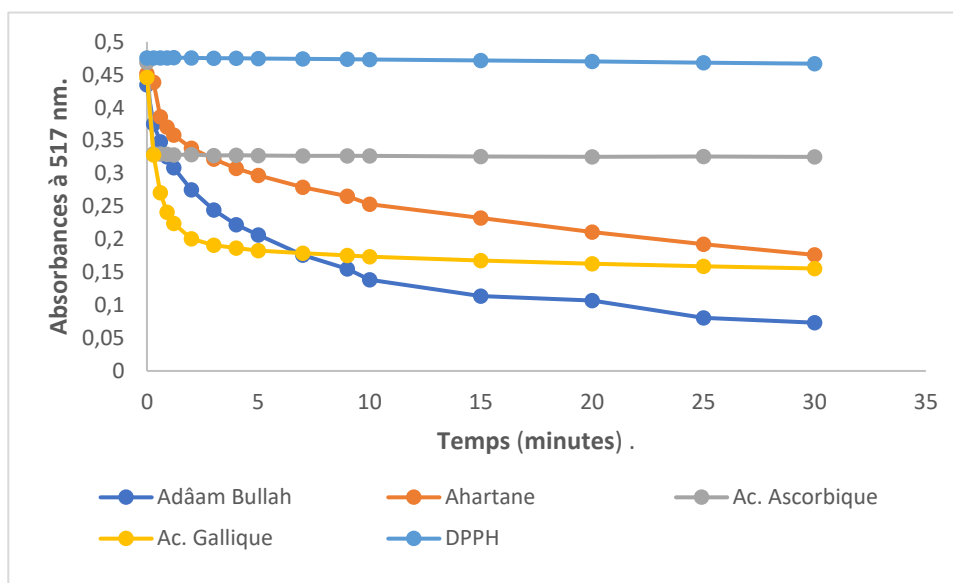


Figure 51 : Cinétique du piégeage du radical libre DPPH* des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « molle ».

Dans le cas des dattes à « consistance demi-molles et demi-sèches » (Figure 52), les dattes du cultivar *Tgazza* semblent avoir une cinétique de réaction plus rapide par rapport aux dattes des cultivars *Hmira* et *Tazarzeyt*, avec une réactivité intermédiaire. Quant aux dattes des deux cultivars *Agaz* et *Taqerbucht Safra*, elles affichent une cinétique de réaction lente, comparée aux cinétiques des antioxydants de référence, acide gallique et acide ascorbique.

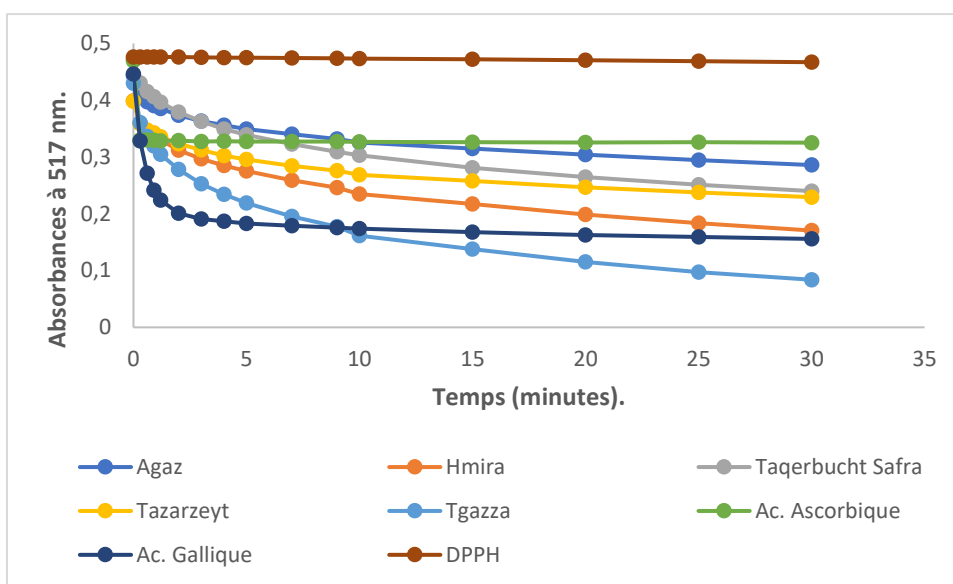


Figure 52 : Cinétique du piégeage du radical libre DPPH* des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « demi-molle et demi-sèche ».

Dans le cas des dattes de consistance « sèche » (Figure 53), les dattes des cultivars *Deglet Talmine* et *Tinnaqor* ont eu une cinétique de réaction intermédiaire. Par contre, les dattes des cultivars *Aghamou*, *Aghares* et *Tinnaser* ont une cinétique plus lente.

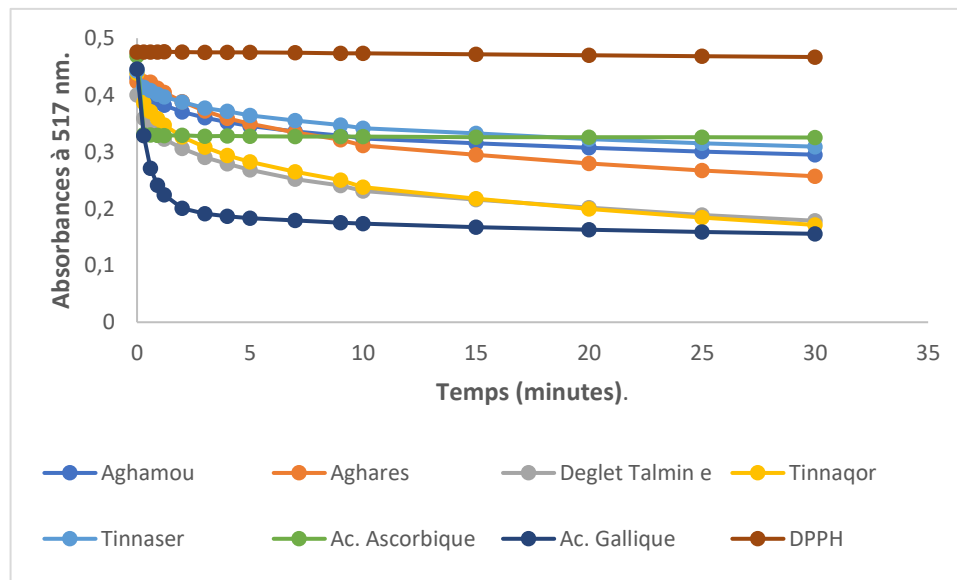


Figure 53 : Cinétique du piégeage du radical libre DPPH• des extraits ternaires des cultivars de dattes, de consistance « sèche ».

Dans l'ensemble parmi les douze extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire, il ressort que les extraits des cultivars *Tgazza* et *Adâam Bullah* ont montré des cinétiques de réaction rapides vis-à-vis du radical libre DPPH• assez comparables à celle de l'acide gallique.

Enfin, les résultats de la présente étude démontrent que les extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire ont des cinétiques différentes, indépendamment de la consistance des dattes, ce qui pourrait être lié à leurs compositions phytochimiques différentes et à leurs groupes fonctionnels. Les conditions de la réaction (temps, rapport antioxydant/DPPH•, type de solvants, pH) et le profil phénolique de l'extrait ont un impact sur le potentiel antioxydant et la cinétique de réduction du radical DPPH⁺ (Molyneux, 2004).

IV.5.2. Test de réduction du radical cation ABTS^{•+}

Les résultats du piégeage du radical cation ABTS^{•+} des douze extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliés dans le tableau 07 (Annexes 02) et illustrés en figure 54.

La capacité antioxydante, évaluée par le test ABTS, est comprise entre $865,19 \pm 14,01 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$ et $1815,16 \pm 52,72 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$, respectivement pour les dattes des cultivars *Tinnaqor* et *Aghamou*.

Les extraits ternaires des quatre (04) cultivars de dattes : *Aghamou*, *Hmira*, *Agaz* et *Aghares* affichent la plus grande CA de $1785,97 \pm 11,57$ (*Aghares*) à $1815,16 \pm 52,72$ (*Aghamou*) $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$. Quant aux extraits ternaires des cultivars de dattes *Tinnaqor* et *Adâam Bullah*, ils affichent la CA la plus faible, respectivement de $865,19 \pm 14,01$ et $913,46 \pm 26,45 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$ (Figure 54).

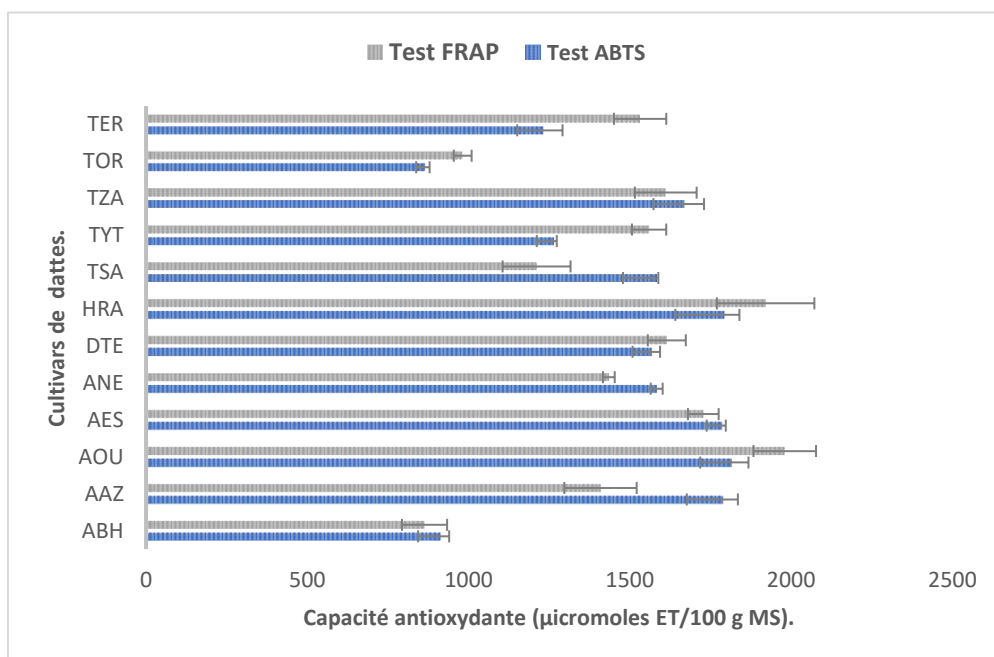


Figure 54 : Capacité antioxydante des douze extraits ternaires des cultivars de dattes, évaluée par les tests ABTS et FRAP.

ABH : Adâam Bullah ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

Les résultats de la présente étude concordent avec ceux mentionnés par **Souli et al. (2018)** qui indiquent des valeurs comprises entre 744,25 and 1813,80 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$. Ils sont également assez comparables avec ceux rapportés par **Saafi et al. (2009)**, avec une CA comprise entre 866,82 et 1148,11 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$. En outre, **Al –Turki et al. (2010)** mentionnent une CA comprise entre 228,1 et 1400,1 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$.

Cependant, les résultats de la présente étude sont supérieurs à ceux indiqués par **Bouhlali et al. (2017)**, qui reportent une CA comprise entre 383,90 et 846,94 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$. En outre, **Biglari et al. (2008)** évoquent une CA de 22,83 à 500,33 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$. Quant à l'étude menée par **Alam et al. (2021)**, elle indique une capacité antioxydante beaucoup plus faible, de 1,5 à 4,3 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$.

Dans des noyaux de dattes de cultivars marocains, **Bouhlali et al. (2015)** citent une CA comprise entre 4807 et 8021 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$.

IV.5.3. Test de réduction du fer (FRAP)

Il est bien établi que la capacité antioxydante des composés phénoliques, en autres les flavonoïdes, repose également sur leurs propriétés de chélation des métaux (**Hernández-Rodríguez et al., 2019**).

Les résultats du pouvoir réducteur des douze extraits des cultivars de dattes de mixture ternaïre, indiquant des différences significatives ($p < 0,05$), sont conciliés dans le tableau 07 (Annexes 02) et illustrés en figure 54.

Les douze (12) extraits des cultivars de dattes de mixture ternaïre ont montré un bon pouvoir réducteur compris entre $863,50 \pm 69,96 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$ et $1980,46 \pm 97,00 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$, respectivement pour les dattes des cultivars *Adâam Bullah* et *Aghamou* (Tableau 07 en Annexes 02 et Figure 54).

Les trois (03) extraits des cultivars de dattes de mixture ternaïre : *Aghares*, *Hmira* et *Aghamou* affichent les plus grandes capacités antioxydantes de $1727,80 \pm 47,65$ (*Aghares*) à $1980,46 \pm 97,00$ (*Aghamou*) $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$. Quant aux extraits des cultivars de dattes de mixture ternaïre : *Adâam Bullah* et *Tinnaqor*, ils affichent les CA les plus faibles, respectivement de $863,50 \pm 69,96$ et de $981,83 \pm 27,61 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$ (Tableau 07 en Annexes 02 et Figure 54).

Les résultats de la présente étude sont assez comparables à l'étude conduite par **Alam et al. (2021)**, qui indique un pouvoir réducteur entre 355 et 2421 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MF}$. Les travaux menés par **Souli et al. (2018)** et **Allaith (2008)** rapportent des pouvoirs réducteurs, respectivement de 624,16 à 1228,53 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$ et de 590 à 1180 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MF}$. Quant aux études de **Al-Jasass et al.**

(2015) et **Bouhlali et al. (2017)**, elles citent des pouvoirs réducteurs plus faibles en comparaison à nos résultats de 329 et 860,89 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$. De même que **Biglari et al. (2008)**, qui évoquent des pouvoirs réducteurs beaucoup plus faibles, de 11,65 à 387,34 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$.

Par ailleurs, dans des extraits de noyaux de dattes de cultivars marocains, **Bouhlali et al. (2015)** citent un pouvoir réducteur très important, compris entre 10,97 et 22,86 $\text{mmol ET}/100 \text{ g MS}$.

Il est important de souligner que le cultivar de dattes présentant les teneurs les plus faibles en polyphénols totaux et flavonoïdes totaux n'a pas forcément les CA les plus faibles. En effet, l'extrait ternaire du cultivar *Ahartane*, dont les teneurs en PT et FT sont les plus faibles respectivement de $97,75 \pm 12,10 \text{ mg EAG}/100 \text{ g MS}$ et de $14,46 \pm 0,13 \text{ mg EC}/100 \text{ g MS}$, présente des CA élevées, aussi bien par le test à l'ABTS que par le test au FRAP, respectivement de $1583,11 \pm 18,70$ et $1434,93 \pm 18,22 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$.

Ismail et al. (2004) ont corroboré ce constat dans les légumes, en démontrant que les choux affichaient une puissante CA en dépit de leur faible teneur en polyphénols. En effet, il est souligné que ce n'est pas nécessairement la forte teneur en polyphénols qui exhibe la CA la plus puissante, comme rapporté par **Moure et al. (2001)**.

Il ressort des résultats de la présente étude que les 12 extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire, indiquent des capacités antioxydantes importantes et différentes d'un extrait ternaire à un autre.

- Par le test au DPPH, les extraits de dattes de mixture ternaire des cultivars : *Tinnaser*, *Agaz* et *Tazarzeyt* sont les plus puissants, avec des CA assez proches de celles affichées par les deux antioxydants de référence, acide gallique et acide ascorbique ; avec respectivement des EC50 de $0,026 \pm 0,01$; $0,029 \pm 0,00$ et $0,032 \pm 0,00 \text{ mg/mL}$. Suivi des extraits des cultivars : *Aghamou*, *Hmira* et *Aghares* avec respectivement des EC50 de $0,056 \pm 0,00$; $0,058 \pm 0,01$ et $0,079 \pm 0,01 \text{ mg/mL}$;
- Par le test à l'ABTS, les extraits de dattes de mixture ternaire des cultivars : *Aghamou*, *Hmira*, *Agaz* et *Aghares* affichent les plus grandes CA ; comprises de $1785,97 \pm 11,57$ (*Aghares*) à $1815,16 \pm 52,72$ (*Aghamou*) $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$;

- Par le test FRAP, ce sont les extraits de dattes de mixture ternaire des cultivars : *Aghamou*, *Hmira*, *Aghares* qui affichent les plus grands pouvoirs réducteurs, compris de $1727,80 \pm 47,65$ (*Aghares*) à $1980,46 \pm 97,00$ (*Aghamou*) $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$;
- Il y a lieu de relever que les extraits de dattes de mixture ternaire des cultivars *Adâam Bullah* et *Tinnaqor* affichent les plus faibles CA, et cela, dans les trois tests antioxydants.

Dans l'ensemble, l'analyse de la capacité antioxydante (CA) des extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire a démontré que les quatre (04) cultivars de dattes communs aux trois régions phœnicicoles : *Aghamou*, *Hmira*, *Aghares* et *Tgazza* affichent les CA les plus élevées dépassant les 1600 $\mu\text{moles ET}/100 \text{ g MS}$ pour deux tests antioxydants (ABTS et FRAP).

Ainsi, il y a lieu de relever que si certains cultivars de dattes ont des caractéristiques biométriques (poids datte, poids pulpe) dans la classe de qualité « Mauvaise » ou « Acceptable » comme c'est le cas respectivement pour le cultivar *Hmira* et les deux cultivars *Aghamou* et *Aghares*, ils peuvent compenser cela par leur composition biochimique en phytonutriments et par leur statut antioxydant intéressant. Effectivement, les extraits ternaires de ces trois cultivars de dattes, communs aux trois régions phœnicicoles, affichent des CA importantes.

IV.6. Analyses statistiques des données

L'analyse statistique a porté essentiellement sur l'analyse en composantes principales (ACP), le clustering K-Means et la classification ascendante hiérarchique (CAH).

IV.6.1. Analyse en Composantes Principales (ACP)

IV.6.1.1. Matrice de corrélation globale

La matrice de corrélation globale a été réalisée en impliquant les variables biométriques (PD, PP et PN), physico-chimiques et biochimiques des vingt (20) cultivars de dattes (Tableau 21).

La corrélation entre les variables biométriques indique de fortes corrélations positives entre le PD-PP ($p < 0,01$; $r = 0,999$), le PD-PN ($r = 0,669$) et le PP-PN ($r = 0,641$).

De telles corrélations sont comparables avec celles indiquées par **Açourene et al. (2001)** et **Allam et al. (2021)**, rapportant particulièrement de fortes corrélations positives entre le PD-PP avec $r = 0,99$.

Par ailleurs, pour les variables physico-chimiques et biochimiques, le test de Pearson a indiqué des corrélations négatives entre AT-TE ($p < 0,01$; $r = - 0,591$), entre AT-pH ($p < 0,01$; $r = - 0,716$), entre SR-AT ($r = - 0,354$), entre TE-SC ($r = - 0,449$).

De telles corrélations négatives ont été évoquées par l'étude de **Bedjaoui (2019)** et **Allam *et al.* (2021)**, sur des cultivars du patrimoine algérien.

La corrélation négative entre AT-pH ($p < 0,01$; $r = - 0,716$) atteste qu'à une acidité titrable élevée est associé un pH acide. En effet, les cultivars de dattes, communs aux trois régions phœnicicoles : *Aghares*, *Tinnaser* et *Aghamou* dont les acidités titrables sont les plus élevées, comprises entre 0,64 et 0,76 %, enregistrent les pH les plus acides compris entre 5,02 et 5,41.

La corrélation négative entre AT-TE ($p < 0,01$; $r = - 0,591$) atteste que les dattes à faibles TE ont les acidités titrables les plus élevées, comme c'est le cas des cultivars de dattes : *Aghamou* *Aghares* et *Tinnaser* dont les teneurs en eau sont faibles, ne dépassant pas les 17 %, et qui affichent les acidités titrables les plus élevées comprises entre 0,64 et 0,76 %.

Par ailleurs, le test de Pearson a indiqué de fortes corrélations positives, particulièrement pour les paramètres TE-pH ($p < 0,01$; $r = 0,738$). En effet, nous avons remarqué que les dattes avec des teneurs en eau dépassant les 30 % ont des pH élevés, comme c'est le cas particulièrement des cultivars : *Adâam Bullah*, *Adekli*, *Agaz*, *Ahartane*, *Bamakhlouf*, *Mes'Udia* et *Ouarglia* dont les pH sont supérieurs à 6,6.

En outre, la corrélation positive entre TE-SR ($r = 0,404$) et la corrélation négative entre TE-SC ($r = - 0,449$) stipulent que les dattes de consistance « molle », connues pour leurs TE élevées sont plus riches en sucres réducteurs et que les dattes de consistance « sèche », à faibles TE, sont plutôt riches en saccharose, comme cela a été démontré par **Açourene *et al.* (2001)** et **Allam *et al.* (2021)**.

Aussi, une forte corrélation négative est observée entre SR-SC ($p < 0,01$; $r = - 0,864$), comme cela a été relevé par **Bedjaoui (2019)** et **Açourene *et al.* (2001)**.

Notons la corrélation positive modérée entre SR-pH ($p < 0,05$; $r = 0,510$) et la corrélation négative modérée entre SC-pH ($r = - 0,524$), stipulant que les dattes à pH élevés seraient plus riches en sucres réducteurs, comme c'est le cas de la majorité des cultivars analysés, et que les dattes à pH acides seraient plutôt riches en saccharose, comme c'est le cas des deux cultivars de dattes : *Aghares* et *Tinnaser*.

Aussi, une corrélation positive est observée entre AT-SC ($r = 0,41$). En effet, les cultivars de dattes riches en saccharose affichent les acidités titrables les plus élevées, comme c'est le cas des dattes des cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Aghares* et *Tinnaser*.

Pour les composés phénoliques (PT, FT et TC) des 20 extraits ternaires, nous notons des corrélations positives modérées entre les PT-FT ($p < 0,01$; $r = 0,604$) et FT-TC ($p < 0,01$; $r = 0,608$) et une forte corrélation positive entre PT-TC ($p < 0,01$; $r = 0,807$).

Il y a lieu de relever les corrélations positives observées entre AT-FT ($p < 0,05$; $r = 0,551$) et entre AT-TC ($p < 0,05$; $r = 0,507$). Il y a lieu de mentionner l'implication des composés phénoliques, dont les flavonoïdes et les tanins condensés, dans l'amertume, la saveur, l'astringence et l'acidité des fruits (Medel-Marabolí *et al.*, 2017).

Tableau 21 : Matrice de corrélation globale des variables biométriques, physico-chimiques et biochimiques des vingt cultivars de dattes.

Variables	PD	PP	PN	TE	pH	AT	Cd	MG	Prt	ST	SR	SC	PT	FT	TC
PD	1														
PP	0,999**	1													
PN	0,669	0,641	1												
TE	0,407	0,386	0,706**	1											
pH	0,636**	0,623**	0,694**	0,738**	1										
AT	-0,564**	-0,568**	-0,361	-0,591**	-0,716**	1									
Cd	0,154	0,165	-0,104	-0,111	-0,125	-0,135	1								
MG	0,018	0,014	0,135	0,348	0,010	-0,49	0,304	1							
Prt	-0,166	-0,164	-0,110	-0,392	-0,076	0,314	-0,074	-0,207	1						
ST	-0,129	-0,139	-0,037	-0,361	-0,379	0,344	0,132	0,081	-0,053	1					
SR	0,336	0,331	0,297	0,404	0,510*	-0,354	-0,115	0,047	-0,066	-0,455*	1				
SC	-0,277	-0,280	-0,160	-0,449	-0,524	0,410	0,145	0,017	0,010	0,841**	-0,864**	1			
PT	0,040	0,033	0,053	-0,084	-0,233	0,391	-0,039	0,250	-0,174	0,288	0,002	0,162	1		
FT	-0,457*	-0,455*	-0,423	-0,283	-0,559*	0,551*	-0,207	0,048	-0,017	-0,039	-0,107	0,043	0,604**	1	
TC	-0,082	-0,084	-0,154	-0,245	-0,285	0,507*	0,052	-0,050	-0,019	0,168	-0,021	0,107	0,807**	0,608**	1

** : La corrélation est significative au niveau 0,01.

* : La corrélation est significative au niveau 0,05.

PD : Poids Datte ; **PP** : Poids Pulpe ; **PN** : Poids Noyau ; **TE** : Teneur en Eau ; **AT** : Acidité Titrable ; **Cd** : Cendres ; **MG** : Matières Grasses (ou Lipides) ; **Prt** : Protéines ; **ST** : Sucres Totaux ; **SR** : Sucres Réducteurs ; **SC** : Saccharose ; **PT** : Polyphénols Totaux ; **FT** : Flavonoïdes Totaux ; **TC** : Tanins Condensés.

IV.6.1.2. Cercles de corrélation

Le recours à l'analyse en composantes principales (ACP) permet de déterminer le degré de divergence entre les cultivars étudiés, en mettant en évidence les caractéristiques les plus distinctives à utiliser pour les différencier. L'ACP a été réalisée sur la base des 12 variables physico-chimiques et biochimiques. L'axe 1 représente 35 % de variabilité et l'axe 2 représente 18,6 % de variabilité (Figure 55).

La variabilité des 20 cultivars de dattes analysés, sur la base des 12 paramètres (TE, pH, AT, ST, SR, SC, Cd, MG, Prt, PT, FT et TC), peut être expliquée à travers les axes 1 et 2 avec un cumulé de 53,6 %.

Le cercle de corrélation des variables physico-chimiques et biochimiques (Figure 55) indique que presque toutes les variables physico-chimiques : teneur en eau (TE), acidité titrable (AT), saccharose (SC), pH, sucres réducteurs (SR) et les composés phénoliques (PT, FT et TC) sont proches du cercle, avec des corrélations positives. Quant aux cendres (Cd), protéines (Prt) et lipides (MG), ils s'éloignent du cercle et indiquent des corrélations faibles conformément aux résultats de la matrice de corrélation globale, avec des indices de Pearson très faibles (Tableau 21 et Figure 55).

Dans l'ensemble, les résultats du cercle de corrélation impliquant les variables physico-chimiques et biochimiques sont en adéquation avec ceux indiqués par la matrice de corrélation globale (Tableau 21), où le cercle de corrélation indique des corrélations négatives entre AT-pH, entre AT-TE, entre AT-SR, entre SC-TE, entre pH-SC et entre SR-SC, conformément aux résultats de la matrice de corrélation (Tableau 21 et Figure 55).

Le cercle de corrélation indique également que les variables PT, FT et TC sont proches du cercle révélant de fortes corrélations positives observées entre les composés phénoliques (Figure 55) ; conformément à la matrice de corrélation globale (Tableau 21) qui indique des indices de Pearson supérieurs à 0,5 entre PT-FT ($p < 0,01$; $r = 0,604$), PT-TC ($p < 0,01$; $r = 0,807$) et FT-TC ($p < 0,01$; $r = 0,608$).

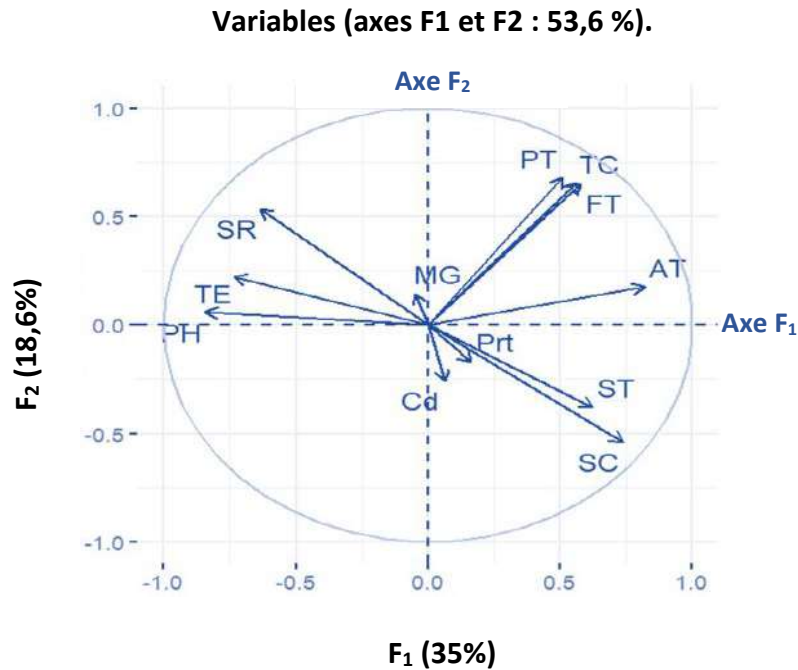


Figure 55 : Cercle de corrélation des variables physico-chimiques et biochimiques.

TE : Teneurs en eau ; **AT :** Acidité titrable ; **Cd :** Cendres ; **MG :** Matière Grasses (ou Lipides) ;
Prt : Protéines ; **ST :** Sucres Totaux ; **SR :** Sucres Réducteurs ; **SC :** Saccharose ; **PT :** Polyphénols totaux ; **FT :** Flavonoïdes totaux ;
TC : Tanins condensés.

IV.6.1.3. Projection des cultivars de dattes par rapport aux variables physico-chimiques et biochimiques

La projection des vingt (20) cultivars de dattes (Figure 56), par rapport aux 12 variables physico-biochimiques et biochimiques, fait ressortir deux groupes bien distincts. L'ACP a permis d'opposer les dattes de consistance « sèche » et celles de consistance « molle » ; particulièrement sur la base des paramètres représentés par les SR (sucres réducteurs), le SC (saccharose), la teneur en eau (TE).

En effet, les cultivars de dattes de consistance « molle » forment un petit groupe bien distinct et sont caractérisés par des TE élevées dépassant les 35 % et des teneurs en SR élevées dépassant les 45 %. C'est le cas des quatre (04) cultivars précoces et communs aux trois régions phœnicicoles : *Ouarglia* (OIA), *Cheikh M'Hamed* (CMD), *Mes'Udia* (MUD) et *Bamaklouf* (BUF) (Figure 56). Par ailleurs, ces cultivars de dattes se distinguent également par des acidités titrables ne dépassant pas les 0,32 % et des pH élevés.

À ce groupe, s'opposent les cultivars de dattes de consistance « sèche », qui sont particulièrement caractérisés par des TE les plus faibles ne dépassant pas les 20 % et des teneurs en SC élevées dépassant les 40 %. C'est le cas des dattes des cultivars communs aux trois régions phœnicicoles : *Aghares* (AES), *Tinnaser* (TER) et *Tinnaqor* (TOR) (Figure 56).

De telles observations ont été démontrées par de nombreux travaux attestant que les paramètres TE, SR et SC sont des caractères discriminants pour classer les cultivars de dattes en classe de consistance sur la base des teneurs en eau et de la nature des sucres (Estanove, 1990 ; Reynes *et al.*, 1994 ; Açourene *et al.*, 2001 ; Allam *et al.*, 2021).

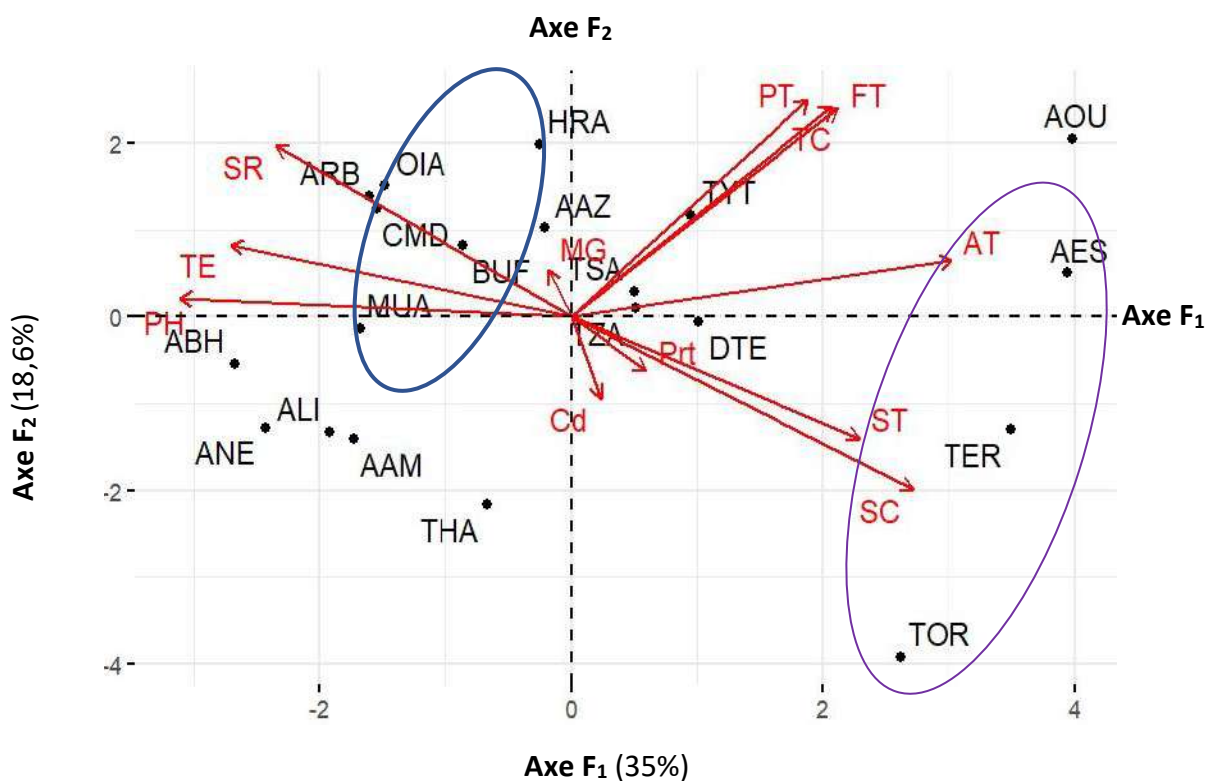


Figure 56 : Projection des vingt cultivars de dattes par rapport aux variables physico-chimiques et biochimiques.

AAM : Abdeslam ; *ABH* : Adâam Bullah ; *ARB* : Adâam Robb ; *ALI* : Adekli ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *BUF* : Bamaklouf ; *CMD* : Cheikh M'Hamed ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *MUD* : Mes'Udia ; *OIA* : Ouarglia ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *THA* : Timliha ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

TE : Teneurs en eau ; **AT** : Acidité titrable ; **Cd** : Cendres ; **MG** : Matières Grasses (ou Lipides) ; **Prt** : Protéines ; **ST** : Sucres Totaux ; **SR** : Sucres Réducteurs ; **SC** : Saccharose ; **PT** : Polyphénols totaux ; **FT** : Flavonoïdes totaux ; **TC** : Tanins condensés.

IV.6.2. Analyses par Clustering

IV.6.2.1. Clustering K-Means

Sur les vingt (20) cultivars de dattes, nous avons réalisé un clustering par la méthode du clustering K-Means qui est un algorithme qui permet de classer un ensemble de données dans un nombre de clusters. Essentiellement, l'objectif principal de l'analyse des clusters est de déterminer des ensembles d'entités analogues, où les entités d'un cluster donné présentent un plus grand degré de similitude entre elles qu'avec celles des autres clusters (Govender and Sivakumar, 2020). IL a été réalisé par rapport aux variables des composés phénoliques : PT, FT et TC (Figure 57).

Les vingt (20) cultivars de dattes ont affiché une forte variabilité entre eux, car ils sont dispersés et répartis en différents clusters. La classification K Means a permis de classer les vingt (20) extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire en 04 clusters (Figure 57) :

- Le cluster 1 regroupe le plus grand nombre de cultivars, huit (08) : *Aghares (AES)*, *Hmira (HRA)*, *Agaz (AAZ)*, *Deglet Talmine (DTE)*, *Bamakhlouf (BUF)*, *Ouarglia (OIA)*, *Taqerbucht Safra (TSA)* et *Aghamou (AOU)*. Les cultivars de ce cluster se distinguent par des teneurs en PT les plus élevées. Ces teneurs sont comprises entre $297,71 \pm 3,14$ (HRA) et $421,15 \pm 1,53$ (AOU) mg EAG/100 g MS. Il y a lieu de noter que, dans ce cluster, les trois cultivars *Agaz (AAZ)*, *Deglet Talmine (DTE)* et *Bamakhlouf (BUF)* sont proches les uns des autres et se distinguent par leur richesse en TC, dépassant les 50 mg EC/100 g MS, par rapport aux FT. Les cultivars *Aghares (AES)* et *Hmira (HRA)* sont proches et se caractérisent par des teneurs en TC assez proches. Quant au cultivar *Aghamou (AOU)*, il s'éloigne du reste des cultivars, du fait que c'est le cultivar qui affiche les teneurs en PT, FT et TC les plus élevées (Figure 57) ;
- Le cluster 2, représenté par un seul cultivar *Ahartane (ANE)*, s'oppose aux trois clusters par le fait que c'est le seul cultivar qui se caractérise par des teneurs en PT et FT les plus faibles, respectivement de $97,75 \pm 12,10$ mg EAG/100 g MS et de $14,46 \pm 0,13$ mg EC/100g MS (Figure 57) ;
- Le cluster 3 regroupe les cinq cultivars de dattes *Cheikh M'Hamed (CMD)*, *Tgazza (TZA)*, *Tinnaser (TER)*, *Tazarzeyt (TYT)* et *Mes'Udia (MUA)*, dont les teneurs en PT sont assez proches et comprises entre $246,13 \pm 6,84$ (CMD) et $287,87 \pm 9,01$ (TYT) mg EAG/100 g MS.

Dans ce même cluster, le cultivar *Mes'Udia* (MUA) se détache des quatre autres cultivars par le fait que c'est le cultivar qui affiche dans ce cluster les teneurs en FT et TC les plus faibles, respectivement de $30,85 \pm 0,91$ et $25,02 \pm 0,90$ mg EC/100 g MS. Quant aux cultivars *Tgazza* (TZA) et *Tinnaser* (TER), ils se rapprochent par leurs teneurs en PT très proches, respectivement de $268,23 \pm 12,07$ et de $265,56 \pm 2,75$ mg EAG/100g MS (Figure 57) ;

- Le cluster 4 se distingue des autres clusters en regroupant les six (06) cultivars *Timliha* (THA), *Tinnaqor* (TOR), *Adâam Bullah* (ABH), *Adekli* (ALI), *Abdeslam* (AAM) et *Adâam Robb* (ARB) et qui se caractérisent par le fait que ce sont les cultivars qui affichent les teneurs en PT les plus faibles par rapport aux clusters 1 et 3, ne dépassant pas les 200 mg EAG/100 g MS, avec des teneurs comprises entre $141,84 \pm 1,29$ (THA) et $172,40 \pm 0,73$ (ARB) mg EAG/100g MS. Toujours dans le cluster 4, il y a lieu de noter que le cultivar *Adâam Robb* (ARB) se détache des cinq autres cultivars, du fait qu'il affiche dans ce cluster non seulement la teneur la plus élevée en PT de $172,40 \pm 0,73$ mg EAG/100 g MS, mais également les teneurs les plus élevées en FT et TC, respectivement de $52,63 \pm 1,91$ et $40,65 \pm 4,10$ mg EC/100 g MS (Figure 57).

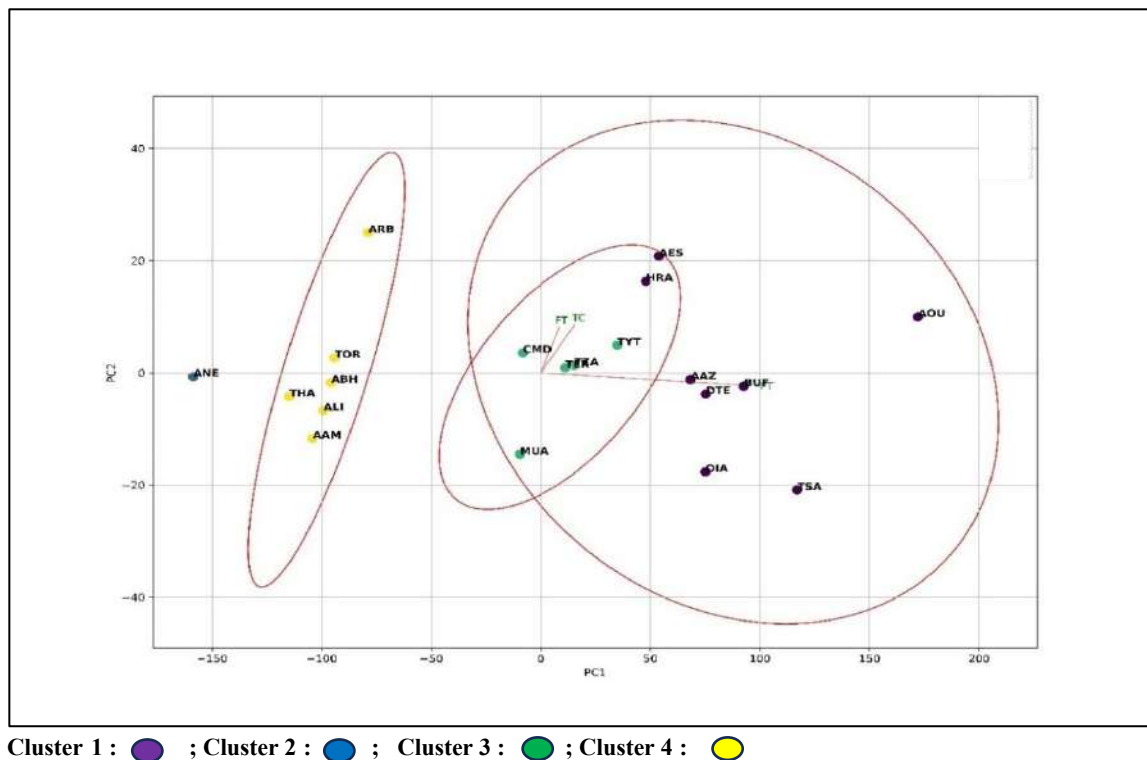


Figure 57 : ACP couplée à une classification ascendante hiérarchique **K-Means** des vingt extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire, selon les trois variables PT, FT et TC.

AAM : Abdeslam ; *ABH* : Adâam Bullah ; *ARB* : Adâam Robb ; *ALI* : Adekli ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *BUF* : Bamaklouf ; *CMD* : Cheikh M'Hamed ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *MUD* : Mes'Udia ; *OIA* : Ouarglia ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *THA* : Timliha ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.
PT : Polyphénols totaux ; **FT** : Flavonoïdes totaux ; **TC** : Tanins condensés.

IV.6.2.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)

Pour les 12 cultivars de dattes des extraits ternaires, impliqués par les tests antioxydants, nous avons réalisé une classification ascendante hiérarchique (CAH) selon la méthode de Ward et le critère d'agrégation de la distance euclidienne, utilisée comme mesure de similarité (Szekely and Rizzo, 2005). Elle a été réalisée sur la base des trois variables : PT, FT et TC.

La CAH des 12 extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire est illustrée à travers le dendrogramme de la figure 58. Elle a permis de classer les 12 cultivars de dattes en 04 clusters distincts :

- Le cluster C1 regroupe trois (03) cultivars : *Adâam Bullah* (ABH), *Tinnaqor* (TOR) et *Ahartane* (ANE). Les dattes de ces trois cultivars se distinguent par leurs teneurs les plus faibles en PT, comprises entre $97,95 \pm 12,10$ (ANE) et $161,03 \pm 12,02$ (TOR) mg EAG/100 g MS. Le cultivar *Ahartane* (ANE) se détache des deux autres du fait qu'il affiche particulièrement les teneurs les plus faibles en FT de $14,46 \pm 0,13$ mg EC/100g MS (Figure 58) ;
- Le cluster C2 regroupe quatre (04) cultivars : *Agaz* (AAZ), *Deglet Talmine* (DTE), *Tgazza* (TZA) et *Taqerbucht Safra* (TSA), qui se caractérisent particulièrement par des teneurs en FT, assez proches entre elles et comprises entre $32,07 \pm 0,46$ (TSA) et $37,96 \pm 2,53$ (AAZ) mg EC/100 g MS. Leurs teneurs en TC sont comprises entre $46,77 \pm 0,81$ (TSA) et $59,44 \pm 0,23$ (DTE) mg EC/100 g MS (Figure 58) ;
- Le cluster C3 regroupe deux (02) cultivars : *Tazarzeyt* (TYT) et *Tinnaser* (TER), qui se caractérisent par des teneurs en PT très proches entre elles, de $287,87 \pm 9,01$ (TYT) et $265,56 \pm 2,75$ (TER) mg EAG/100 g MS. De même que des teneurs en FT très proches, de $53,60 \pm 2,34$ (TYT) et $51,36 \pm 0,92$ (TER) mg EC/100 g MS (Figure 58) ;
- Le cluster C4 regroupe les trois (03) cultivars *Aghamou* (AOU), *Aghares* (AES) et *Hmira* (HRA). Ces trois cultivars se distinguent particulièrement par leur richesse en TC, dont les teneurs dépassent les 60 mg EC/100 g MS. Par ailleurs, dans ce même cluster, le cultivar (AOU) se détache des cultivars (AES) et (HRA) du fait que ce dernier est le plus riche en PT, FT et TC avec des teneurs respectivement de $421,15 \pm 1,53$ mg EAG/100 g MS ; $59,53 \pm 3,76$ mg EC/100 g MS et $76,42 \pm 1,45$ mg EC/100 g MS (Figure 58).

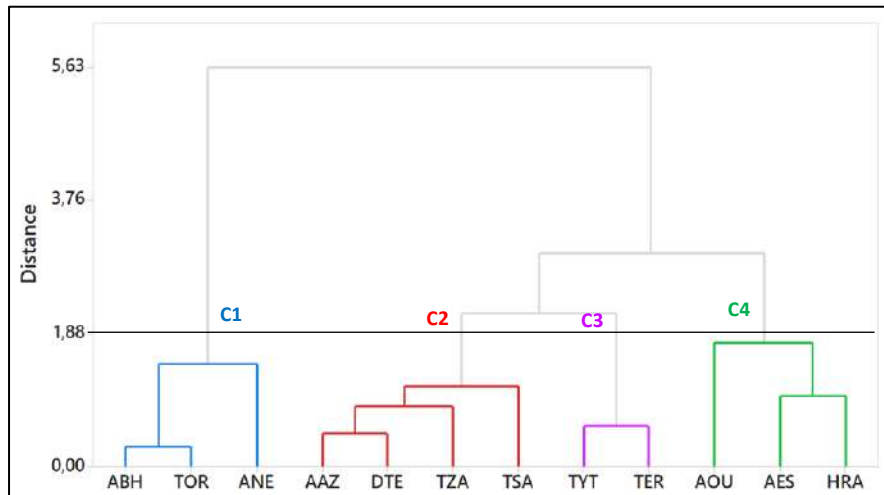


Figure 58 : Classification ascendante hiérarchique (CAH) selon les trois variables PT, FT et TC des douze extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire.

ABH : Adâam Bullah ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.
 PT : Polyphénols totaux ; FT : Flavonoïdes totaux ; TC : Tanins condensés.

Nous avons également réalisé une classification ascendante hiérarchique (CAH), selon la méthode de Ward et le critère d'agrégation de la distance euclidienne, sur la base des variables relatives aux trois tests antioxydants (DPPH, ABTS et FRAP).

La CAH des 12 extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire, selon les trois tests antioxydants (DPPH, ABTS et FRAP), est illustrée à travers le dendrogramme de la figure 59. Elle a permis de distinguer 04 clusters :

- Le cluster C1, étant le plus petit cluster, regroupant les deux (02) cultivars *Adâam Bullah* (ABH) et *Tinnaqor* (TOR). Ces deux cultivars de dattes se distinguent par leurs capacités antioxydantes (CA) les plus faibles, démontrées à travers les trois tests antioxydants.

En effet, dans le test DPPH, les cultivars *Adâam Bullah* (ABH) et *Tinnaqor* (TOR) affichent les EC_{50}^{DPPH} les plus faibles, respectivement de $0,181 \pm 0,01$ et $0,175 \pm 0,01$ mg/mL. De même que dans le test ABTS, les cultivars (ABH) et (TOR) affichent les CA les plus faibles, respectivement de $913,46 \pm 26,45$ et $865,19 \pm 14,01$ μ moles ET/100 g MS.

Ainsi que dans le test du pouvoir réducteur (FRAP), ces deux cultivars (ABH) et (TOR) affichent les CA les plus faibles, de $863,50 \pm 69,96$ (ABH) et $981,83 \pm 27,61$ (TOR) $\mu\text{moles ET}/100 \text{ g MS}$ (Figure 59) ;

- Le cluster C2 regroupe trois (03) cultivars : *Agaz* (AAZ), *Tazarzeyt* (TYT) et *Tinnaser* (TER). Ces trois cultivars se distinguent par le fait que ce sont les cultivars les plus puissants par rapport au test DPPH, avec des EC_{50}^{DPPH} très proches de celui de l'acide ascorbique de $0,034 \pm 0,00 \text{ mg/mL}$. En effet, ces trois cultivars (AAZ), (TYT) et (TER) affichent respectivement des EC_{50}^{DPPH} de $0,029 \pm 0,00$; $0,032 \pm 0,00$ et $0,026 \pm 0,01 \text{ mg/mL}$.

Par ailleurs, dans ce même cluster, les deux cultivars (TYT) et (TER) se détachent du cultivar (AAZ) par le fait que ces deux cultivars affichent des CA proches par le test à l'ABTS, de $1264,62 \pm 8,81$ (TYT) et $1231,85 \pm 59,53$ (TER) $\mu\text{moles ET}/100 \text{ g MS}$. De même que par le test FRAP, avec des CA proches de $1559,70 \pm 53,19$ (TYT) et $1531,94 \pm 81,10$ (TER) $\mu\text{moles ET}/100 \text{ g MS}$ (Figure 59) ;

- Le cluster C3 regroupe les quatre (04) cultivars : *Aghamou* (AOU), *Hmira* (HRA), *Aghares* (AES) et *Tgazza* (TZA). Ces quatre cultivars se distinguent par le fait que ce sont les cultivars les plus puissants, affichant les meilleurs CA dans les deux tests ABTS et FRAP, avec des CA dépassant les $1600 \mu\text{moles ET}/100 \text{ g MS}$. En effet, pour le test ABTS, la CA des 04 cultivars (AOU), (HRA), (AES) et (TZA) est comprise entre $1668,98 \pm 61,16$ (TZA) et $1815,16 \pm 52,72$ (AOU) $\mu\text{moles ET}/100 \text{ g MS}$. Ainsi que pour le test FRAP, la CA des 04 cultivars (AOU), (HRA), (AES) et (TZA) est comprise entre $1611,45 \pm 95,71$ (TZA) et $1980,46 \pm 97,00$ (AOU) $\mu\text{moles ET}/100 \text{ g MS}$ (Figure 59).

Il y a lieu de souligner que, dans ce même cluster, les cultivars (AOU) et (HRA) se distinguent en se détachant des deux autres cultivars par le fait que ce sont les cultivars les plus puissants dans les deux tests ABTS et FRAP ;

- Le cluster C4 regroupe les trois (03) cultivars : *Ahartane* (ANE), *Deglet Talmine* (DTE) et *Taqerbucht Safra* (TSA). Ces trois cultivars de dattes se distinguent à travers le test ABTS, avec des CA qui se rapprochent de $1567,46 \pm 26,29$ (DTE) à $1584,03 \pm 4,34$ (TSA) $\mu\text{moles ET}/100 \text{ g MS}$. Le cultivar *Taqerbucht Safra* (TSA) se détache des deux autres cultivars par sa CA la plus faible, affichée à travers le test FRAP de $1210,85 \pm 105,40$ (Figure 59).

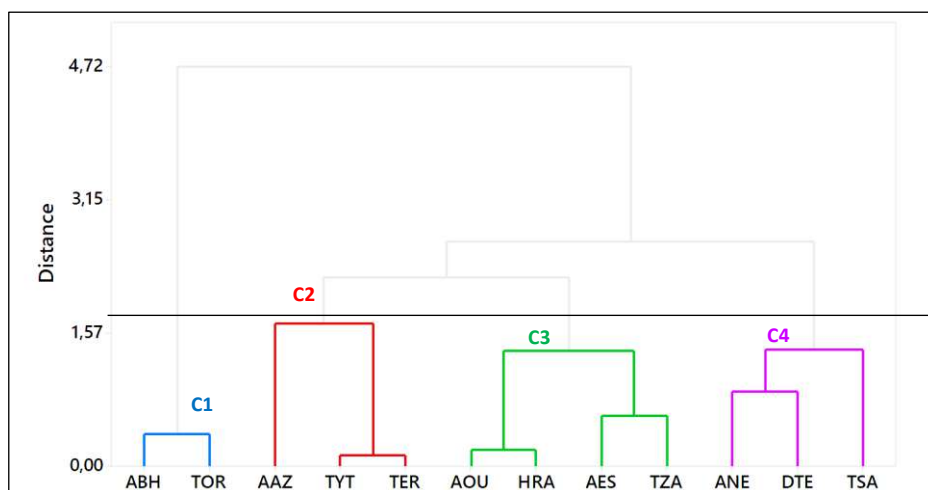


Figure 59 : Classification ascendante hiérarchique (CAH) selon les trois variables des tests antioxydants DPPH, ABTS et FRAP des douze extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaire.

ABH : Adâam Bullah ; *AAZ* : Agaz ; *AOU* : Aghamou ; *AES* : Aghares ; *ANE* : Ahartane ; *DTE* : Deglet Talmine ; *HRA* : Hmira ; *TSA* : Taqerbucht Safra ; *TYT* : Tazarzeyt ; *TZA* : Tgazza ; *TOR* : Tinnaqor ; *TER* : Tinnaser.

IV.6.3 Matrice de corrélation entre les composés phénoliques et la capacité antioxydante

Plusieurs études ont fait état d'une corrélation significative entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante dans des extraits de dattes (**Mansouri *et al.*, 2005** ; **Biglari *et al.*, 2008** ; **Allaith, 2008** ; **Bouhlali *et al.*, 2017** ; **Pakkish and Mohammadrezakhani, 2020** ; **Tassoult *et al.*, 2021**). Une telle corrélation positive a également été démontrée dans des extraits de folioles des palmes (**Kriaa *et al.*, 2012**), ainsi que dans d'autres extraits de plantes (**Aryal *et al.*, 2019**).

Les résultats de l'analyse de corrélation entre les composés phénoliques (PT, FT et TC) et la capacité antioxydante (évaluée par les tests au DPPH, à l'ABTS et au FRAP) des douze (12) extraits de cultivars de dattes de mixture ternaire sont reportés dans le tableau 22.

Il y a lieu de rappeler que la matrice de corrélation globale, impliquant les vingt extraits de cultivars de dattes de mixture ternaire, a démontré de fortes corrélations positives entre les composés phénoliques : les PT et FT ($p < 0,01$; $r = 0,604$), FT et TC ($p < 0,01$; $r = 0,608$). La corrélation étant nettement forte entre les PT et les TC ($p < 0,01$; $r = 0,807$) (Tableau 22).

Tableau 22 : Coefficient de corrélation “Pearson” entre l’activité antioxydante et les composés phénoliques des douze extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaïre.

	PT	FT	TC	EC50 ^{DPPH}	ABTS	FRAP
PT	1					
FT	0,643*	1				
TC	0,851**	0,601*	1			
EC50 ^{DPPH}	-0,689*	-0,753**	-0,566	1		
ABTS	0,602*	0,263	0,795**	-0,488	1	
FRAP	0,587*	0,602*	0,798**	-0,632*	0,782**	1

PT : Polyphénols Totaux ; FT : Flavonoïdes Totaux ; TC : Tanins Condensés.

*corrélation significative à $p < 0,05$

**corrélation significative à $p < 0,01$

Il en est de même pour les douze (12) extraits de cultivars de dattes de mixture ternaïre, sélectionnés pour les tests antioxydants, où nous notons une corrélation positive entre les PT-FT ($p < 0,05$; $r = 0,643$), entre FT-TC ($p < 0,05$; $r = 0,601$). Il est important de souligner la forte corrélation positive linéaire entre PT-TC ($p < 0,01$; $r = 0,851$) (Tableau 22).

L’activité de piégeage du radical libre DPPH[•] a montré une forte corrélation négative entre EC50^{DPPH}- PT ($p < 0,05$; $r = - 0,689$) et une corrélation négative modérée entre EC50^{DPPH} – TC ($r = - 0,566$). La corrélation négative élevée entre EC50^{DPPH} – FT ($p < 0,01$; $r = - 0,753$) impliquerait plus les flavonoïdes dans le piégeage du radical libre DPPH[•]. De fortes corrélations négatives entre l’activité de piégeage du radical libre DPPH[•], exprimée en EC50^{DPPH} et les teneurs en PT et FT ont déjà été observées dans les extraits de pulpes et de noyaux de dattes (**Bouhlali *et al.*, 2015** ; **Bouhlali *et al.*, 2017**).

Quant à la capacité antioxydante (CA), évaluée par le test ABTS, nous avons noté une corrélation positive modérée entre ABTS – PT ($p < 0,05$; $r = 0,602$) et une forte corrélation positive entre ABTS –TC ($p < 0,01$; $r = 0,795$) (Tableau 22). Selon **Hagerman *et al.* (1998)**, les tanins ont une capacité remarquable à neutraliser le radical cation ABTS^{•+}, ce qui pourrait expliquer la forte corrélation positive entre l’activité de piégeage du radical cation ABTS^{•+} et les TC.

Il y a lieu de noter qu’aucune corrélation ($r = 0,263$) n’a été trouvée entre ABTS-FT (Tableau 22), ce qui pourrait suggérer que les flavonoïdes ne sont pas les principaux composants impliqués dans l’activité de piégeage du radical cation ABTS^{•+}.

De plus, une corrélation positive modérée est observée entre le pouvoir réducteur FRAP-PT ($p < 0,05$; $r = 0,587$) et FRAP-FT ($p < 0,05$; $r = 0,602$). Par ailleurs, une forte corrélation positive est observée entre FRAP-TC ($p < 0,01$; $r = 0,798$) (Tableau 22), ce qui suggère que les tanins condensés sont fortement impliqués dans la CA par une capacité de chélation des métaux. En accord avec nos résultats, **Xu and Chang (2007)** ont indiqué une forte corrélation positive entre le test du pouvoir réducteur FRAP et les tanins condensés sur différents extraits de légumineuses.

L'analyse de corrélation établie entre les différents tests de la CA indique une corrélation négative modérée ($p < 0,05$; $r = - 0,632$) entre EC_{50}^{DPPH} – FRAP, comme cela a déjà été révélé par **Bouhlali et al. (2015)** dans les extraits de noyaux de dattes ($r = - 0,599$). De plus, nous avons noté une faible corrélation négative ($r = - 0,488$) entre les activités de piégeage des radicaux DPPH[•] et ABTS^{•+}, ce qui pourrait être attribué aux différents mécanismes impliqués dans les réactions radicalaires-antioxydantes et à la stéréosélectivité des radicaux impliqués (**Wang and Jiao, 2000** ; **Yu et al. 2002**). Dans l'ensemble, les divergences pourraient être liées aux différentes structures chimiques des antioxydants.

En plus des fortes corrélations positives entre ABTS-TC ($p < 0,01$; $r = 0,795$) et entre FRAP-TC ($p < 0,01$; $r = 0,798$), il y a lieu de noter la forte corrélation positive entre les deux tests FRAP et ABTS ($p < 0,01$; $r = 0,782$).

Enfin, les fortes corrélations positives entre ABTS-TC et FRAP-TC suggèrent que les tanins condensés seraient les principaux composés contribuant à l'activité antioxydante des douze extraits des cultivars de dattes de mixture ternaïre, comme l'ont indiqué **Halliwel and Gutteridge (1990)**, ainsi que **Singh et al. (2009)**. Ces derniers ont démontré que les polymères de catéchine pouvaient contribuer de manière significative à la capacité antioxydante.

Il est établi par de nombreux travaux que l'activité antioxydante des polyphénols dépend de leur biodisponibilité et de leur bioefficacité (**Vuolo et al., 2019**). En outre, la CA des composés phénoliques est influencée par plusieurs paramètres, tels que l'arrangement spatial de leurs groupes fonctionnels, le nombre et la position des groupes hydroxyles, ainsi que par leur degré de méthylation, de glycosylation, d'acétylation et de polymérisation (**Wen et al., 2017** ; **Šamec et al., 2021**).

L'analyse de l'ensemble des données peut se résumer en ces points :

- Dans l'ensemble, la matrice de corrélation globale des vingt (20) cultivars de dattes impliquant les quinze (15) variables a révélé une corrélation positive entre TE-SR ($r = 0,404$), une corrélation négative entre TE-SC ($r = - 0,449$), stipulant que les dattes de consistance « molle », connues pour leurs TE élevées, sont plus riches en sucres réducteurs ; alors que les dattes de consistance « sèche » à TE faibles sont plus riches en SC. Une forte corrélation négative entre pH-AT ($p < 0,01$; $r = - 0,716$) est observée, attestant qu'à une acidité titrable élevée est associé un pH acide, comme c'est le cas des dattes des cultivars *Aghamou*, *Aghares* et *Tinnaser* de pH respectivement de 5,41 ; 5,28 et 5,02 auxquels sont associées des acidités titrables respectivement de 0,76 ; 0,72 et 0,64 %.

Par ailleurs, il y a lieu de souligner les fortes corrélations positives observées entre les composés phénoliques : PT-FT ($p < 0,01$; $r = 0,604$), PT-TC ($p < 0,01$; $r = 0,807$) et FT-TC ($p < 0,01$; $r = 0,608$).

- L'analyse en composantes principales (ACP), à travers la projection des cultivars, a démontré que particulièrement les variables TE, SR et SC sont les caractères les plus discriminants permettant de distinguer deux groupes qui s'opposent. Un groupe regroupant les 04 cultivars : *Ouarglia* (OIA), *Cheikh M'Hamed* (CMD), *Mes'Udia* (MUD) et *Bamaklouf* (BUF) à TE élevées, riches en SR. À ce groupe s'oppose un autre groupe englobant les cultivars de dattes à TE faibles, riches en SC. C'est le cas des cultivars de dattes : *Aghares* (AES), *Tinnaser* (TER) et *Tinnaqor*.
- La méthode du clustering K-Means, sur la base des variables PT, FT et TC, a permis de classer les vingt (20) extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire en 4 clusters. Dans l'ensemble, les clusters 1 et 3 regroupent les cultivars de dattes qui affichent des teneurs en PT dépassant les 240 mg EAG/100 g MS.
Le cluster 4 regroupe les cultivars de dattes dont les teneurs en PT ne dépassent pas les 200 mg EAG/100 g MS. Le cluster 2 se distingue nettement des autres clusters par le seul cultivar tardif *Ahartane* (ANE), se caractérisant par les teneurs en PT et FT les plus faibles.
- La classification ascendante hiérarchique (CAH), réalisée selon les variables PT, FT et TC, a permis de classer les 12 cultivars de dattes en quatre (4) clusters. Le cluster 1 se distingue des trois autres clusters par le fait qu'il regroupe les trois cultivars de dattes :

Adâam Bullah (ABH), *Tinnaqor* (TOR) et *Ahartane* (ANE), dont les teneurs en PT sont les plus faibles. Le cluster 4 se distingue des autres clusters par le fait qu'il regroupe les trois cultivars de dattes les plus riches en TC : *Aghamou* (AOU), *Aghares* (AES) et *Hmira* (HRA) dépassant les 60 mg EC/100 g MS.

- La classification ascendante hiérarchique (CAH), réalisée selon les variables : EC50^{DPPH}, ABTS et FRAP, a permis de classer les 12 extraits ternaires en quatre (4) clusters. Le cluster 1, étant le plus petit cluster regroupant les deux (02) cultivars *Adâam Bullah* (ABH) et *Tinnaqor* (TOR), avec les plus faibles CA à travers les trois tests antioxydants. Le cluster 2 se distingue en regroupant les trois cultivars de dattes : Agaz (AAZ), *Tazarzeyt* (TYT) et *Tinnaser* (TER) les plus puissants par le test au DPPH. Le cluster 3 regroupe les quatre cultivars : *Aghamou* (AOU), *Hmira* (HRA), *Aghares* (AES) et *Tgazza* (TZA) et dont la CA, évaluée par l'ABTS et le FRAP, est élevée dépassant les 1600 μ moles ET/100 g MS.
- Le test de corrélation de Pearson a révélé des fortes corrélations positives entre ABTS-TC ($p < 0,01$; $r = 0,795$) et entre FRAP-TC ($p < 0,01$; $r = 0,798$), ce qui suggère que les TC sont les principaux composants impliqués dans la CA des douze extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire.

IV.7. Discussion générale sur les polyphénols et la capacité antioxydante

Nous clôturons ce chapitre par cette discussion synthétique mettant l'accent sur la multitude de facteurs influençant les teneurs en composés phénoliques et leur potentiel antioxydant.

La mixture ternaire (MeOH-acétone-eau ; 7/7/6, V/V/V) choisie, dans la présente étude, a donné des teneurs en PT, FT et TC appréciables auxquelles sont associées des CA importantes, décelées par les trois tests. De nombreux travaux stipulent que les meilleures combinaisons de solvants impliquant les mixtures de solvants ternaires et quaternaires permettent d'obtenir des teneurs en composés phénoliques et des activités antioxydantes élevées (Lonni *et al.*, 2012 ; Teh *et al.*, 2014 ; Alcântara *et al.*, 2019).

Par ailleurs, l'activité antioxydante peut également être influencée par les éventuels effets synergiques ou antagonistes des polyphénols, que ce soit entre eux ou avec d'autres composés non phénoliques (Lonni *et al.*, 2012).

Dans l'ensemble, les teneurs en composés phénoliques dépendraient d'autres facteurs environnementaux, tels que les aires géographiques avec leurs conditions climatiques, les facteurs agropédologiques avec les types de conduites culturales, les méthodes, les conditions et les durées de stockage (**Wang , 2006 ; Biglari *et al.*, 2009 ; Besbes *et al.*, 2009 ; Souli *et al.*, 2018 ; Zakraoui *et al.*, 2023**).

Étant donné l'ampleur des facteurs impliquant des variations dans les taux d'antioxydants, il est difficile d'isoler sans équivoque les facteurs liés au facteur variétal, aux méthodes d'extractions, aux conditions climatiques et aux conduites agricoles ayant une incidence moindre ou significative sur la teneur en PT et leur CA.

De nombreuses études rapportent que les teneurs en composés phénoliques des fruits et des légumes dépendent des stades de maturation. En effet, de nombreux travaux ont démontré les variations des teneurs en composés phénoliques selon les stades de maturation de la datte (**Al-Farsi *et al.*, 2007 ; Besbes *et al.*, 2009 ; Amira *et al.*, 2012 ; Lemine *et al.*, 2014 ; Sayah, 2018 ; Tassoult *et al.*, 2021**). Cela a été également démontré dans d'autres fruits, tels que les fraises (**Williner *et al.*, 2003**) et les bleuets (**Ribera *et al.*, 2010**), dont les teneurs en composés phénoliques varient sensiblement selon leur stade de maturation.

Aussi, de nombreux travaux attestent que les teneurs en composés phénoliques des fruits et légumes dépendent également du facteur variétal, comme cela a été démontré dans les cultivars de dattes (**Al-Farsi *et al.*, 2007 ; Al-Turki *et al.*, 2010 ; Al-Harrasi *et al.*, 2014 ; Bouhlali *et al.*, 2017; Belguedj *et al.*, 2023**), dans les cultivars de poires (**Galvis Sánchez *et al.*, 2003**), de prunes (**Kim *et al.*, 2003**) et de pommes (**Kalinowska *et al.*, 2014**).

En outre, des études menées sur des cultivars de fraises et de bleuets attestent que les teneurs de certains composés phénoliques, particulièrement les flavonols, varient avec des différences significatives selon les variétés (**Kähkönen *et al.*, 2001**). En plus des fruits, l'incidence du facteur variétal sur les teneurs en composés phénoliques a été démontrée dans les légumes avec l'étude de **Kurilich *et al.* (2002)**, qui indique des variations dans huit variétés de brocolis. Dans les céréales, **Adom *et al.* (2003)** démontrent dans onze variétés de blé que les teneurs en acide férulique varient avec des différences significatives entre les cultivars.

Les méthodes de traitement post-récolte et de conservation influent également sur les teneurs en PT et la CA. Cela a été démontré par **Asami *et al.* (2003)**, qui ont examiné l'incidence de trois méthodes courantes de transformation post-récolte : la congélation, la lyophilisation et le séchage à l'air, et cela, sur des cultures de fraises, de mûres et de maïs. Les teneurs les plus élevées en PT ont été systématiquement trouvées en premier dans les échantillons congelés, suivis des échantillons lyophilisés, ensuite des échantillons séchés à l'air. **Sokac *et al.* (2022)** rapportent également l'incidence des différents *processus de séchage* sur les composés phénoliques, particulièrement sur les tanins.

Il est également important de souligner que les teneurs en PT et la CA dépendent des conduites culturales pratiquées, selon qu'il s'agisse *de* cultures sous la régie conventionnelle (utilisation d'engrais et de pesticides) ou *de* cultures biologiques (à faible niveau d'intrants ou charge d'intrants quasi nulle). En effet, les travaux de **Carbonaro *et al.* (2002)** ont souligné que les pêches biologiques enregistraient une teneur en composés phénoliques d'environ 33 %, supérieure à celle des pêches conventionnelles. **Levite *et al.* (2000)** ont corroboré le même fait, démontrant que les raisins biologiques contenaient, en moyenne, 32 % plus de resvératrol (un polyphénol abondant dans les raisins) que les échantillons conventionnels.

En outre, l'utilisation du compost dans les conduites culturales et son incidence sur la teneur en PT et sur la CA ont été soulignées par **Wang and Lin (2003)**, qui ont démontré que les teneurs en certains flavonoïdes des fraises étaient pratiquement 50 % plus élevées dans les pots contenant du compost.

L'effet de la qualité et de la texture des sols a été souligné par **Lester and Eischen (1996)** sur des variétés de melons. Leur étude a démontré que les concentrations en bêta-carotène variaient en fonction des variétés de melons et également en fonction des types de sols. Les fruits cultivés sur des sols de type « limon argilo-siliceux » contenaient plus de bêta-carotène que ceux cultivés dans des sols de limono-sableux fins.

Enfin, beaucoup plus récemment, suite à l'intérêt et l'urgence que suscitent les changements climatiques, des travaux s'orientent de plus en plus à étudier l'effet du stress thermique (**Alhaithloul *et al.*, 2021**), du stress hydrique (**Nina *et al.*, 2023**), du stress salin (**Sogoni *et al.*, 2021**) sur la composition phytochimique et l'activité antioxydante.



CONCLUSION
ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'analyse biométrique a permis d'identifier un total de onze (11) cultivars de dattes : *Abdeslam*, *Adâam Bullah*, *Adâam Robb*, *Adekli*, *Agaz*, *Bamaklouf*, *Deglet Talmine*, *Mes'Udia*, *Ouarglia*, *Taqerbucht Safra* et *Tinnaqor*, particulièrement remarquables en raison de leur pourcentage de pulpe significativement élevé, atteignant les 90 %.

En ce qui concerne la teneur en eau (TE), paramètre critique nous renseignant sur les aptitudes de la datte à la conservation, il ressort que onze (11) cultivars de dattes ont des teneurs en eau comprises entre 14,28 % (*Tinnaser*) et 30,24 % (*Taqerbucht Safra*), ce qui peut être en faveur d'une conservation plus prolongée, particulièrement les dattes des cultivars : *Deglet Talmine*, *Adâam Robb*, *Aghamou*, *Aghares*, *Tinnaqor* et *Tinnaser* dont les TE ne dépassent pas les 20 %.

L'évaluation de la qualité des dattes, selon les critères établis par **Meligi and Sourial (1982)** et ceux de **Mohammed et al. (1983)** a permis de relever que les deux cultivars : *Deglet Talmine* et *Abdeslam*, affichent de bons caractères par rapport à tous les paramètres analysés (poids datte, poids pulpe, TE, pH et sucres totaux). Suivi du cultivar *Adekli* et des cultivars précoces *Agaz*, *Bamakhlouf*, *Cheikh M'Hamed*, *Mes'Udia* et *Ouarglia* qui se distinguent par leurs caractéristiques organoleptiques intéressantes (goûts et couleurs) et leurs caractères morphométriques et biochimiques qui leur confèrent d'être dans la classe de « bons caractères », à l'exception de leurs teneurs en eau élevées qu'il est possible de maîtriser par des stratégies de stockage et de conservation adéquates.

Par rapport au pH, la majorité des cultivars de dattes analysés (au nombre de 16) affichent des pH supérieurs à 5,8, leur conférant la classe de « bons caractères », à l'exception des trois cultivars de consistance « sèche » : *Aghares*, *Tinnaser* et *Aghamou*, qui affichent des pH acides, auxquels sont associées des acidités titrables (AT) élevées.

Par ailleurs, sur les vingt (20) cultivars de dattes analysés, dix-huit (18) cultivars ont des teneurs en sucres totaux dépassant les 70 %, leur conférant la classe de « bons caractères ». Les teneurs en sucres réducteurs (fructose et glucose) et en saccharose sont respectivement comprises de $21,61 \pm 1,21$ à $54,63 \pm 0,32$ % et de $8,04 \pm 0,31$ à $62,75 \pm 1,15$ %. Par leurs teneurs et leur nature en sucres, ces cultivars de dattes analysés offrent une opportunité de valorisation technologique et biotechnologique visant la production de diverses substances à haute valeur ajoutée.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Par rapport à la caractérisation des composés phénoliques, la mixture ternaire (MeOH-acétone-eau ; 7/7/6, V/V/V) a permis d'extraire des quantités significatives de composés phénoliques. Les vingt (20) extraits de dattes ternaires indiquent des teneurs en polyphénols totaux comprises entre $97,75 \pm 12,10$ (*Ahartane*) et $421,15 \pm 1,53$ (*Aghamou*) mg EAG/100 g MS. Sept (07) extraits ternaires, ceux des cultivars *Agaz*, *Deglet Talmine*, *Aghamou*, *Aghares*, *Bamakhlouf*, *Ouarglia* et *Taqerbucht Safra* affichent des teneurs en polyphénols totaux élevées à partir de 300 mg EAG/100 g MS.

Dans l'ensemble, il y a lieu de relever que les quatre (04) cultivars de dattes : *Aghamou*, *Hmira*, *Aghares* et *Tgazza* affichent les capacités antioxydantes les plus élevées, dépassant les 1600 μ moles ET/100 g MS pour les deux tests antioxydants ABTS et FRAP. Quant aux trois cultivars de dattes *Tinnaser*, *Agaz* et *Tazarzeyt*, leurs extraits ternaires sont les plus puissants par le test au DPPH, en comparaison aux antioxydants de référence : acide gallique et acide ascorbique.

En perspectives liées directement à cette étude, il serait intéressant :

- ✓ De compléter l'analyse des fractions liquide-liquide des extractions sélectives flavonoïdiques et tanniques par l'évaluation de leurs potentiels antioxydants ;
- ✓ D'identifier, d'isoler et de purifier les molécules antioxydantes des cultivars de dattes à travers des techniques d'analyse avancées telles que la Chromatographie Liquide Ultra-Performante couplée à la Spectrométrie de Masse (UPLC-MS) ;
- ✓ De s'appuyer sur des modèles mathématiques pour optimiser les conditions d'extraction des composés phénoliques contenus dans la datte, en s'appuyant sur des plans d'expérience ;
- ✓ D'explorer de nouvelles méthodes non conventionnelles d'extractions des polyphénols, facilement transposables à l'échelle industrielle telles que l'extraction assistée aux ultra-sons (EAU), l'extraction assistée par micro-ondes (EAM) qui pourraient faciliter l'orientation des dattes vers les industries de transformation et les industries alimentaires et pharmaceutiques en tant que sources naturelles d'antioxydants, se substituant aux conservateurs synthétiques (BHT et BHA).
- ✓ D'évaluer d'autres activités biologiques potentielles telles que l'activité antifongique, antibactérienne, anti-inflammatoire... ;
- ✓ De constituer une base de données de caractérisation des cultivars de dattes à l'échelle régionale avec des normes certifiées, qui sera le levier de la promotion de la « filière dattes » à Adrar.



RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

A

1. Abbas F.A., Ateya A.M., 2011. Estradiol, esteriol, estrone and novel flavonoids from date palm pollen. *Aust J Basic Appl Sci*, 5(8): 606-14.
2. Abdelaziz D.H., Ali S.A., 2014. The protective effect of *Phoenix dactylifera* L., seeds against CCl₄-induced hepatotoxicity in rats. *Journal of ethnopharmacology*, 155(1): 736-743.
3. Abdul-Hamid N.A., Mustaffer N.H., Maulidiani M., Mediani A., Ismail I.S., Tham C.L., ... Abas, F., 2020. Quality evaluation of the physical properties, phytochemicals, biological activities and proximate analysis of nine Saudi date palm fruit varieties. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(2): 151-160.
4. Abdulrahman Y.S., Ahmed F.O., Andrew G.S., Yusuf D.O.A., Muhammad A.B., Eloghosa O.P., Hussaini A.R., 2020. Nutritional Properties of Some Selected Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Land Races in Nigeria. *World*, 4: 1–7.
5. Abul-Soad A.A., Jatoi M.A., Markhand G.S., 2013. Performance of three Saudi Arabian date palm varieties under the agro-climatic conditions of Khairpur. *Pak. J. Agri. Sci.*, 50(4): 571-576.
6. Abul-Soad A.A., Mahdi S.M., Markhand G.S., 2015. Date palm status and perspective in Pakistan. In: Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV (eds), Date palm genetic resources and utilization, vol 2. Asia and Europe. *Springer, Netherlands* : 153–205.
7. Açoùrene S., Tama M., 1997. Physicochemical characterization of principal the date cultivars of the area of Zibans. *Rech. Agro.*, 1 : 59-66.
8. Açoùrene S., Tama M., 2001. Utilisation des dattes de faible valeur marchande (rebuts de *Deglet-Nour*, *Tinissine* et *Tantboucht*) comme substrat pour la fabrication de la levure boulangère. *Rev. Energ. Ren. : production et valorisation-biomasse* : 1-10.
9. Açoùrene S., Belguedj M., Tama M., Taleb B., 2001. Caractérisation, évaluation de la qualité de la datte et identification des cultivars rares de palmier dattier de la région des Ziban. *Revue Recherche Agronomique*. Ed INRAA, Algérie, (8): 19-39.
10. Açoùrene S., Allam A., Taleb B., Tama M., 2007. Inventaire des différents cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) des régions d'Oued-Righ et d'Oued-Souf (Algérie). *Sécheresse*, 18(2) : 135-42.
11. Açoùrene S., Djafri K., Benchabane A., Tama M., Taleb B., 2014. Dates quality assessment of the main date palm cultivars grown in Algeria. *Annual Research and Review in Biology*, 4(3): 487-499.
12. Adom K.K., Sorrells M.E., Liu R.H., 2003. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(26): 7825-7834.
13. AFNOR, 1986. Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. *Ed. AFNOR*, 325p.
14. Agboola O.S., Adejumo A.L., 2013. Nutritional Composition of the fruit of the Nigerian wild date palm, *Phoenix dactylifera*. *World J. Dairy Food Sci.*, 8: 196–200.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

15. Aires A., 2022. Polyphenols applications in pharmaceutic and cosmetic industries. In: Pintado, M. E., Saraiva, J. M. A. and Alexandre, E.M.D.C. (eds), *Technologies to Recover Polyphenols from AgroFood By-products and Wastes*. Academic Press Elseiver: 337-357.
16. Al Khouli M.H., Ahmed F.H., Sid Amhed T.A., 1998. Analysis of the fruits of some Egyptian date palm cultivars. *Proceedings of the first date palm symposium on date palm research*. Date Palm Research and Development Network. Arab center for the studies in Arid Zones and Dry Lands (ACSAD), Marrakech: 327-333.
17. Al Udhaib R., 2015. Solvent Extraction of Antioxidants, Phenols and Flavonoids from Saudi Arabia Dates. *Master of Applied Science, Dalhousie University, Canada*, 272p.
18. Alahyane A., Harrak H., Ayour J., Elateri I., Ait-Oubahou A., Benichou M., 2019. Bioactive compounds and antioxidant activity of seventeen Moroccan date varieties and clones (*Phoenix dactylifera* L.). *South African Journal of Botany*, 121: 402-409.
19. Alam M.N., Bristi N.J., Rafiquzzaman M., 2013. Review on *in vivo* and *in vitro* methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi pharmaceutical journal*, 21(2): 143-152.
20. Alam M.Z., Alhebsi M.S.R., Ghnimi S., Kamal-Eldin A., 2021. Inability of total antioxidant activity assays to accurately assess the phenolic compounds of date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.). *NFSJ*, 22 : 32–40.
21. Alcântara M.A., Polari I.D.L.B., de Albuquerque Meireles B.R.L., de Lima A.E.A., da Silva Junior J.C., de Andrade Vieira É., ... de Magalhães Cordeiro A.M.T., 2019. Effect of the solvent composition on the profile of phenolic compounds extracted from chia seeds. *Food Chemistry*, 275 : 489-496.
22. Al-Farsi M.A., Lee C.Y., 2008a. Nutritional and functional properties of dates: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(10) : 877-887.
23. Al-Farsi M.A., Lee C.Y., 2008b. Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds. *Food chemistry*, 108(3): 977-985.
24. Al-Farsi M.A., Lee C.Y., 2011. Usage of date (*Phoenix dactylifera* L.) seeds in human health and animal feed. In: Preedy V.R., Watson R.R. and Pate V.B. (eds), *Nuts and seeds in health and disease prevention*. Academic Press Elseiver: 447-452.
25. Al-Farsi M., Alasalvar C., Morris A., Baron M., Shahidi F., 2005a. Compositional and sensory characteristics of three native sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(19): 7586-7591.
26. Al-Farsi M., Alasalvar C., Morris A., Baron M., Shahidi F., 2005b. Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Oman. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(19): 7592-7599.
27. Al-Farsi M., Alasalvar C., Al-Abid M., Al-Shoaily K., Al-Amry M., Al-Rawahy F., 2007. Compositional and functional characteristics of dates, syrups, and their by-products. *Food chemistry*, 104(3): 943-947.
28. Alhaithloul H.A., Galal F.H., Seufi A.M., 2021. Effect of extreme temperature changes on phenolic, flavonoid contents and antioxidant activity of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *PeerJ Life and Environment*, 9 (1) : e11193. Doi.org/10.7717/peerj.11193.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

29. Alharbi H.A., Hameed B.H., Alotaibi K.D., Aloud S.S., Al-Modaihsh A.S., 2022. Mesoporous activated carbon from leaf sheath date palm fibers by microwave-assisted phosphoric acid activation for efficient dye adsorption. *ACS omega*, 7(50): 46079-46089.
30. Al-Harrasi A., Rehman N.U., Hussain J., Khan A.L., Al-Rawahi A., Gilani S.A., Al-Broumi M., Ali L., 2014. Nutritional assessment and antioxidant analysis of 22 date palm (*Phoenix dactylifera*) varieties growing in Sultanate of Oman. *Asian Pac. J. Trop. Med.*, 7 : S591-S598.
31. Alhasawi A., Legendre F., Jagadeesan S., Appanna V., Appanna V., 2019. Biochemical strategies to counter nitrosative stress: nanofactories for value-added products. In: Das S. and Dash H.R. (eds), *Microbial diversity in the genomic era. Academic Press Elsevier*: 153-169.
32. Al-Hooti S., Sidhu J.S., Qabazard H., 1997. Physicochemical characteristics of five date fruit cultivars grown in the United Arab Emirates. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50: 101-113.
33. Ali Haimoud S., 2017. Etude phytochimique et rôles biologiques des variétés de *Phoenix dactylifera* (datte) de l'Algérie. *Thèse de doctorat, Sciences des aliments et nutrition humaine, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie*, 166p.
34. Ali Haimoud S., Allem R., Merouane A., 2016. Antioxidant and anti-inflammatory properties of widely consumed date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruit varieties in Algerian oases. *Journal of Food Biochemistry*, 40(4): 463-471.
35. Ali-Mohamed A.Y., Khamis A.S., 2004. Mineral ion content of the seeds of six cultivars of Bahraini date palm (*Phoenix dactylifera*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(21): 6522-6525.
36. Al-Jasass F. M., Siddiq M., Sogi D.S., 2015. Antioxidants Activity and Color Evaluation of Date Fruit of Selected Cultivars Commercially Available in the United States. *Advances in Chemistry*, 15: 1-5.
37. Alkhoori M.A., Kong A.S.Y., Aljaafari M.N., Abushelaibi A., Erin Lim S.H., Cheng W.H., ... Lai K.S., 2022. Biochemical composition and biological activities of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds: a review. *Biomolecules*, 12(11) : 1626. Doi.org/10.3390/biom12111626.
38. Allaith A.A.A., 2008. Antioxidant activity of Bahraini date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit of various cultivars. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(6): 1033-1040.
39. Allam A., Djafnri 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*, 1(185): 12-24.
40. Al-Najm A., Brauer S., Trethowan R., Merchant A., Ahmad N., 2021. Optimization of *in vitro* pollen germination and viability testing of some Australian selections of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) and their xenic and metaxenic effects on the tissue culture-derived female cultivar "Barhee". *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 57: 771-785.
41. Al-Rasheed N.M., Attia H.A., Mohamad R.A., Al-Rasheed N.M., Al-Amin M.A., Al-Onazi, A., 2015. Aqueous date flesh or pits extract attenuates liver fibrosis via suppression of hepatic stellate cell activation and reduction of inflammatory cytokines, transforming growth factor- β 1 and angiogenic markers in carbon tetrachloride-intoxicated rats. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2015(1):1-19. Doi.org/10.1155/2015/247357.
42. Al-Redhaiman K.N., 2004. Modified atmosphere improves storage ability, controls decay, and maintains quality and antioxidant contents of Barhi date fruits. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2: 25-32.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

43. Al-Shahib W., Marshall R. J., 2003. The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future? *International journal of food sciences and nutrition*, 54(4): 247-259.
44. Alshwyeh H.A., 2020. Phenolic profiling and antibacterial potential of Saudi Arabian native date palm (*Phoenix dactylifera*) cultivars. *International Journal of Food Properties*, 23(1): 627-638.
45. Al-Turki S., Shahba M.A., Stushnoff C., 2010. Diversity of antioxidant properties and phenolic content of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits as affected by cultivar and location. *J. Food Agric. Environ.*, 8(1): 253-260.
46. Al-Yahyai R., Al-Khanjari S., 2008. Biodiversity of date palm in the Sultanate of Oman. *African Journal of Agricultural Research*, 3(6): 389-395.
47. Al-Yahyai R., Manickavasagan A., 2012. Dates: production, processing, food, and medicinal values. Part I: Production, Chapter 1: An Overview of Date Palm Production. *CRC Press*: 3-11.
48. Alzahrani A. M., Alghamdi K., Bagasi A., Alrashed O.A. Alqifari A.F., Barakat H., Algeffari, M., 2023. Influence of Date Ripeness on Glycemic Index, Glycemic Load, and Glycemic Response in Various Saudi Arabian Date Varieties. *Cureus*, 15(11):1-7. Doi. 10.7759/cureus.48433.
49. Amiour S.D., Hambaba L., 2016. Effect of pH, temperature and some chemicals on polyphenoloxidase and peroxidase activities in harvested *Deglet Nour* and *Ghars* dates. *Postharvest Biology and Technology*, 111: 77-82.
50. Amira E.A., Behija S.E., Beligh M., Lamia L., Manel I., Mohamed H., Lotfi A., 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.
51. AOAC., 1995. Official Methods of Analysis. 16th Edition. *The Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International*. Gaithersburg, MD.
52. AOAC., 1999. Official Methods of Analysis. Method 988.05.Ch. 4, p.13. *The Association of Official Analytical Chemists (AOAC) International*. Gaithersburg, MD.
53. Ardestani A., Yazdanparast R., 2007. Inhibitory effects of ethyl acetate extract of *Teucrium polium* on *in vitro* protein glycoxydation. *Food and chemical toxicology*, 45(12): 2402-2411.
54. Arimboor R., Arumughan C., 2011. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) proanthocyanidins inhibit *in vitro* enzymatic hydrolysis of protein. *Journal of Food Science*, 76(6): T130-T137.
55. Aryal S., Baniya M.K., Danekhu K., Kunwar P., Gurung R., Koirala N., 2019. Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from Western Nepal. *Plants*, 8(4): 96.
56. Asami D.K., Hong Y.J., Barrett D.M., Mitchell A.E., 2003. Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(5): 1237-1241.
57. Ashour R.B., Auzi A.A., Lahmer R.A., 2022. Evaluation of antioxidant, antibacterial potential, nutrition value and acute toxicity study of Libyan date palm pollen. *ISHS Acta Horticulturae 1371 : VII International Date Palm Conference* : 343-360.
58. Assirey E.A.R., 2015. Nutritional composition of fruit of 10 date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars grown in Saudi Arabia. *Journal of Taibah University for science*, 9(1): 75-79.

59. Atitallah I.B., Arous F., Louati I., Zouari-Mechichi H., Brysch-Herzberg M., Woodward S., Mechichi T., 2021. Efficient bioethanol production from date palm (*Phoenix dactylifera* L.) sap by a newly isolated *Saccharomyces cerevisiae* X19G2. *Process Biochemistry*, 105: 102-112.
60. Atta H., Abo-EL-Sooud K., Ahmed S.S., Ibrahim S., Zaher S., 2015. Synergistic hepatoprotective effect of grape juice with date palm fruit methanolic extracts. *Wulfenia J*, 22(12) : 282-297.
61. Auger C., Lemire J., Cecchini D., Bignucolo A., Appanna V.D., 2011. The metabolic reprogramming evoked by nitrosative stress triggers the anaerobic utilization of citrate in *Pseudomonas fluorescens*. *PLoS One*, 6(12) : e28469. Doi.10.1371/journal.pone.0028469.

B

62. Babahani S., 2011. Analyse biologique et agronomique de palmiers mâles et conduite de l'éclaircissage des fruits chez les cultivars "Ghars" et "Deglet Nour". *Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, École Nationale Supérieure d'Agronomie, El Harrach, Algérie*. 206 p.
63. Babahani S., Eddoud A. G., 2012. Effet de la température sur l'évolution des fruits chez quelques variétés du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Algerian journal of arid environment*, 2(1): 36-41.
64. Bahiani M., 2008. Le Palmier dattier « *Phoenix dactylifera* L » du Touat (Film scientifique). *Bulletin des Energies Renouvelables, Publication du Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, Semestriel N° 13*.
65. Bahiani M., 2016. Les palmeraies traditionnelles d'Adrar : nombreux cultivars de dattes restent marginalisés. *Magazine le monde des dattes*, N°25,42p.
66. Bahiani M., Kalloum S., Ben Ali L., Boutadara K., 2017. Recovery of lignocellulosic waste from date palm in activated carbon. *Proceeding of 9th International Conference on Chemical, Civil and Environmental Sciences (CCES), 17-18 October, Dubai (UAE)*: 110-115.
67. Bahiani M., Babahani S., Nani A., Boukhetache I., (2023). Dates (*Phoenix dactylifera* L.) from the Adrar region of Algeria are rich in polyphenols, and ternary solvent extracts' antioxidant activity correlates with condensed tannins content. *Vegetos*, 37(3) : 918-929. Doi.org/10.1007/s42535-023-00622-4.
68. Bahorun T., 1997. Substances naturelles actives La flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. *Food and Agricultural Research*: 83-94.
69. Bahriz H., Bouras N., 2020. Etude de la Maladie du Bayoud, le Comportement Variétal du Palmier Dattier vis-à-vis du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* dans la Vallée du M'Zab. *African Review of Science, Technology and Development*, 5(1): 41-60.
70. 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.
71. Barreveld W.H., 1993. Date Palm Products. *FAO Agricultural Services Bulletin*, N°. 101.
72. Beaudeau J.L., Peynet J., Bonnefont-Rousselot D., Therond P., Delattre J., Legrand A., 2006. Cellular sources of reactive oxygen and nitrogen species. Roles in signal transcription pathways. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 64 (6): 373-381.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

73. Bedjaoui H., 2019. Etude de la diversité génétique de quelques accessions de palmier Dattier (*Phoenix dactylifera* L.) en Algérie moyennant les marqueurs de l'ADN de type SSR. *Thèse de doctorat, Sciences Agronomiques, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie*, 170p.
74. Bekkara F., Jay M., Viricel M. R., Rome S., 1998. Distribution of phenolic compounds within seed and seedlings of two *Vicia faba* cvs differing in their seed tannin content, and study of their seed and root phenolic exudations. *Plant and Soil*, 203: 27-36.
75. Belguedj M., 1996. Caractéristiques des cultivars de dattier du sud-est Algérien. *Edt. INRAA, Algérie*, 70p.
76. Belguedj N., Mizab O., Mesnoua, M., 2023. Morphometric and physicochemical characterization of fruit of seven date palm cultivars cultivated in the in southwest of Algeria. *Journal Algérien des Régions Arides*, 15(1): 64-71.
77. Belhadi A., Nezzar Kebaili N., Roumani M., Guesmia H., Salem, A., 2008. Le palmier dattier aux Ziban : un patrimoine à préserver. *Actes Colloque International sur l'Aridoculture : Optimisation des productions agricoles et développement durable*, Tome I : 213-224.
78. Bellakhdar J., 1997. La pharmacopée marocaine traditionnelle. Médecine arabe ancienne et savoirs populaires. *Paris. Rabat, Ibis Press – Eds Le Fennec*, 764 p.
79. Bellal S.A., Hadeid M., Ghodbani T., Dari O., 2016. Accès à l'eau souterraine et transformations de l'espace oasien : le cas d'Adrar (Sahara du Sud-ouest algérien). *Cahiers de géographie du Québec*, 60(169) : 29-56.
80. Ben Saadoun N., Boulahouat N., 2010. Le palmier dattier raconté par un cultivateur. *Edition BEDE*, 131p.
81. Benchelah A.C., Maka M., 2008. Les dattes : intérêt en nutrition. *Phytothérapie*, 6(2): 117-121.
82. Benmeddour Z., Mehinagic E., Le Meurlay D., Louaileche H., 2013. Phenolic composition and antioxidant capacities of ten Algerian date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars: a comparative study. *Journal of Functional Foods*, 5(1): 346-354.
83. Bennaceur M., Lanaud C., Chevallier M.H., Bounaga N., 1991. Genetic diversity of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) from Algeria revealed by enzyme markers. *Plant breeding*, 107(1) : 56-69.
84. Bentradi N., Hamida-Ferhat A., 2020. Date palm fruit (*Phoenix dactylifera*): Nutritional values and potential benefits on health. In: Preedy V.R. and Watson R. S. (eds), *The Mediterranean Diet. Academic Press Elsevier*: 239-255.
85. 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.
86. Benziouche S.E., 2017. L'agriculture biologique, un outil de développement de la filière dattes dans la région des Ziban en Algérie. *Cahiers Agricultures*, 26(3) : 35008. Doi.10.1051/cagri/2017025.
87. Besbes S., Blecker C., Deroanne C., Drira N.E., Attia H., 2004. Date seeds: chemical composition and characteristic profiles of the lipid fraction. *Food chemistry*, 84(4): 577-584.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

88. Besbes S., Drira L., Blecker C., Deroanne C., Attia H., 2009. Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera* L.): Compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food Chem.* 112: 406–411.
89. Bettaieb I., Kilani A., Ben Othman K., Benabderrahim M.A., Elfalleh W., (2023). Phenolic profile, sugar composition, and antioxidant capacities of some common date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars as a potential nutraceutical and functional food ingredients. *Journal of Food Quality*, 2023(1): 2474900. Doi.org/10.1155/2023/2474900.
90. Bhat R.S., Al-Daihan S., 2012. Antibacterial properties of different cultivars of *Phoenix dactylifera* L. and their corresponding protein content. *Ann. Biol. Res.*, 3: 4751–4757.
91. Bibi Sadeer N., Montesano D., Albrizio S., Zengin G., Mahomoodally M.F., 2020. The versatility of antioxidant assays in food science and safety – Chemistry, applications, strengths, and limitations. *Antioxidants*, 9(8): 709.
92. Biglari F., AlKarkhi A.F., Easa A. M., 2008. Antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran. *Food chemistry*, 107(4): 1636-1641.
93. Biglari F., AlKarkhi A.F., Easa A.M., 2009. Cluster analysis of antioxidant compounds in dates (*Phoenix dactylifera*): Effect of long-term cold storage. *Food chemistry*, 112(4): 998-1001.
94. Bokhari N.A., Perveen K., 2012. *In vitro* inhibition potential of *Phoenix dactylifera* L. extracts on the growth of pathogenic fungi. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(6): 1083-1088.
95. Boligon A.A., Machado M.M., Athayde M.L., 2014. Technical evaluation of antioxidant activity. *Med. Chem.*, 4(7): 517-522.
96. Bouaziz M.A., Besbes S., Blecker C., Wathelet B., Deroanne C., Attia H., 2008. Protein and amino acid profiles of Tunisian *Deglet Nour* and *Allig* date palm fruit seeds. *Fruits*, 63(1) : 37-43.
97. Boudeffeur S., Reffis M., Khelafi, H., 2020. Situation épidémiologique de la fusariose vasculaire du palmier dattier (maladie du bayoud) dans les régions du Touat, Gourara et l'ouest du Tidikelt. *Revue INRAA, Algérie*, 50p.
98. Boudries H., Kefalas P., Hornero-Méndez D., 2007. Carotenoid composition of Algerian date varieties (*Phoenix dactylifera*) at different edible maturation stages. *Food chemistry*, 101(4) : 1372-1377.
99. Boughzala Y., Mahmoud N.B., 2022. Valorisation de la filière dattes en Tunisie par l'association savoirs et techniques » modernes » et » traditionnels » : difficultés, succès et perspectives. *ISTE OpenScience*, 20p.
100. Bouguedoura N., 1991. Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier : étude *in situ* et *in vitro* du développement morphogénétique des appareils végétatif et reproducteur. *Thèse de Doctorat, USTHB Alger, Algérie*, 201p.
101. Bouguedoura N., Bennaceur M., Benkhalifa A., 2010. Le palmier dattier en Algérie : Situation, contraintes et apports de la recherche. In : *Biotechnologies du palmier dattier. Éd. IRD. Paris* : 15-22.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

102. Bouhlali E. dine T., Alem C., Ennassir J., Benlyas M., Mbark A. N., Zegzouti, Y.F., 2015. Phytochemical compositions and antioxidant capacity of three date (*Phoenix dactylifera* L.) seeds varieties grown in the South East Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(4): 350–357.
103. Bouhlali E. dine T., Ramchoun M., Alem C., Ghafoor K., Ennassir J., Zegzouti Y.F., 2017. Functional composition and antioxidant activities of eight Moroccan date fruit varieties (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3): 257–264.
104. Bousdira K., 2007. Contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pour une meilleure gestion et une valorisation de la biomasse : caractérisation morphologique et biochimique des dattes des cultivars les plus connus de la région de M'zab, classification et évaluation de la qualité. *Mémoire de Magistère, Technologie alimentaire, Université M'Hamed Bougara, Boumerdes, Algérie*, 149p.
105. Brand-Williams W., Cuvelier M. E., Berset, C. L. W. T., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1) : 25-30.
106. Bravo L., 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews*, 56(11): 317-333.
107. Buchanan B.B., Gruissem W., Jones R.L., 2000. Biochemistry and Molecular Biology of Plants, 2nd Edition. *John Wiley and Sons*, 1280p.

C

108. Carbonaro M., Mattera M., Nicoli S., Bergamo P., Cappelloni M., 2002. Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (peach, *Prunus persica* L., and pear, *Pyrus communis* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(19): 5458-5462.
109. CDARS Ouargla, 1999. Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes), de la wilaya de Ouargla. Etude du plan directeur général de développement des régions sahariennes. Analyse de l'économie régionale Volume III : Mésoéconomie. *Edition BNEDER et BRL Ingénierie, Tipaza, Algérie*, 117p.
110. Chabane D., Bouguedoura N., Assani A., 2010. Importance of protoplast culture in the genetic improvement of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Acta Horticulturae*, 882: 185-192.
111. Chaira N., Smaali M. I., Martinez-Tomé M., Mrabet A., Murcia M.A., Ferchichi A., 2009. Simple phenolic composition, flavonoid contents and antioxidant capacities in water-methanol extracts of Tunisian common date cultivars (*Phoenix dactylifera* L.). *International journal of food sciences and nutrition*, 60(sup7) : 316-329.
112. Chaira N., Smaali I., Besbes S., Mrabet A., Lachiheb B., Ferchichi, A.L.I., 2011. Production of fructose rich syrups using invertase from date palm fruits. *Journal of Food Biochemistry*, 35(6): 1576-1582.
113. Chakroun M., Khemakhem B., Mabrouk H.B., El Abed H., Makni M., Bouaziz M., ... Mejdoub H., 2016. Evaluation of anti-diabetic and anti-tumoral activities of bioactive compounds from *Phoenix dactylifera* L's leaf: *In vitro* and *in vivo* approach. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 84: 415-422.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

114. Chang C.C., Yang M.H., Wen H.M., Chern J.C., 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3): 178-182.
115. Chao C.T., Krueger R.R., 2007. The date palm (*Phoenix dactylifera* L.): overview of biology, uses, and cultivation. *HortScience*, 42(5) : 1077-1082.
116. Chebil L., Humeau C., Anthoni J., Dehez F., Engasser J.-M., Ghoul, M., 2007. Solubility of Flavonoids in Organic Solvents. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 52(5): 1552–1556.
117. Chehema A., Senoussi A., 2010. Fabrication de blocs multi nutritionnels (BMN) à base de sous-produits de palmier dattier et d'urée. *Livestock Research for Rural Development*, 22(4):1-7.
118. Cherif S., Le Bourvellec C., Bureau S., Benabda J., 2021. Effect of storage conditions on 'Deglet Nour' date palm fruit organoleptic and nutritional quality. *LWT*, 137 : 110343.
119. Chira K., Suh J.H., Saucier C., Teissèdre P.L., 2008. Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6(2) : 75-82.
120. Cook J.A., Furr J.R., 1952. Sugars in the Fruit of Soft, Semi-dry and Dry Commercial Date Varieties. *Date Grower's Institutional Report*, 29: 3-4.
121. Crisan E.V., Sands A., 1978. Nutritional value. The biology and cultivation of edible mushrooms. *Academic Press, New York* : 137-168.
- D
122. Daayf F., El Bellaj M., El Hassni M., J'aiti F., El Hadrami I., 2003. Elicitation of soluble phenolics in date palm (*Phoenix dactylifera*) callus by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Albedinis* culture medium. *Environmental and Experimental Botany*, 49(1):41-47.
123. Daglia M., 2012. Polyphenols as antimicrobial agents. *Current opinion in biotechnology*, 23(2): 174-181.
124. Daoud A., Malika D., Bakari S., Hfaiedh N., Mnafigui K., Kadri, A., Gharsallah N., 2019. Assessment of polyphenol composition, antioxidant and antimicrobial properties of various extracts of Date Palm Pollen (DPP) from two Tunisian cultivars. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8): 3075-3086.
125. Das A.K., Islam M.N., Faruk M.O., Ashaduzzaman M., Dungani R., 2020. Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African J. Bot.*, 135: 58–70.
126. Das S.K., Vasudevan D. M., 2007. Alcohol-induced oxidative stress. *Life sciences*, 81(3): 177-187.
127. Décret exécutif n 95- 387 – du 28 Novembre 1995, fixant la liste des ennemis des végétaux et les mesures de surveillance et de lutte qui leur sont applicables.07p.
128. Dhaouadi K., Raboudi F., Estevan C., Barrajon E., Vilanova E., Hamdaoui M., Fattouch S., 2010. Cell viability effects and antioxidant and antimicrobial activities of Tunisian date syrup (rub el tamer) polyphenolic extracts. *J. Agric. Food Chem.*, 59: 402–406.
129. Diboun I., Mathew S., Al-Rayyashi M., Elrayess M., Torres M., Halama A., ... Suhre K., 2015. Metabolomics of dates (*Phoenix dactylifera*) reveals a highly dynamic ripening process accounting for major variation in fruit composition. *BMC plant biology*, 15: 1-22.

130. Djaoudene O., Bey M. B., Louaileche H., 2019a. Physicochemical Characteristics and Nutritional Compositions of Some Date (L.) Fruit Cultivars. *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 23(2): 129-138.
131. Djaoudene O., López V., Cásedas G., Les F., Schisano C., Bey M. B., Tenore G. C., 2019b. *Phoenix dactylifera* L. seeds : A by-product as a source of bioactive compounds with antioxidant and enzyme inhibitory properties. *Food and function*, 10(8) : 4953-4965.
132. Djerbi M., 1994. Précis de phœniciculture. *FAO, Rome, Italie*, 191p.
133. Dowson V.H.W., Aten H., 1963. Récolte et conditionnement des dattes. *Ed. FAO, Rome* : 6-47.
134. Dransfield J., Uhl N. W., Asmussen C.B., Baker W.J., Harley M.M., Lewis C. E., 2008. Genera palmarum-the evolution and classification of the palms. *Royal Botanic Gardens, Kew*, 732p.
135. DSA Adrar, 2021. Direction des Services Agricoles de la Wilaya d'Adrar. Statistiques agricoles.
136. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.T., Smith F., 1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3): 350-356.

E

137. Echegaray N., Gullón B., Pateiro M., Amarowicz R., Misihairabgwi J. M., Lorenzo, J. M., 2023. Date fruit and its by-products as promising source of bioactive components: A review. *Food Reviews International*, 39(3): 1411-1432.
138. El Arem A., Saafi E.B., Flamini G., Issaoui M., Ferchichi A., Hammam, M., ... Achour L., 2012. Volatile and nonvolatile chemical composition of some date fruits (*Phoenix dactylifera* L.) harvested at different stages of maturity. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(3): 549-555.
139. El Gharras H., 2009. "Polyphenols: Food sources, properties and applications – A review." *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12): 2512-2518.
140. Ould El Hadj M.D., Sebihi A.H., Siboukeur O., 2001. Qualité Hygiénique et Caractéristiques Physico-Chimiques du Vinaigre Traditionnel de Quelques Variétés de Dattes de la Cuvette de Ouargla. *Rev. Energ. Ren.: Production et Valorisation – Biomasse*: 87-92.
141. El Sohaimy S.A., Abdelwahab A.E., Brennan C.S., Aboul-enein A.M., 2015. Phenolic Content, Antioxidant and Antimicrobial activities of Egyptian Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruits. *Aust. J. Basic and Appl. Sci.*, 9(1): 141-147.
142. El-Azim M.H.A., Yassin F.A., Khalil S.A., El-Mesalamy A.M., 2015. Hydrocarbons, fatty acids and biological activity of date palm pollen (*Phoenix dactylifera* L.) growing in Egypt. *IOSR J Pharm Biol Sci Ver I*, 10(3) : 2319-7676.
143. Elshibli S., Korpelainen H., 2009. Identity of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Germplasm in Sudan: from Morphology and Chemical Characters to Molecular Markers. *International Symposium on Molecular Markers in Horticulture*, 859: 143-153.

144. Estanove P., 1990. Note technique : Valorisation de la datte. Options méditerranéennes, Systèmes agricoles oasiens. *Ed. CIHEAM, série A*, 11: 301-318.

F

145. Farag M.A., Otify A., Baky M.H., 2023. *Phoenix dactylifera* L. date fruit by-products outgoing and potential novel trends of phytochemical, nutritive and medicinal merits. *Food Reviews International*, 39(1): 488-510.

146. FAOSTAT, 2021. Food and Agriculture Organization Statistics. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.

147. Fekry W.M., Rashad Y.M., Alaraidh I.A., Mehany T., 2021. Exogenous application of melatonin and methyl jasmonate as a pre-harvest treatment enhances growth of *barhi* date palm trees, prolongs storability, and maintains quality of their fruits under storage conditions. *Plants*, 11(1): 96.

G

148. Galanakis C.M., 2018. Polyphenols: properties, recovery, and applications. *Woodhead Publishing, New York*, 436p.

149. Galvis Sánchez A.C., Gil-Izquierdo A., Gil M.I., 2003. Comparative study of six pear cultivars in terms of their phenolic and vitamin C contents and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(10): 995-1003.

150. García-Lafuente A., Guillamón E., Villares A., Rostagno M.A., Martínez J.A., 2009. Flavonoids as anti-inflammatory agents: implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflammation Research*, 58(9) : 537-552.

151. Ghiaba Z., Boukouada M., Djeridane A., Saidi M., Yousfi M., 2012. Screening of antioxidant activity and phenolic compounds of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Algeria. *Mediterranean journal of nutrition and metabolism*, 5(2): 119-126.

152. Ghnimi S., Al-Shibli M., Al-Yammahi H.R., Al-Dhaheri A., Al-Jaberi F., Jobe B., Kamal-Eldin A., 2018. Reducing sugars, organic acids, size, color, and texture of 21 Emirati date fruit varieties (*Phoenix dactylifera*, L.). *NFS journal*, 12 : 1-10.

153. Ghodbani T., Dari O., Bellal S.D., Haided M., 2021. Les projets de foggara-s réhabilitées au sud-ouest du Sahara algérien. Articulation entre techniques modernes et mode coutumier de gestion. *L'Ouest Saharien*, 13(1): 191-211.

154. Girard J., 1965. L'évolution de la datte au cours de sa croissance et sa maturation. *Compte rendu des travaux de recherches effectuées à la station d'El-Arfian (W. El-oued)*.

155. Goudable J., Favier A., 1997. Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *Nutrition clinique et métabolisme*, 11(2) : 115-120.

156. Gourchala F., Ouazouaz M., Mihoub F., Henchiri C., 2015. Compositional analysis and sensory profile of five date varieties grown in south Algeria. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(2): 511-518.

157. Govender P., Sivakumar V., 2020. Application of k-means and hierarchical clustering techniques for analysis of air pollution: A review (1980–2019). *Atmospheric pollution research*, 11(1) : 40-56.
158. Gross J., Haber O., Ikan R., 1983. The carotenoid pigments of the date. *Scientia Horticulturae*, 20(3): 251-257.
159. Guido F., Behija S.E. Manel I., Nesrine Z., Ali F., Mohamed H., ... Lotfi A., 2011. Chemical and aroma volatile compositions of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at three maturation stages. *Food Chemistry*, 127(4): 1744-1754.

H

160. Habchi A., Kalloum S., Bradai L., 2022. Follow the degradation of organic matter during composting of date palm (*Phoenix dactylifera* L) waste by physicochemical properties, UV-visible and FT-IR analysis. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(12): 2895-2912.
161. Habib H.M., Platat C., Meudec E., Cheynier V., Ibrahim W.H., 2014. Polyphenolic compounds in date fruit seed (*Phoenix dactylifera*): 182eduction182zation and quantification by using UPLC-DAD-ESI-MS. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6): 1084-1089.
162. Hadeid M., Bellal S.A., Ghodbani T., Dari O., 2018. L'agriculture au Sahara du sud-ouest algérien : entre développement agricole moderne et permanences de l'agriculture oasienne traditionnelle. *Cahiers Agricultures*, 27(1) : 15005.
163. Hadrami I.E., Hadrami A.E., 2009. Breeding date palm. In: Priyadarshan P.M., Jain S.M. (eds), *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species*. Springer, New York. USA : 191-216.
164. Hagerman A.E., Riedl K. M., Jones G.A., Sovik K.N., Ritchard N.T., Hartzfeld P.W., Riechel T.L., 1998. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(5): 1887-1892.
165. Halliwell B., 1999. Antioxidant defence mechanisms: from the beginning to the end (of the beginning). *Free radical research*, 31(4): 261-272.
166. Halliwell B., Gutteridge J.M.C., 1990. Role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: an overview. *Methods Enzymol.*, 186: 1–85.
167. Hamad I., AbdElgawad H., Al Jaouni S., Zinta G., Asard H., Hassan, S., ... Selim S., 2015. Metabolic analysis of various date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Saudi Arabia to assess their nutritional quality. *Molecules*, 20(8): 13620-13641.
168. Hamma S., Nouri N., Fergani I., Lekhal A., cheriet S., 2015. Biologie des espèces réactives et stress oxydant. *Journal Algérien de Médecine*, Vol XXIII (2) : 48-53.
169. Hannachi S., Khitri D., Benkhalifa A., Brac De La Perriere R.A., 1998. Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. *Anep, Rouïba, Algérie*, 225p.
170. Hasnaoui A., Elhoumaizi A., Hakkou A., Wathelet B., Sindic M., 2011. Physico-chemical characterization, classification and quality evaluation of date palm fruits of some Moroccan cultivars. *Journal of Scientific Research*, 3(1): 139-149.

171. Hernández-Rodríguez P., Baquero L.P., Larrota H.R., 2019. Flavonoids: Potential therapeutic agents by their antioxidant capacity. In : *Campos M. R. S. (eds), Bioactive compounds. Academic Press Elsevier: 265-288.*
172. Hong Y.J., Tomas-Barberan F.A., Kader A.A., Mitchell A.E., 2006. The flavonoid glycosides and procyanidin composition of *Deglet Noor* dates (*Phoenix dactylifera*). *J. Agric. Food Chem.*, 54: 2405–2411.
173. Hussain M.I., Farooq M., Syed Q.A., 2020. Nutritional and biological characteristics of the date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.)—A review. *Food Bioscience*, 34: 100509.
174. Hussein A.M., El-Mousalamy A.M., Hussein S.A., Mahmoud S.A., 2015. Effects of palm dates (*Phoenix dactylifera* L.) extracts on hepatic dysfunctions in Type 2 diabetic rat model. *World J. Pharm. Pharm. Sci.*, 4: 62-79.
175. Hussein F., Hussein F.A., 1983. Effect of irrigation on growth, yield and fruit of dry dates grown at Asswan. *Proc. The first Symp. On Date Palm in Saudi Arabia: 168-173.*

I

176. Ibrahim I.A., Emara, H.A., Nower A.A., Atfi M.S., 2014. *In vitro* study on germination of date palm pollen grains and its impact on fruit quality. *Life Sci. J.*, 11(10): 1291-1300.
177. Ibrahim S.A., Ayad A.A., Williams L.L., Ayivi R.D., Gyawali R., Krastanov A., Aljaloud S.O., 2021. Date fruit: A review of the chemical and nutritional compounds, functional effects and food application in nutrition bars for athletes. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(4): 1503-1513.
178. Imran M., Rasool N., Rizwan K., Zubair M., Riaz M., Zia-Ul-Haq M., ... Jaafar H.Z., 2014. Chemical composition and biological studies of *Ficus benjamina*. *Chemistry central journal*, 8: 1-10.
179. IPGRI, INRAA, INRAM, INRAT, FEM/GEF, PNUD, 2005. Descripteurs du Palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Institut international des ressources phytogénétiques, Rome, Italie, 71p.*
180. Ismail A., Marjan Z.M., Foong C.W., 2004. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem.*, 87: 581–586.
181. Issaoui M., Delgado A. M., Caruso G., Micali M., Barbera M., Atrous H., Ouslati A Chammem N., 2020. Phenols, flavors, and the diet. *Journal of AOAC International*, 103(4): 915-924.

J

182. Jaradat A.A., 2014. Synthesis and assessment of date palm genetic diversity studies. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 26 (11): 934.
183. Jaradat A.A., Zaid A., 2004. Quality traits of date palm fruits in a center of origin and center of diversity. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2: 208-217.
184. John J.A., Shahidi F., 2019. Phenolic content, antioxidant and anti-inflammatory activities of seeds and leaves of date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of Food Bioactives*, 5: 120-130.

185. Johnson D.V., Al-Khayri J.M., Jain S.M., 2015. Introduction: Date Production Status and Prospects in Africa and the Americas. In : Al-Khayri, J., Jain, S., Johnson, D. (eds), Date Palm Genetic Resources and Utilization. *Springer, Dordrecht*: 3-18. doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1_1.
186. Julkunen-Tiitto R., 1985. Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of agricultural and food chemistry*, 33(2): 213-217.
- K**
187. Kabera J.N., Semana E., Mussa A.R., He X., 2014. Plant secondary metabolites: Biosynthesis, classification, function and pharmacological properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2: 377–392.
188. Kähkönen M.P., Hopia A.I., Heinonen M., 2001. Berry phenolics and their antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(8): 4076-4082.
189. Kaiser S., Di Mascio P., Murphy M.E., Sies H., 1990. Physical and chemical scavenging of singlet molecular oxygen by tocopherols. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 277(1): 101-108.
190. Kalinowska M., Bielawska A., Lewandowska-Siwkiewicz H., Priebe W., Lewandowski W., 2014. Apples: Content of phenolic compounds vs. variety, part of apple and cultivation model, extraction of phenolic compounds, biological properties. *Plant Physiology and Biochemistry*, 84: 169–188.
191. Kanner J., Elmaleh H., Reuveni O., Ben-Gera I., 1978. Invertase (Beta.-fructofuranosidase) activity in three date cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(5): 1238-1240.
192. Karasawa K., Uzuhashi Y., Hirota M., Otani H., 2011. A matured fruit extract of date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.) stimulates the cellular immune system in mice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(20): 11287-11293.
193. Kchaou W., Abbès F., Blecker C., Attia H., Besbes S., 2013. Effects of extraction solvents on phenolic contents and antioxidant activities of Tunisian date varieties (*Phoenix dactylifera* L.). *Industrial crops and products*, 45: 262-269.
194. Khan M.N., Sarwar A., Wahab M.F., Haleem R., 2008. Physico-chemical characterization of date varieties using multivariate analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(6): 1051-1059.
195. Khatchadourian H.A., Sawaya W.N., Khalil J.K. Mashadi A.S., 1983. Processing of five major Saudi Arabian date varieties into date butter and dates in syrup. *Date Palm Journal*, 2: 103-119.
196. Khelafi M., Djaafri M., Kalloum S., Atelge M. R., Abut S., Dahbi A., ... Atabani A.E., 2022. Effect of stirring speeds on biodiesel yield using an innovative oscillatory reactor and conventional STR (A comparative study). *Fuel*, 325 : 124856.
197. Khodabakhshian R., Khojastehpour M., 2021. Characteristics changes of date fruits during ripening period on palm. *Agricultural Engineering International CIGR Journal*, 23(4): 243-255.
198. Kim D.O., Jeong S.W., Lee C.Y., 2003. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food chemistry*, 81(3) : 321-326.

199. Koechlin-Ramonatxo C., 2006. Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydantes ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition clinique et métabolisme*, 20(4) : 165-177.
200. Kostyuk V.A., Potapovich A.I., Suhan T.O., de Luca C., Korkina L.G., 2011. Antioxidant and signal modulation properties of plant polyphenols in controlling vascular inflammation. *European journal of pharmacology*, 658(2-3) : 248-256.
201. Kriaa W., Fetoui H., Makni M., Zeghal N., Drira N.E., 2012. Phenolic contents and antioxidant activities of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaves. *Int. J. food Prop.* 15: 1220–1232.
202. Kurilich A.C., Jeffery E.H., Juvik J.A., Wallig M.A., Klein B.P., 2002. Antioxidant capacity of different broccoli (*Brassica oleracea*) genotypes using the oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(18): 5053-5057.
203. Kwon H.M., Choi Y.J., Jeong Y.J., Kang S.W., Kang I.J., Lim S.S., Kang Y.H., 2005. Anti-inflammatory inhibition of endothelial cell adhesion molecule expression by flavone derivatives. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53 (13): 5150-5157.

L

204. Lagnika L., 2005. Etude phytochimique et activité biologique de substances naturelles isolées de plantes béninoises. *Thèse de Doctorat, Sciences Pharmaceutiques, Université Louis Pasteur Starsbourg, France*, 280p.
205. Laouini S., 2014. Etude phytochimique et activité biologique d'extrait de des feuilles de *Phoenix dactylifera* L dans la région du Sud d'Algérie (la région d'Oued Souf). *Thèse de doctorat, Chimie industrielle, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie*, 161p.
206. Larwence A., Abada S., 1991. Valeur alimentaire des marcs de raisin. *Annales de Zootechnie*, 40(3) : 143–151.
207. Lemine M., Mint F., Mohamed Ahmed M.V.O., Ben Mohamed Maoulainine L., Bouna Z.E.A.O., et al., 2014. Antioxidant activity of various Mauritanian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at two edible ripening stages. *Food Sci. Nutr.* 2: 700–705.
208. Leopoldini M., Russo N., Toscano M., 2011. The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food chemistry*, 125(2): 288-306.
209. Lester G.E., Eischen F., 1996. Beta-carotene content of postharvest orange-fleshed muskmelon fruit: Effect of cultivar, growing location and fruit size. *Plant Foods for Human Nutrition*, 49: 191-197.
210. Levite D., Adrian M., Tamm L., 2000. Preliminary results on contents of resveratrol in wine of organic and conventional vineyards. *Proceedings, 6th International Congress on Organic Viticulture, Convention Center, Basel, Switzerland, 25-26 august*: 256-257.
211. Li A.N., Li S., Zhang Y.J., Xu X.R., Chen Y.M., Li H.B., 2014. Resources and biological activities of natural polyphenols. *Nutrients*, 6(12): 6020-6047.
212. Liolios C.C., Sotiroudis G.T., Chinou I., 2009. Fatty acids, sterols, phenols and antioxidant activity of *Phoenix theophrasti* fruits growing in Crete, Greece. *Plant Food for Human Nutrition*, 64: 52-61.

213. Liyana-Pathirana C.M., Shahidi F., 2006. Importance of insoluble-bound phenolics to antioxidant properties of wheat. *Journal of agricultural and food chemistry*. ACS Publications, 54(4): 1256–1264.
214. Lonni A.A.S.G., Longhini R., Lopes G.C., de Mello J.C.P., Scarminio, I.S., 2012. Statistical mixture design selective extraction of compounds with antioxidant activity and total polyphenol content from *Trichilia catigua*. *Analytica chimica acta*, 719 : 57-60.
215. Louaileche H., Hammiche D., Hamoudi F., 2015. Total phenolic, flavonoid contents and *in vitro* antioxidant activity of Algerian date palm varieties: a comparative study. *American journal of food science and health*, 1(3): 63-68.
216. Luca S.V., Macovei I., Bujor A., Miron A., Skalicka-Woźniak K., Aprotosoae A.C., Trifan A., 2020. Bioactivity of dietary polyphenols: The role of metabolites. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(4): 626-659.
- M**
217. MADR, 2022. Ministère d’Agriculture et du Développement Rural. Statistiques agricoles.
218. Majid A., Naz F., Bhatti S., Phull A. R., 2023. Phenolic profile and antioxidant activities of three date seeds varieties (*Phoenix dactylifera* L.) of Pakistan. *Exploratory Research and Hypothesis in Medicine*, 8(3): 195-201.
219. Mansouri A., Embarek G., Kokkalou E., Kefalas P., 2005. Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food chemistry*, 89(3): 411-420.
220. Marfak A., 2003. Radiolyse gamma des flavonoïdes. Etude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools : formation de depsides. *Thèse de doctorat. Université de Limoges, France*, 220p.
221. Marlett J.A., McBurney M.I., Slavin J.L., 2002. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. *Journal of the American Dietetic Association*, 102(7): 993-1000.
222. Marston A., Hostettmann K., 2006. Separation and quantification of flavonoids. In : Andersen O. M., Markham K. R. (Eds), *Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications*. CRC Press, USA, 1-36.
223. Martinez M.C., Andriantsitohaina R., 2009. Reactive nitrogen species: molecular mechanisms and potential significance in health and disease. *Antioxidants and redox signaling*, 11(3): 669-702.
224. Matloob M.H., Balakita A., 2016. Phenolic content of various date palms fruits and vinegars from Iraq. *Int J Chem Sci.*, 14: 1893–1906.
225. Medel-Marabolí M., Romero J.L., Obreque-Slier E., Contreras A., Peña-Neira A., 2017. Effect of a commercial tannin on the sensorial temporality of astringency. *Food Research International*, 102: 341-347.
226. Meligi M.A., Sourial G.F., 1982. Fruit quality and general evaluation of some Iraqi date palm cultivars grown under conditions of barrage region. *First symposium on the date palm, Saudi-Arabia, 23-25 March*: 212-220.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

227. Mena S., Ortega A., Estrela J.M., 2009. Oxidative stress in environmental-induced carcinogenesis. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 674(1-2): 36-44.
228. Messaoudi R., Abbeddou S., Mansouri A., Calokerinos A. C., Kefalas P., 2013. Phenolic profile and antioxidant activity of date-pits of seven Algerian date palm fruit varieties. *International Journal of Food Properties*, 16(5): 1037-1047.
229. Metwally H.A.A., El-Bana A.A., Tahany Y., Diab Y.M., 2019. Evaluation of some selected seeded date palms and determination of its fruit characteristics under Dakhla Oasis Conditions-New Valley-Egypt. *Middle East J. Appl. Sci.*, 9(3): 711-726.
230. Mia M.A.T., Mosaib M.G., Khalil M.I., Islam M.A., Gan S.H., 2020. Potentials and safety of date palm fruit against diabetes: A critical review. *Foods*, 9(11): 1557.
231. Miller G.L., 1959. Use of Dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry*, 31(3): 426-428.
232. Mohamed R.M., Fageer A.S., Eltayeb, M.M., Mohamed Ahmed I.A., 2014. Chemical composition, antioxidant capacity, and mineral extractability of Sudanese date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits. *Food Science and Nutrition*, 2(5): 478-489.
233. Mohammed S., Shabana H.R., Mawlou E.A., 1983. Evaluation and identification of Iraqi date cultivars. Fruits characteristics of fifty cultivars. *Journal of Date Palm Journal*, 2: 27-55.
234. Molyneux P., 2004. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn J sci technol.*, 26 : 211–219.
235. Mortazavi S.M.H., Arzani K., Barzegar M., 2010. Analysis of sugars and organic acids contents of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) 'Barhee' during fruit development. *Acta Horti*, 882 : 793-802.
236. Mortazavi S.M.H., Azizollahi F., Moalemi N., 2015. Some quality attributes and biochemical properties of nine Iranian date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars at different stages of fruit development. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 2(2): 161-171.
237. Moure A., Cruz J.M., Franco D., Domínguez J.M., Sineiro J., Domínguez H., ... Parajó J.C., 2001. Natural antioxidants from residual sources. *Food chemistry*, 72(2): 145-171.
238. Moussouni S., Pintaud J.C., Vigouroux Y., Bouguedoura N., 2017. Diversity of Algerian oases date palm (*Phoenix dactylifera* L., Areaceae): Heterozygote excess and cryptic structure suggest farmer management had a major impact on diversity. *PloS one*, 12(4): e0175232. Doi.10.1371/journal.pone.0175232.
239. Muguruma M., Unami A., Kanki M., Kuroiwa Y., Nishimura J., Dewa Y., ... Mitsumori K., 2007. Possible involvement of oxidative stress in piperonyl butoxide induced hepatocarcinogenesis in rats. *Toxicology*, 236(1-2): 61-75.
240. Munier P., 1961. Note sur le séchage et le conditionnement des dattes communes. *Fruits*, 16(8) : 415-417.
241. Munier P., 1973. Le palmier dattier. Technique agricole et production tropicale. *Ed. Larousse, Paris*, 221p.
242. Munteanu I.G., Apetrei C., 2021. Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7): 3380. Doi. Org/10.3390/ijms22073380.

N°

243. Nancib N., Nancib A., Boudjelal A., Benslimane C., Blanchard F., Boudrant J., 2001. The effect of supplementation by different nitrogen sources on the production of lactic acid from date juice by *Lactobacillus casei* subsp. *Rhamnosus*. *Bioresource Technology*, 78(2): 149-153.
244. Nani A., 2017. Effets des polyphénols de mil sur le cancer de l'os et son mode d'action sur le système immunitaire. *Thèse de doctorat, Nutrition, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie*, 129p.
245. Nina N., Theoduloz C., Tapia G., Jimenez-Aspee F., Márquez K., Schmeda-Hirschmann G., 2023. Changes in polyphenol composition, antioxidant capacity and enzyme inhibition in *Phaseolus vulgaris* L. submitted to hydric stress. *Scientia Horticulturae*, 317, 112070.
246. Nollet L.M., Gutierrez-Urbe J. A., 2018. Phenolic compounds in food: Characterization and analysis. *CRC Press*, 450p.
247. Nonell S., Flors C., 2016. Singlet Oxygen: Applications in Biosciences and Nanosciences, Volume 1. *Royal Society of Chemistry*, 472p.

O

248. ONM station Adrar, 2020. Office National de la Météorologie. Données météorologiques.
249. Ortiz-Urbe N., Salomón-Torres R., Krueger R., 2019. Date palm status and perspective in Mexico. *Agriculture*, 9(3) : 46.
250. Otmane T., 2010. Mise en valeur agricole et dynamiques rurales dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt (Sahara algérien). *Thèse de doctorat en cotutelle, Géographie et d'aménagement du territoire, Université d'Oran (Algérie) et Université de Franche-Comté (France)*, 399p.
251. Ou K., Gu L., 2014. Absorption and metabolism of proanthocyanidins. *Journal of Functional Foods*, 7 : 43-53.
252. Ouafi S., Bounaga N., 2008. Les glycosides flavoniques marqueurs de cultivars algériens du palmier—dattier *Phoenix dactylifera* L. *Acta Botanica Gallica*, 155(2) : 307-315.

P

253. Pakkish Z., Mohammadrezakhani S., 2020. Comparison of phytochemicals and their antioxidant activity in seven date palm varieties grown in Iran. *International Journal of Food Properties*, 23(1): 1766-1776.
254. Pastre J., 2005. Intérêt de la supplémentation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques. *Thèse de doctorat; Sciences Vétérinaires, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, France*, 116p.

255. Pellegrini N., Colombi B., Del Rio D., Salvatore S., Bianchi M., Brighenti F., Serafini M., 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different *in vitro* assays. *The Journal of nutrition*, 133(9): 28.
256. Peyrot F., 2004. Réactions des espèces réactives de l'azote dérivées du monoxyde d'azote avec la mélatonine et quelques indoles apparentés. Implications biologiques. *Thèse de doctorat, Université Paris XI Orsay, France*, 226p.
257. Pokorny J., Yanishieva N., Gordon MH., 2001. Antioxidants in food. In : Pokorny J. (Eds.), Practical Applications. *Cambridge : Woodhead Publishing Limited*: 16–18.
258. Prior R.L., Wu X., Schaich K., 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(10): 4290-4302.

Q

259. Qadri R.W.K., Waheed S., Haider M.S., Khan I., Naqvi S.A., Bashir M., Khan M.M., 2016. Physicochemical characterization of fruit of different date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Pakistan. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 26(5): 1268-1277.

R

260. Radfar R., Farhoodi M., Ghasemi I., Khaneghah A.M., Shahraz F., Hosseini H., 2019. Assessment of phenolic contents and antioxidant and antibacterial activities of extracts from four varieties of Iranian date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds. *Applied food biotechnology*, 6(3) : 173-184.
261. Rahal-Bouziane H., 2006. Fourrages cultivés des oasis du Touat, Gourara et Tidikelt : caractéristiques ethnobotaniques, morphologiques et valeur alimentaire. *Revue INRAA, Algérie*, 42p.
262. Rambabu K., Bharath G., Hai A., Banat F., Hasan S. W., Taher H., Mohd Zaid H. F., 2020. Nutritional quality and 189educt-chemical characteristics of selected date fruit varieties of the United Arab Emirates. *Processes*, 8(3): 256. Doi.org/10.3390/pr8030256.
263. Rambaran T.F., 2020. Nanopolyphenols: A review of their encapsulation and anti-diabetic effects. *SN Applied Sciences*, 2(8): 1335. Doi.org/10.1007/s42452-020-3110-8.
264. Rastegar S., Rahemi M., Baghizadeh A., Gholami M., 2012. Enzyme activity and biochemical changes of three date palm cultivars with different softening pattern during ripening. *Food Chemistry*, 134(3): 1279-1286.
265. Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10): 1231-1237.
266. Reiter R., Tan D.X., Cabrera J., D'Arpa D., Sainz R., Mayo J., Ramos S., 1999. The oxidant/antioxidant network: role of melatonin. *Neurosignals*, 8(1-2): 56-63.

267. Rekab A., Zeinab A., Gadalla M., E.G. Mohamed S.Y., 2010. Morphological, physiological and molecular genetic evaluation of the most important dry date palm. *J. Biol. Chem. Environ. Sci.*, 5(3): 23 – 47.
268. Retsky K.L., Chen K., Zeind J., Frei B., 1999. Inhibition of copper-induced LDL oxidation by vitamin C is associated with decreased copper-binding to LDL and 2-oxo-histidine formation. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(1-2): 90-98.
269. Reynes M., 1997. Influence d'une technique de désinfestation par micro-ondes sur les critères de qualité physico-chimiques et biochimiques de la dattes. *Thèse de Doctorat, Biotechnologies et industries alimentaires, Institut National Polytechnique de Lorraine, France*, 182p.
270. Reynes M., Bouabidi H., Piombo G., Risterucci A. M., 1994. Caractérisation des principales variétés de dattes cultivées dans la région du Djérid en Tunisie. *Fruits*, 49(4): 289-298.
271. Rezaire A., 2012. Activité anti-oxydante, et caractérisation phénolique du fruit de palmier amazonien *Oenocarpus bataua* (patawa). *Thèse de doctorat, Phytochimie, Université des Antilles et de la Guyane, France*, 208p.
272. Rhazi N., Hannache H., Oumam M., Sesbou A., Charrier B., Pizzi A., Charrier-El Bouhtoury F., 2019. Green extraction process of tannins obtained from Moroccan *Acacia mollissima* barks by microwave: Modeling and optimization of the process using the response surface methodology RSM. *Arab. J. Chem.*, 12: 2668–2684.
273. Rhouma A., 2005. Le palmier dattier en Tunisie I. Le patrimoine génétique Volume 2. *IPGRI, Rome*, 255p.
274. Ribera A., Reyes-Diaz M., Alberdi M., Zuñiga G., Mora, M., 2010. Antioxidant compounds in skin and pulp of fruits change among genotypes and maturity stages in highbush blueberry (*vaccinium corymbosum l.*) grown in Southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(4): 509–536.
275. Ribéreau-Gayon J., Peynaud E., Sudraud P., Ribéreau-Gayon P., 1972. Sciences et techniques du vin. *Tome 1. Ed. Dunod. Paris*, 671p.
276. Rock W., Rosenblat M., Borochoy-Neori H., Volkova N., Judeinstein S., Elias M., Aviram M., 2009. Effects of date (*Phoenix dactylifera L.*, Medjool or Hallawi Variety) consumption by healthy subjects on serum glucose and lipid levels and on serum oxidative status: a pilot study. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(17): 8010-8017.
277. Rygg G.L., 1948. Acidity in relation to quality in the date fruit. *Annual report. Date Growers Institute*, 25: 32-33.



278. Saafi E.B., El Arem A., Issaoui M., Hammami M., Achour L., 2009. Phenolic content and antioxidant activity of four date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruit varieties grown in Tunisia. *International journal of food science and technology*, 44(11): 2314-2319.

279. Saafi E.B., Arem A.E., Chahdoura H., Flamini G., Lachheb B., Ferchichi A., ... Achour L., 2022. Nutritional properties, aromatic compounds and *in vitro* antioxidant activity of ten date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) varieties grown in Tunisia. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 58: e18871. Doi.org/10.1590/s2175-97902020000318871.
280. Sabir J.S., Abo-Aba S., Bafeel S., Zari T. A., Edris S., Shokry A. M., ... Bahieldin A., 2014. Characterization of ten date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars from Saudi Arabia using AFLP and ISSR markers. *Comptes rendus biologiques*, 337(1): 6-18.
281. Saker M.L., Daddi Bouhoun M., 2007. La phoeniculture algérienne : situation actuelle, problème poses et perspectives de développement. *Ann. Faculté Sci. Sci. Ing. Ouargla*, 1(2) : 51-57.
282. Sakr M.M., Hassan W.M., Abu Zeid, I.M., Hassan A.R.E., Baz, A.E.E., 2012. The application of Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) in the classification of Egyptian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars. *Journal of American Science*, 8(1): 152-159.
283. Saleh F.A., Otaibi M.M., 2013. Antibacterial activity of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit at different ripening stages. *Journal of Food Processing and Technology*, 4(12): 1-6.
284. 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.
285. Samad M., Hashim S., Simarani K., Yaacob J., 2016. Antibacterial Properties and Effects of Fruit Chilling and Extract Storage on Antioxidant Activity, Total Phenolic and Anthocyanin Content of Four Date Palm (*Phoenix dactylifera*) Cultivars. *Molecules*, 21(4), 419.
286. Šamec D., Karalija E., Šola I., Vujčić Bok V., Salopek-Sondi B., 2021. The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants*, 10(1): 118.
287. Santangelo C., Vari R., Scazzocchio B., Di Benedetto R., Filesi C., Masella R., 2007. Polyphenols, intracellular and inflammation. *Annali-istituto di sanita*, 43(4): 394.
288. Sarraf M., Jemni M., Kahramanoğlu I., Artés F., Shahkoomahally S., Namsi A., Ihtisham M., Brestic M., Mohammadi M., Rastogi A., 2021. Commercial techniques for preserving date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit quality and safety: A review. *Saudi J. Biol. Sci.*, 28: 4408–4420.
289. Sayah Z., 2018. Caractéristiques physico-chimiques et biochimiques et activités biologiques de quelques dattes sèches, molles et demi-molles de la cuvette de Ouargla au stade Routab et Tmar. *Thèse de doctorat, Biochimie et analyse des bioproduits, Université Kasdi Merbah de Ouargla*, 118p.
290. Schofield P., Mbugua D. M., Pell A. N., 2001. Analysis of condensed tannins: a review. *Animal feed science and technology*, 91(1-2): 21-40.
291. Sedra M.H., 2015. Date palm status and perspective in Morocco. In: Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV (eds), Date palm genetic resources and utilization, Vol 1. Africa and the Americas. *Springer, Netherlands* : 257–323
292. Seeram N.P., Aviram M., Zhang Y., Henning S.M., Feng L., Dreher M., Heber D., 2008. Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(4): 1415-1422.

293. Seigler D.S., Seilheimer S., Keesy J., Huang H.F., 1986. Tannins from four common Acacia species of Texas and Northeastern Mexico. *Economic Botany, Springer*, 40: 220–232.
294. Sen C., Packer L., Hänninen O., 2000. Handbook of oxidants and antioxidants in exercise. *Elsevier Sciences*, 1220p.
295. Siboukeur O., Ould El Hadj M.D., Zargat F., 2001. Contribution à l'Etude de la Production d'Acide Citrique par *Aspergillus niger* Cultivée sur Moût de Dattes de la Variété *Ghars*. *Rev. Energ. Ren.: Production et Valorisation – Biomasse*: 93-96.
296. Siddiqi S.A., Rahman S., Khan M.M., Rafiq S., Inayat A., Khurram M.S., ... Jamil F., 2020. Potential of dates (*Phoenix dactylifera* L.) as natural antioxidant source and functional food for healthy diet. *Science of the Total Environment*, 748: 141234.
297. Silva A.R., Menezes P.F.C., Martinello T., Novakovich G.F.L., Praes C.E.O., Feferman I. H. S., 2010. Antioxidant kinetics of plant-derived substances and extracts. *International Journal of Cosmetic Science*, 32(1): 73-80.
298. Singh A.P., Wilson T., Kalk A.J., Cheong J., Vorsa N., 2009. Isolation of specific cranberry flavonoids for biological activity assessment. *Food chemistry*, 116(4): 963-968.
299. Slimani S., 2021. Etude de la méthode de répartition de l'eau de foggara et sa vulnérabilité à la pollution dans la région d'Adrar. *Thèse de doctorat, Hydraulique, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie*, 98p.
300. Slinkard K., Singleton V.L., 1977. Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American journal of enology and viticulture*, 28(1): 49-55.
301. Sogoni A., Jimoh M., Kambizi L., Laubscher C., 2021. The impact of salt Stress on plant growth, mineral Composition, and antioxidant activity in *Tetragonia decumbens* Mill.: An Underutilized Edible Halophyte in South Africa. *Horticulturae*, 7(6): 140.
302. Sokač T., Gunjević V., Pušek A., Tušek A. J., Dujmić F., Brnčić M., ... Redovniković I.R., 2022. Comparison of Drying Methods and Their Effect on the Stability of Graševina Grape Pomace Biologically Active Compounds. *Foods*, 11(1), 112.
303. Soliman S.S., Al-Saif A.M., Al-Obeed R.S., 2016. Evaluation of pollen germination of some palm males and pollination impact on bunch weight and fruit quality in Kadary date palm cultivar (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of Environmental Biology*, 37(1): 141.
304. Sosa V., Moliné T., Somoza R., Paciucci R., Kondoh H., Lleonart M.E., 2013. Oxidative stress and cancer: an overview. *Ageing research reviews*, 12(1): 376-390.
305. Souli I., Jemni M., Rodríguez-Verástegui L.L., Chaira N., Artés F., Ferchichi A., 2018. Phenolic composition profiling of Tunisian 10 varieties of common dates (*Phoenix dactylifera* L.) at tamar stage using LC-ESI-MS and antioxidant activity. *J. Food Biochem.*, 42: e12634. Doi.org/10.1111/jfbc.12634.
306. Stinefelt B., Leonard S.S., Blemings K.P., Shi X., Klandorf H., 2005. Free radical scavenging, DNA protection, and inhibition of lipid peroxidation mediated by uric acid. *Annals of Clinical and Laboratory Science*, 35(1): 37-45.
307. Strobel N.A., Fassett R.G., Marsh S.A., Coombes, J.S., 2011. Oxidative stress biomarkers as predictors of cardiovascular disease. *International journal of cardiology*, 147(2): 191-201.

308. Sumaya Martinez M.T., 2004. Valorisation d'hydrolysats de co-produits de crevettes : étude de l'activité antiradicalaire et antioxydante, fractionnement des substances actives et effet de la glycation. *Thèse de doctorat en Microbiologie, Brest, France* 188p.
309. Szekely G.J., Rizzo M.L., 2005. Hierarchical clustering via joint between-within distances: Extending Ward's minimum variance method. *Journal of classification*, 22(2): 151-184.
- †
310. Tabart J., Kevers C., Sipel A., Pincemail J., Defraigne J.O., Dommes J., 2007. Optimisation of extraction of phenolics and antioxidants from black currant leaves and buds and of stability during storage. *Food chemistry*, 105(3): 1268-1275.
311. Taleb H., Maddocks S.E., Morris R.K., Kanekanian A.D., 2016. Chemical characterisation and the anti-inflammatory, anti-angiogenic and antibacterial properties of date fruit (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of ethnopharmacology*, 194: 457-468.
312. Tapiero H., 2012. Stress oxydatif et alicaments. *EDP Sciences*, 86p.
313. Tassoult M., Kati D.E., Fernández-Prior M.Á., Bermúdez-Oria A., Fernandez-Bolanos J., Rodríguez-Gutiérrez G., 2021. Antioxidant capacity and phenolic and sugar profiles of date fruits extracts from six different Algerian cultivars as influenced by ripening stages and extraction systems. *Foods*, 10(3): 503.
314. Tazeddinova D., Rahman M.R., Hamdan S.B., Matin M.M., Bakri M.B., Rahman M.M., 2022. Plant based polyphenol associations with protein: A prospective review. *BioResources*, 17(4): 7110.
315. Teh S.S., Bekhit A.E.D., Birch J., 2014. Antioxidative polyphenols from defatted oilseed cakes: effect of solvents. *Antioxidants*, 3(1): 67-80.
316. Thompson L.U., Boucher B.A., Liu Z., Cotterchio M., Kreiger N., 2006. Phytoestrogen content of foods consumed in Canada, including isoflavones, lignans, and coumestan. *Nutrition and Cancer*, 54(2): 184–201.
317. Tibullo D., Li Volti G., Giallongo C., Grasso S., Tomassoni D., Anfuso C.D., ... Bramanti V., 2017. Biochemical and clinical relevance of alpha lipoic acid: antioxidant and anti-inflammatory activity, molecular pathways and therapeutic potential. *Inflammation Research*, 66 : 947-959.
318. Tirichine A., 1997. Étude des ressources génétiques du palmier dattier. Whyte, R.O., 1959 : Prospection, récolte et introduction des plantes. *Éd FAO. Rome*, 126 p.
319. Toutain G., 1979. Éléments d'agronomie Saharienne. *Cellules des zones arides, Inst. Nat. De la Recherche Agronomique, Groupe de recherche et d'échanges technologiques*, 273p.
320. Touzi A., Bahiani, M., 2003. Importance de la Biomasse dans le Développement Durable des Régions Sahariennes ». *Revue Station d'Expérimentation des Equipements Solaires en Milieu Saharien, (SEES/MS), Adrar*, 25p.
321. Trabelsi N., Megdiche W., Ksouri R., Falleh H., Oueslati S., Soumaya B., Hajlaoui H., Abdelly C., 2010. Solvent effects on phenolic contents and biological activities of the halophyte *Limoniastrum monopetalum* leaves. *LWT-Food Science and Technology*, 43(4): 632-639.

V

322. 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: 610–617.
323. Verde A., Míguez J.M., Gallardo M., 2019. Melatonin and related bioactive compounds in commercialized date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.): correlation with some antioxidant parameters. *Eur. Food Res. Technol.*, 245: 51–59.
324. Vona R., Pallotta L., Cappelletti M., Severi C., Matarrese P., 2021. The impact of oxidative stress in human pathology: Focus on gastrointestinal disorders. *Antioxidants*, 10(2): 201.
325. Vuolo M.M., Lima V.S., Junior M.R.M., 2019. Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. In : Campos M. R. S. (eds), Bioactive compounds. *Woodhead Publishing*: 33-50. Doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5.
326. Vuorela S., Meyer A.S., Heinonen M., 2003. Quantitative analysis of the main phenolics in rapeseed meal and oils processed differently using enzymatic hydrolysis and HPLC. *European Food Research and Technology*, 217: 517-523.

W

327. Walsborn R., 2015. Date sector report and value chain development program. *USAID/Iraq/Inma Agribusiness Program*, 35p.
328. Wang S.Y., 2006. Effect of pre-harvest conditions on antioxidant capacity in fruits. *ISHS Acta Horticulturae 712 : IV International Conference on Managing Quality in Chains – The Integrated View on Fruits and Vegetables Quality*: 299-306.
329. Wang S.Y., Lin H.S., 2003. Compost as a soil supplement increases the level of antioxidant compounds and oxygen radical absorbance capacity in strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(23): 6844-6850.
330. Wang S.Y. Jiao H., 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *J. Agric. Food Chem.*, 48: 5677-5684.
331. Wen L., Jiang Y., Yang J., Zhao Y., Tian M., Yang B., 2017. Structure, bioactivity, and synthesis of methylated flavonoids. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1398(1): 120-129.
332. Williamson G., 2017. The role of polyphenols in modern nutrition. *Nutrition bulletin*, 42(3): 226-235.
333. Williner M.R., Pirovani M.E., Güemes D.R., (2003). Ellagic acid content in strawberries of different cultivars and ripening stages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(8): 842–845.

334. Wrolstad R.E., Acree T.E., Decker E.A., Penner M. H., Reid D. S., Schwartz S. J., ... Sporns P., 2005. Handbook of food analytical chemistry, volume 1: Water, proteins, enzymes, lipids, and carbohydrates. *John Wiley and Sons*, 784 p.

X

335. Xu B.J., Chang S.K., 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of food science*, 72(2): S159-S166.

Y

336. Yahmed N.B., Dauplain K., Lajnef I., Carrere H., Trably E., Smaali I., 2021. New sustainable bioconversion concept of date by-products (*Phoenix dactylifera* L.) to biohydrogen, biogas and date-syrup. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(1): 297-305.

337. Yasin B.R., El-Fawal H.A., Mousa S.A., 2015. Date (*Phoenix dactylifera*) polyphenolics and other bioactive compounds: A traditional remedy's potential in prevention of cell damage, cancer therapeutics and beyond. *International journal of molecular sciences*, 16(12): 30075-30090.

338. Yeh C.T., Ching L.C., Yen G.C., 2009. Inducing gene expression of cardiac antioxidant enzymes by dietary phenolic acids in rats. *The Journal of nutritional biochemistry*, 20(3): 163-171.

339. Yoshida H., Yanai H., Namiki Y., Fukatsu-Sasaki K., Furutani N., Tada N., 2006. Neuroprotective effects of edaravone: a novel free radical scavenger in cerebrovascular injury. *CNS drug reviews*, 12(1): 9-20.

340. Younas A., Naqvi S. A., Khan M. R., Shabbir M. A., Jatou M. A., Anwar F., ... Aadil R. M., 2020. Functional food and nutra-pharmaceutical perspectives of date (*Phoenix dactylifera* L.) fruit. *Journal of food biochemistry*, 44(9): e13332. Doi.org/10.1111/jfbc.13332.

341. Yousif A.K., Benjamin N.D., Kado A., Alddin S.M., Ali S.M., 1982. Chemical composition of four Iraqi date cultivars. *The Date Palm Journal*, 1: 285-294.

342. Yu L., Haley S., Perret J., Harris M., Wilson J., Qian M., 2002. Free radical scavenging properties of wheat extracts. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(6): 1619-1624.

Z

343. Zaid S.E., 2019. Molecular Investigations in Date Palm Genetic Structure and Diversity among Commercially Important Date Palm Cultivars (*Phoenix dactylifera* L.). *Thèse de doctorat, horticulture, Université de Colorado*, 125p.

344. Zakraoui M., Hannachi H., Pasković I., Vidović N., Polić Pasković M., Palčić I., Major N., Goreta Ban S., Ham-rouni L., 2023. Effect of geographical location on the phenolic and mineral composition of Chetoui olive leaves. *Foods*, 12: 2565. Doi.org/10.3390/foods12132565.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

345. Zhang S.Y., Zheng C.G., Yan X.Y., Tian W.X., 2008. Low concentration of condensed tannins from catechu significantly inhibits fatty acid synthase and growth of MCF-7 cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 371(4): 654-658.

346. Zhou K., Yu L., 2004. Effects of extraction solvent on wheat bran antioxidant activity estimation. *LWT-Food science and Technology*, 37(7): 717-721.

347. Zihad S.N.K., Uddin S.J., Sifat N., Lovely F., Rouf R., Shilpi J.A., ... Göransson U., 2021. Antioxidant properties and phenolic profiling by UPLC-QTOF-MS of Ajwah, Safawy and Sukkari cultivars of date palm. *Biochemistry and biophysics reports*, 25: 100909. Doi.org/10.1016/j.bbrep.2021.100909.

348. باباحني س.، سنوسي ع. ح.، رابية ع. و حتى ك.، (2011). تشخيص حول استعمال منتجات النخيل في الطب التقليدي والتجميل في منطقة ورقلة- الجمهورية الجزائرية. *مجلة الموارد الحيوية*، 1(1): 55 – 64.

349. باباحني س.، (2016). واقع استغلال فحول النخيل في الواحات الجزائرية. *مجلة النخلة المباركة*، 8 (2): 29 – 33.

350. بهياني م.، هيدورت.، بكر اوي ع.، خريسي م.، لنصاري م.، لمريض ك. (2016). النباتات المحلية لولاية أدرار وإمكانية ترفيتها. *PNUD. FORUM*. طبعة ص 56.



ANNEXES

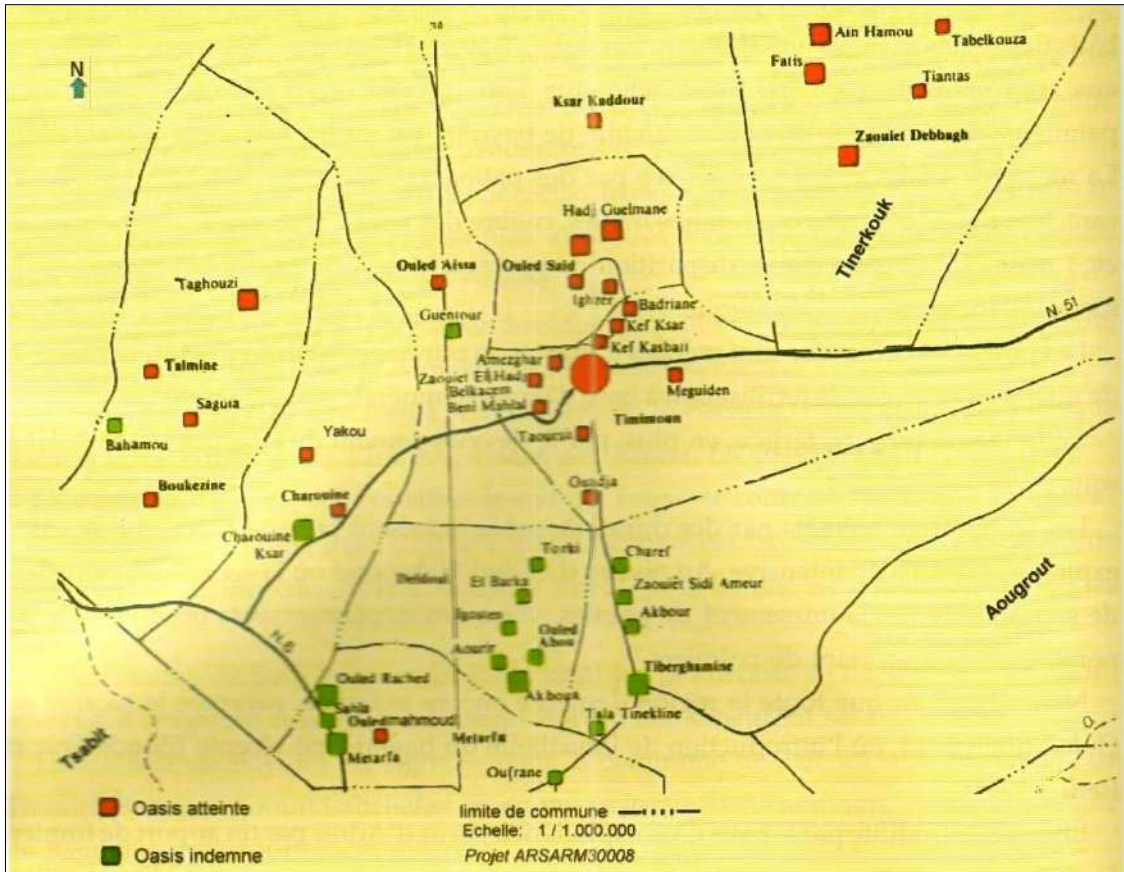


Figure 2 : Carte épidémiologique de la maladie du Bayoud au niveau du Gourara (Boudeffeur et al., 2020).

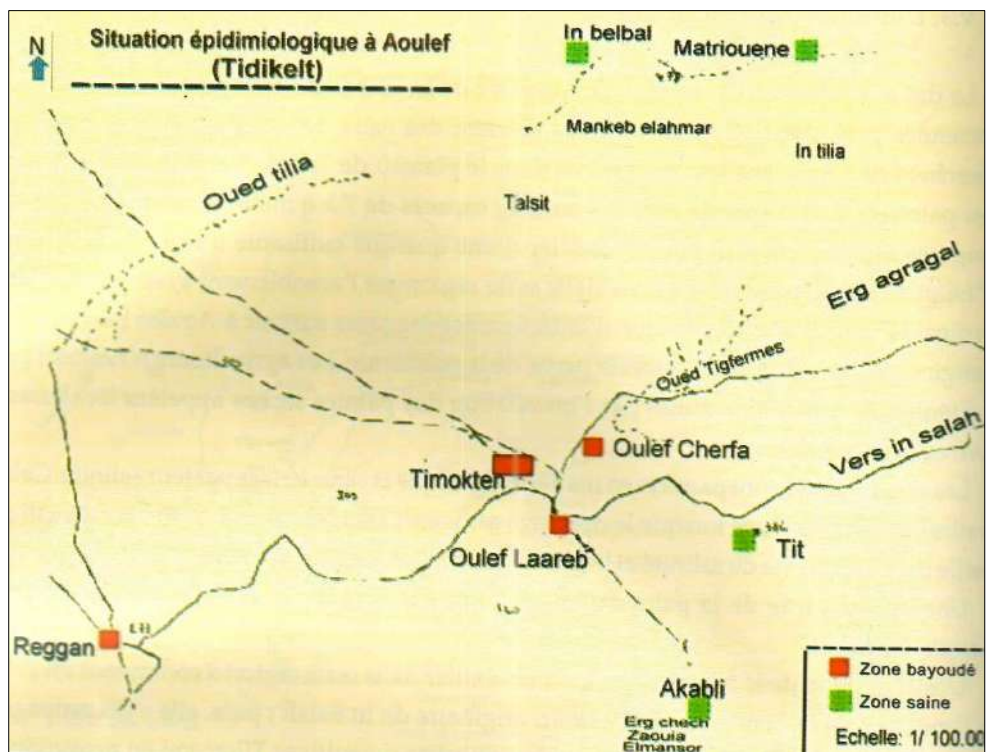


Figure 3 : Carte épidémiologique de la maladie du Bayoud au niveau du Tidikelt (Boudeffeur et al., 2020).

Annexes 2 : Caractérisation des dattes

Tableau 01 : Caractéristiques biométriques des vingt cultivars de dattes.

Paramètres Cultivars	PD (g)	PP (g)	PN (g)	R. P/D (%)	R. N/D (%)
<i>Abdeslam</i>	11,84±1,47	10,92±1,79	0,87±0,16	92,65±1,03	7,35±1,03
<i>Adâam Bullah</i>	16,72±2,18	15,32±2,03	1,37±0,31	91,80±1,66	8,20±1,66
<i>Adâam Robb</i>	10,35±0,89	9,65±0,88	0,64±0,18	93,76±1,66	6,24±1,66
<i>Adekli</i>	15,60±2,26	14,08±2,13	1,51±0,34	90,29±1,77	9,71±1,77
<i>Agaz</i>	18,65±1,31	16,92±1,45	1,45±0,30	92,26±1,30	7,74±1,30
<i>Aghamou</i>	6,78±1,14	5,94±1,03	0,84±0,16	87,55±1,88	12,45±1,88
<i>Aghares</i>	6,91±0,63	5,99±0,60	0,91±0,11	86,72±1,56	13,28±1,56
<i>Ahartane</i>	12,18±2,03	10,86±1,84	1,31±0,25	89,15±1,72	10,85±1,72
<i>Bamakhlouf</i>	15,48±1,04	13,89±0,10	1,51±0,28	90,27±1,68	9,73±1,68
<i>Cheikh M'Hamed</i>	9,40±1,92	8,25±1,73	1,08±0,26	88,44±2,06	11,56±2,06
<i>Deglet Talmine</i>	21,35±3,74	19,96±4,37	1,04±0,31	94,99±1,86	5,01±1,86
<i>Hmira</i>	5,69±0,79	4,88±0,73	0,78±0,14	86,16±2,5	13,84±2,5
<i>Mes'Udia</i>	16,46±2,28	15,19±2,26	1,23±0,14	92,42±1,19	7,58±1,19
<i>Ouarglia</i>	12,99±1,40	11,69±1,42	1,25±0,17	90,27±1,64	9,73±1,64
<i>Taqerbucht safra</i>	12,90±1,73	11,61±1,58	1,26±0,19	90,23±1,04	9,77±1,04
<i>Tazarzeyt</i>	8,56±0,94	7,36±0,74	1,12±0,25	87,03±2,01	12,97±2,01
<i>Tgazza</i>	10,78±1,19	9,49±1,10	1,25±0,19	88,41±1,53	11,59±1,53
<i>Timliha</i>	7,17±1,11	6,14±1,00	1,02±0,17	85,66±1,77	14,34±1,77
<i>Tinnaqor</i>	7,49±0,66	6,70±0,62	0,75±0,12	90,03±1,58	9,97±1,58
<i>Tinnaser</i>	5,16±0,42	4,38±0,34	0,84±0,14	83,81±2,23	16,19±2,23

PD : Poids Datte ; PP : Poids Pulpe ; PN : Poids Noyau ; R. P/D : Rapport Pulpe Datte (= % Pulpe) ; R. N/D : Rapport Noyau Datte.

Tableau 02 : Caractéristiques physico-chimiques des vingt cultivars de dattes.

Paramètres Cultivars	TE (%)	pH	AT (%)	Cd (%)
<i>Abdeslam</i>	21,91±0,63 ^{bcd}	6,65±0,01 ^k	0,26±0,00 ^{bc}	2,18±0,04 ^{bcde}
<i>Adâam Bullah</i>	37,78±0,39 ^{ghi}	6,67±0,06 ^k	0,17±0,02 ^a	2,77±0,05 ^{fg}
<i>Adâam Robb</i>	19,12±0,23 ^{abc}	6,45±0,01 ⁱ	0,25±0,00 ^b	2,39±0,14 ^{cdef}
<i>Adekli</i>	34,56±1,93 ^{fgh}	7,23±0,01 ^o	0,28±0,02 ^{bcd}	1,97±0,04 ^{abc}
<i>Agaz</i>	32,48±0,92 ^{fg}	7,23±0,01 ^o	0,45±0,01 ^{hi}	2,17±0,05 ^{bcd}
<i>Aghamou</i>	16,55±1,53 ^{ab}	5,41±0,01 ^c	0,76±0,02 ^l	2,51±0,08 ^{def}
<i>Aghares</i>	16,85±0,35 ^{ab}	5,28±0,01 ^b	0,72±0,01 ^l	2,05±0,03 ^{abcd}
<i>Ahartane</i>	38,82±5,17 ^{hi}	6,73±0,02 ^l	0,40±0,01 ^{fgh}	2,57±0,36 ^{def}
<i>Bamakhlouf</i>	42,55±1,60 ^{ij}	7,31±0,01 ^p	0,18±0,01 ^a	3,15±0,08 ^{gh}
<i>Cheikh M'Hamed</i>	44,89±1,21 ^j	6,40±0,03 ^h	0,28±0,07 ^{bc}	2,46±0,22 ^{cdef}
<i>Deglet Talmine</i>	19,68±1,51 ^{abcd}	6,03±0,02 ^f	0,31±0,01 ^{bcd}	3,80±0,08 ⁱ
<i>Hmira</i>	33,53±1,90 ^{fgh}	6,42±0,02 ^{hi}	0,41±0,02 ^{gh}	2,71±0,11 ^{efg}
<i>Mes'Udia</i>	37,79±0,10 ^{ghi}	6,83±0,01 ^m	0,27±0,02 ^{bc}	3,22±0,03 ^{gh}
<i>Ouarglia</i>	36,67±0,24 ^{gh}	6,88±0,01 ⁿ	0,32±0,01 ^{cde}	1,60±0,14 ^a
<i>Taqerbucht safra</i>	30,24±1,07 ^{ef}	6,29±0,01 ^g	0,28±0,01 ^{bcd}	2,32±0,03 ^{cdef}
<i>Tazarzeyt</i>	29,08±0,52 ^{ef}	5,85±0,01 ^e	0,48±0,02 ^{ij}	1,75±0,22 ^{ab}
<i>Tgazza</i>	25,23±3,57 ^{de}	6,61±0,00 ^j	0,52±0,02 ^j	2,38±0,17 ^{cdef}
<i>Timliha</i>	24,89±3,36 ^{cde}	6,45±0,01 ⁱ	0,34±0,01 ^{def}	3,47±0,42 ^{hi}
<i>Tinnaqor</i>	19,04±0,50 ^{ab}	5,81±0,01 ^d	0,36±0,01 ^{efg}	2,45±0,16 ^{cdef}
<i>Tinnaser</i>	14,28±0,89 ^a	5,02±0,01 ^a	0,64±0,02 ^k	3,36±0,24 ^{hi}

Chaque résultat est exprimé en moyenne ± écart type (n = 3).

Les résultats dans la même colonne suivis de lettres différentes sont significativement différents (p < 0,05), tels qu'établis par le test de Tukey.

TE : Teneur en Eau ; **AT** : Acidité Titrable ; **Cd** : Cendres.

Tableau 03 : Caractéristiques biochimiques (métabolites primaires) des vingt cultivars de dattes.

Paramètres Cultivars	MG (%)	Prt (%)	ST (%)	SR (%)	SC (%)	VE (Kcal)
<i>Abdeslam</i>	0,07±0,00 ^{abc}	3,38±0,20 ^{cde}	76,30±0,22 ^{cd}	51,19±0,78 ^{gh}	23,85±0,74 ^d	329,85
<i>Adâam Bullah</i>	0,05±0,00 ^{ab}	2,64±0,02 ^{abc}	65,84±0,85 ^a	45,27±0,49 ^d	19,54±0,46 ^b	283,90
<i>Adâam Robb</i>	0,03±0,00 ^a	3,50±0,44 ^{de}	63,09±0,96 ^a	54,63±0,32 ⁱ	8,04±0,31 ^a	274,43
<i>Adekli</i>	0,06±0,00 ^{abc}	3,65±0,67 ^{ef}	81,45±0,29 ^{fgh}	50,38±0,11 ^{fg}	29,51±0,11 ^f	352,17
<i>Agaz</i>	0,10±0,01 ^{cde}	3,38±0,11 ^{cde}	76,78±1,20 ^{de}	46,65±0,86 ^{de}	28,63±0,82 ^{ef}	332,19
<i>Aghamou</i>	0,11±0,00 ^{def}	2,42±0,22 ^{ab}	80,93±1,02 ^{fg}	42,17±0,06 ^c	36,81±0,06 ⁱ	347,12
<i>Aghares</i>	0,08±0,00 ^{bcd}	3,34±0,24 ^{cde}	81,89±0,84 ^{fgh}	37,06±0,21 ^b	42,59±0,20 ^j	353,32
<i>Ahartane</i>	0,12±0,02 ^{efgh}	2,86±0,20 ^{abcde}	73,49±2,31 ^{bc}	49,55±0,22 ^{fg}	22,75±0,21 ^{cd}	317,21
<i>Bamakhlouf</i>	0,15±0,03 ^{gh}	2,40±0,20 ^{ab}	81,61±0,77 ^{fgh}	46,54±0,41 ^{de}	33,32±0,39 ^h	350,31
<i>Cheikh M'Hamed</i>	0,23±0,01 ⁱ	2,24±0,04 ^a	73,22±1,55 ^{bc}	49,82±0,63 ^{fg}	22,24±0,60 ^c	315,29
<i>Deglet Talmine</i>	0,09±±0,0 ^{bcd}	2,48±0,25 ^{ab}	84,27±0,13 ^{hij}	49,64±0,66 ^{fg}	32,90±0,62 ^h	361,17
<i>Hmira</i>	0,17±0,01 ^h	3,15±0,30 ^{bcd}	70,96±0,43 ^b	49,90±0,63 ^{fg}	20,01±0,60 ^b	307,67
<i>Mes'Udia</i>	0,44±0,02 ^j	2,56±0,10 ^{abc}	74,91±2,37 ^{cd}	46,16±0,16 ^{de}	27,31±0,15 ^e	324,97
<i>Ouarglia</i>	0,11±0,01 ^{def}	2,55±0,08 ^{abc}	71,25±0,59 ^b	49,51±0,91 ^f	20,65±0,87 ^b	306,85
<i>Taqerbucht safra</i>	0,23±0,02 ⁱ	2,63±0,00 ^{abc}	86,24±0,24 ^{ik}	47,46±0,06 ^e	36,84±0,06 ⁱ	371,01
<i>Tazarzeyt</i>	0,15±0,02 ^{fgh}	2,16±0,20 ^a	85,20±0,80 ^{ijk}	52,44±0,01 ^h	31,12±0,01 ^g	364,72
<i>Tgazza</i>	0,11±0,00 ^{defg}	4,55±0,23 ^g	79,82±0,65 ^{ef}	49,17±0,14 ^f	29,11±0,13 ^f	348,09
<i>Timliha</i>	0,12±0,02 ^{efg}	2,47±0,25 ^{ab}	83,22±0,13 ^{ghij}	47,27±0,45 ^e	34,17±0,43 ^h	357,01
<i>Tinnaqor</i>	0,06±0,01 ^{ab}	2,77±0,25 ^{abcd}	87,67±1,26 ^k	21,61±1,21 ^a	62,75±1,15 ^k	375,98
<i>Tinnaser</i>	0,21±0,02 ⁱ	4,38±0,44 ^{fg}	82,67±0,31 ^{fghi}	37,06±0,12 ^b	43,33±0,11 ^j	360,45

Chaque résultat est exprimé en moyenne ± écart type (n = 3).

Les résultats dans la même colonne suivis de lettres différentes sont significativement différents (p < 0,05), tels qu'établis par le test de Tukey.

MG : Matières Grasses (ou Lipides) ; **Prt** : Protéines ; **ST** : Sucres Totaux ; **SR** : Sucres Réducteurs ; **SC** : Saccharose ; **VE** : Valeur Energétique.

Tableau 04 : Teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes totaux et en tanins condensés des vingt extraits des cultivars de dattes, de mixture ternaïre.

Paramètres	PT (mg EAG/100g MS)	FT (mg EC/100g MS)	TC (mg EC/100g MS)
Cultivars			
<i>Abdeslam</i>	153,85±2,90 ^{bc}	20,77±0,22 ^b	14,74±0,21 ^a
<i>Adâam Bullah</i>	160,38±2,64 ^{bc}	29,33±0,82 ^c	22,23±0,47 ^{bcd}
<i>Adâam Robb</i>	172,40±0,73 ^c	52,63±1,91 ^h	40,65±4,10 ^g
<i>Adekli</i>	157,84±2,43 ^{bc}	24,04±0,88 ^b	19,58±0,96 ^b
<i>Agaz</i>	320,97±4,97 ^{hi}	37,96±2,53 ^{de}	55,71±0,16 ⁱ
<i>Aghamou</i>	421,15±1,53 ^l	59,53±3,76 ⁱ	76,42±1,45 ^l
<i>Aghares</i>	303,27±1,10 ^{gh}	58,75±0,51 ⁱ	62,26±1,37 ^j
<i>Ahartane</i>	97,75±12,10 ^a	14,46±0,13 ^a	21,90±2,05 ^{bcd}
<i>Bamakhlouf</i>	345,08±2,43 ^j	40,00±0,59 ^{ef}	58,24±1,55 ^{ij}
<i>Cheikh</i>	246,13±6,84 ^d	51,94±0,07 ^h	29,99±0,01 ^{ef}
<i>M'Hamed</i>			
<i>Deglet Talmine</i>	327,99±4,98 ^{ij}	32,15±0,68 ^c	59,44±0,23 ^{ij}
<i>Hmira</i>	297,71±3,14 ^g	45,42±1,05 ^g	67,29±1,58 ^k
<i>Mes'udia</i>	247,48±5,34 ^{de}	30,85±0,91 ^c	25,02±0,90 ^{cd}
<i>Ouarglia</i>	331,72±2,74 ^{ij}	42,91±0,22 ^{fg}	30,63±0,99 ^{ef}
<i>Taqerbucht</i>	372,48±5,95 ^k	32,07±0,46 ^c	46,77±0,81 ^h
<i>Safra</i>			
<i>Tazarzeyt</i>	287,87±9,01 ^g	53,60±2,34 ^h	40,98±1,90 ^g
<i>Tgazza</i>	268,23±12,07 ^f	33,91±3,49 ^{cd}	49,65±0,35 ^h
<i>Timliha</i>	141,84±1,29 ^b	22,35±0,01 ^b	20,66±0,57 ^{bc}
<i>Tinnaqor</i>	161,03±12,02 ^c	31,64±1,55 ^c	26,39±1,77 ^{de}
<i>Tinnaser</i>	265,56±2,75 ^{ef}	51,36±0,92 ^h	31,77±1,59 ^f

Chaque résultat est exprimé en moyenne ± écart type (n = 3).

Les résultats dans la même colonne suivis de lettres différentes sont significativement différents (p < 0,05), tels qu'établis par le test de Tukey.

PT : Polyphénols Totaux ; **FT** : Flavonoïdes Totaux ; **TC** : Tanins Condensés.

Tableau 05 : Teneurs en flavonoïdes totaux des fractions acétate d'éthyle, n-butanol et aqueuses des douze extraits des cultivars de dattes, flavonoïdiques.

Extraction solide-liquide : MeoH- Eau (80%)			
Extractions liquide-liquide	Fraction acétate d'éthyle (mg EC/100 g MS)	Fraction n-butanol (mg EC/100 g MS)	Fraction aqueuse (mg EC/100 g MS)
Cultivars			
<i>Adâam Bullah</i>	3,38±0,09 ^c	7,31±0,23 ^a	13,80±0,14 ^d
<i>Agaz</i>	2,02±0,11 ^b	17,75±0,06 ^c	11,00±0,56 ^b
<i>Aghamou</i>	7,10±0,01 ^g	35,34±0,31 ^k	16,27±0,06 ^{hi}
<i>Aghares</i>	8,82±0,35 ^h	24,62±0,03 ⁱ	14,87±0,25 ^{def}
<i>Ahartane</i>	0,57±0,01 ^a	12,02±0,18 ^b	12,30±0,18 ^c
<i>Deglet Talmine</i>	2,33±0,05 ^b	23,48±0,28 ^h	13,97±0,09 ^{de}
<i>Hmira</i>	2,40±0,01 ^b	11,92±0,09 ^b	16,59±0,05 ^{hi}
<i>Taqerbucht Safra</i>	2,14±0,24 ^b	22,16±0,10 ^g	16,02±0,64 ^{gh}
<i>Tazarzeyt</i>	6,45±0,09 ^f	27,63±0,56 ^j	17,31±0,51 ⁱ
<i>Tgazza</i>	4,33±0,26 ^d	15,28±0,07 ^d	14,94±0,03 ^{efg}
<i>Tinnaqor</i>	5,73±0,40 ^e	13,90±0,12 ^c	8,57±0,08 ^a
<i>Tinnaser</i>	3,84±0,02 ^{cd}	19,51±0,15 ^f	15,72±0,78 ^{fgh}

Chaque résultat est exprimé en moyenne ± écart type (n = 3).

Les résultats dans la même colonne suivis de lettres différentes sont significativement différents (p < 0,05), tels qu'établis par le test de Tukey.

Tableau 06 : Teneurs en tanins condensés des fractions acétate d'éthyle et aqueuses des douze extraits des cultivars de dattes, tanniques.

Extraction solide-liquide : Acétone- Eau (80%)		
Extractions liquide-liquide	Fraction acétate d'éthyle (mg EC/100g MS)	Fraction aqueuse (mg EC/100g MS)
Cultivars		
<i>Adâam Bullah</i>	7,23±0,39 ^b	42,75±0,63 ^d
<i>Agaz</i>	8,13±0,10 ^d	35,10±1,58 ^c
<i>Aghamou</i>	16,43±0,10 ⁱ	63,56±0,18 ^g
<i>Aghares</i>	14,55±0,73 ^h	69,99±0,04 ^h
<i>Ahartane</i>	4,62±0,02 ^a	17,30±0,08 ^a
<i>Deglet Talmine</i>	10,68±0,12 ^g	78,38±1,23 ⁱ
<i>Hmira</i>	9,17±0,31 ^{ef}	45,17±0,65 ^e
<i>Taqerbucht Safra</i>	8,03±0,05 ^{cd}	19,58±0,05 ^b
<i>Tazarzeyt</i>	8,50±0,08 ^{de}	42,88±1,15 ^d
<i>Tgazza</i>	9,36±0,02 ^f	58,80±0,32 ^f
<i>Tinnaqor</i>	7,33±0,12 ^{bc}	19,31±0,14 ^{ab}
<i>Tinnaser</i>	7,04±0,15 ^b	35,51±0,41 ^c

Chaque résultat est exprimé en moyenne ± écart type (n = 3).

Les résultats dans la même colonne suivis de lettres différentes sont significativement différents (p < 0,05), tels qu'établis par le test de Tukey.

Tableau 07 : Capacité antioxydante des douze extraits des cultivars de dattes de mixture ternaire par les tests DPPH, ABTS et FRAP.

Tests	EC50 ^{DPPH} (mg/mL)	ABTS (μ mol ET/100 g MS)	FRAP (μ mol ET/100 g MS)
Cultivars			
<i>Adâam Bullah</i>	0,181±0,01 ^f	913,46±26,45 ^a	863,50±69,96 ^a
<i>Agaz</i>	0,029±0,00 ^a	1788,86±46,19 ^d	1409,12±112,18 ^{cd}
<i>Aghamou</i>	0,056±0,00 ^{ab}	1815,16±52,72 ^d	1980,46±97,00 ^g
<i>Aghares</i>	0,079±0,01 ^{bcd}	1785,97±11,57 ^d	1727,80±47,65 ^{ef}
<i>Ahartane</i>	0,172±0,02 ^f	1583,11±18,70 ^c	1434,93±18,22 ^{cd}
<i>Deglet Talmine</i>	0,127±0,04 ^e	1567,46±26,29 ^c	1614,64±58,95 ^{de}
<i>Hmira</i>	0,058±0,01 ^{abc}	1792,33±47,53 ^d	1921,12±151,14 ^{fg}
<i>Taqerbucht Safra</i>	0,098±0,00 ^{de}	1584,03±4,34 ^c	1210,85 ±105,40 ^{bc}
<i>Tazarzeyt</i>	0,032±0,00 ^a	1264,62±8,81 ^b	1559,70±53,19 ^{de}
<i>Tgazza</i>	0,096±0,01 ^{cde}	1668,98±61,16 ^c	1611,45±95,71 ^{de}
<i>Tinnaqor</i>	0,175±0,01 ^f	865,19±14,01 ^a	981,83±27,61 ^{ab}
<i>Tinnaser</i>	0,026±0,01 ^a	1231,85±59,53 ^b	1531,94±81,10 ^{de}
<i>Antioxydants de référence</i>			
<i>Acide gallique</i>	0,021±0,00	/	/
<i>Acide ascorbique</i>	0,034±0,00	/	/

Chaque résultat est exprimé en moyenne \pm écart type (n = 3).

Les résultats dans la même colonne suivis de lettres différentes sont significativement différents (p < 0,05), tels qu'établis par le test de Tukey.

Les résultats du test DPPH exprimés en EC₅₀



Publications



RESEARCH ARTICLES



Dates (*Phoenix dactylifera* L.) from the Adrar region of Algeria are rich in polyphenols, and ternary solvent extracts' antioxidant activity correlates with condensed tannins content

Malika Bahiani^{1,2} · Souad Babahani¹ · Abdelhafid Nani³ · Ishak Boukhetache³Received: 1 December 2022 / Revised: 23 March 2023 / Accepted: 28 March 2023
© The Author(s) under exclusive licence to Society for Plant Research 2023

Abstract

Dates are the leading fruit consumed by native population of the Algerian Sahara. This study aimed to assess the phytochemical contents and antioxidant activities of twelve date palm cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) flesh grown in the Algerian Sahara. Crude extracts were obtained by macerating samples in methanol/acetone/water (MAW, 7/7/6, V/V/V) at room temperature. Phenolics, flavonoids, and condensed tannins were determined in crude extracts, and the antioxidant capacity of last was evaluated by DPPH[•], ABTS^{•+}, and FRAP assays. Our results shown that total phenolics ranged between 97.75 and 421.15 mg GAE/100 g DW, total flavonoids between 14.46 and 59.53 mg CE/100 g DW, and condensed tannins (polymeric proanthocyanidins) between 21.90 and 76.42 mg CE/100 g DW. Fractionation of the aqueous phase from binary solvent mixtures (80% methanol) showed that n-butanol phase recorded highest flavonoids content (up to 35.34 mg CE/100 g DW) while the residual aqueous phase of 80% acetone recorded highest content of condensed tannins (up to 78.38 mg CE/100 g DW). DPPH assay revealed IC₅₀ values ranged between 0.026 and 0.181 mg/mL of tested extracts. Moreover, the antioxidant activity of these extracts ranged between 865.19 and 1815.16 μmol TE/100 g DW and between 863.50 and 1980.46 μmol TE/100 g DW when assessed by ABTS and FRAP assays, respectively. High antioxidant capacity of MAW extracts is correlated mainly with condensed tannins content. We conclude that studied dates are good sources of phenolic compounds, and ternary solvent mixture extracts exert noticeable antioxidant activities.

Keywords *Phoenix dactylifera* L. · Ripe dates · Phenolic compounds · Antioxidant activity

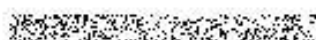
Abbreviations

μmol TE	Micromoles trolox equivalent	FRAP	Ferric reducing antioxidant power
ABTS	2,2'-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid	FW	Fresh weight
CE	Catechin equivalent	GAE	Gallic acid equivalent
CTC	Condensed tannins content	MAW	Methanol-acetone-water
DPPH	1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl	QE	Quercetin equivalent
DW	Dry weight	TFC	Total flavonoids content
		TPC	Total phenolics content
		TPTZ	2,4,6-tris (2-pyridyl)-s-triazine

 Abdelhafid Nani
nani.abdelhafid@univ-adrar.edu.dz¹ Laboratory of Saharan Bio-Resources, Kasdi Merbah University, Ouargla 511, 30000, Algeria² Research Unit in Renewable Energy in Saharan Medium, Adrar/EPST/CDER, Adrar, Algeria³ Laboratory of Saharan Natural Resources, African University Ahmed Draia, Adrar 01000, Algeria

Introduction

Date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.) is an essential worldwide component of people's diets due to its richness in carbohydrates (mostly glucose and fructose), vitamins (B₁, B₂, B₃, C, and A), dietary fiber, and minerals, as well as potassium, magnesium, selenium, and copper (Al-Farsi and Lee 2008). Indeed, date palm fruit plays important



economic, social, and environmental roles for people in West Asia, Arab countries, and North Africa due to its adaptation to arid and semi-arid conditions. In addition to the diversity of its products and by-products, date palm fruit is used in alternative medicine for several purposes, including wound healing and the treatment of edema, gastric and intestinal disorders, fever, and bronchitis (Al-Yahyai and Khan 2015; Taleb et al. 2016; Wahab et al. 2017). According to Food and Agriculture Organization (FAO) statistics, major date-producing countries in 2018 were Egypt, Saudi Arabia, Iran, Algeria, Iraq, Pakistan, Sudan, Oman, the United Arab Emirates, and Tunisia (AlFaris et al. 2021).

Besides the nutritional value of foods, an increasing body of evidence supports that antioxidant, nutrients and phytochemicals potentiate their health benefits. Ismail et al. (2004) argue that the health benefits of fruits and vegetables are mainly due to their antioxidant components. Many studies have shown that nutraceutical antioxidants alleviate oxidative DNA damage, preventing and managing chronic and degenerative diseases, including cancer, cardiovascular disease, Parkinson and Alzheimer (Kim et al. 2015; Kotepui 2016). The most known and studied dietary antioxidants are vitamins C and E, lycopene, β -carotene, and other phytochemical compounds such as polyphenols. With more than 8000 structures, these are the most abundant dietary antioxidants with a wide spectrum of biological activities (Luca et al. 2020). Dietary polyphenols can be classified into flavonoids and non-flavonoids (Hussain et al. 2020). With more than 6000 structures, flavonoids are the most abundant phenolic compounds (Erlund 2004). In human diet, flavonoids intake can range between 50 and 800 mg/day (Larson 1988). Some flavonoids, such as the flavan-3-ols, catechin and epicatechin, polymerize to form tannins (Rauf et al. 2019). These tannins can be synthesized in response to predation risk and play a significant role in plant growth regulation. Based on their chemical structure, tannins can be classified into two main conventional groups: hydrolyzable and condensed tannins (Das et al. 2020; Sharma et al. 2021).

During the last two decades, number of studies has demonstrated that date fruits are a rich source of phenolics and exhibit antioxidant, antibacterial and anti-fungal, anti-tumor, anti-diabetic, anti-inflammatory, and anti-angiogenic properties (Mansouri et al. 2005; Najat and Kahkashan 2012; Samad et al. 2016; Taleb et al. 2016; Hussain et al. 2020).

There are more than 2000 date palm cultivars worldwide, but only a limited number are appreciated for their fruit quality, reflected by a quantitatively significant demand for these date fruits (AlFaris et al. 2021; Ibrahim et al. 2021). For example, *Deglet Noor* from Algeria, *Medjool* from Morocco, and *Zaghloul* from Egypt are the most commercialized cultivars from North Africa (Al-Khayri et al. 2015).

Algeria is a phoenicultural country with approximately 18 million date palms cultivated on an area of 169.380 ha, with a significant genetic diversity exceeding 940 cultivars (Hannachi et al. 1998; Bouguedoura et al. 2015). As far as the southwest of the Algerian Sahara is concerned, Adrar is mainly a phoenicultural region. Indeed, the date palm (*P. dactylifera*) represents a dominant component of the oases, a hallmark feature of the Saharan ecosystem, with sustainable biophysical and socio-economic structures (Barreveld 1993). The oases are distinguished by their traditional irrigation system, the *foggara*, and the significant diversity of date palm cultivars. To our knowledge, no previous study has assessed the phytochemical properties of Adrar region palm date fruits which still need to be better commercialized landraces at the national level compared to *Deglet Noor*. Hence, this study sought to valorize and investigate the phytochemical content and antioxidant potential of twelve ripe dates flesh cultivated in this region. Total phenolic content, flavonoids, and condensed tannins were assessed in crude ternary solvent mixture (methanol/acetone/water) extracts and fractions from binary solvent mixtures (methanol/water and acetone/water). Antioxidant activity in ternary solvent crude extracts from the selected date fruits was also assessed.

Materials and methods

Chemicals

Folin-Ciocalteu reagent, aluminum chloride, vanillin, gallic acid, catechin, 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS), 2,4,6-tris (2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) and trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) were purchased from Sigma-Aldrich. Acetone, methanol, ethyl acetate, and n-butanol were purchased from Biochem. All chemicals and reagents used are of analytical grade.

Plant materials sampling and preparation

Twelve date cultivars (Fig. 1) with different consistency: (a) soft dates: *Ahartane* and *Adâam Bullah*, (b) semi-soft dates: *Hmira*, *Taqerbuht Safta*, *Tgazza*, *Agaz*, and *Tazarzayt*, and (c) dry dates: *Tinnaser*, *Aghamou*, *Deglet Talmine*, *Aghares*, and *Tinnaqor* were collected at tamar stage (fully ripe) from several oases in Adrar region, southwest of Algerian Sahara. Farmers identified each cultivar. A unique identification code has been attributed to each cultivar in a herbarium collection prepared by Saharan Bioresources and Bioenergies Team, Research Unit in Renewable Energy in Saharan Medium, Adrar (Table 1). Date fruits of the best quality and

Vegetos



Fig. 1 Ripe fruits of the studied date palms

Table 1 Voucher specimens of the studied date palms

Date cultivar	Voucher specimen	Date cultivar	Voucher specimen
<i>Adiam Buliah</i>	DAB2010	<i>Hmira</i>	DRA2209
<i>Agaz</i>	DAZ1507	<i>Tagerbucht</i>	DTS0512
		<i>Safra</i>	
<i>Aghanou</i>	DOU0410	<i>Tassarsept</i>	DYT3009
<i>Aghares</i>	DES2111	<i>Tgassa</i>	DZA1909
<i>Aghartane</i>	DNE2811	<i>Tinnagar</i>	DOR0610
<i>Deglet Taimine</i>	DDT2510	<i>Tinnaser</i>	DER0410

free from pest and fungal damage were selected, washed, and air-dried. Edible portions were cut into small pieces and kept in boxes at 4 °C until analyzed.

Extractions

Preparation of crude extracts

Polyphenols were extracted in a ternary solvent mixture (MAW,7:7:6, v/v/v), 1:20 solid-liquid ratio, according to the method described by Liyana-Pathirana and Shahidi (2006) with slight modifications. Briefly, two grams of flesh date sample were extracted twice in 40 mL of MAW at room temperature with constant stirring for 2 h. The extract was then filtered through a Whatman 1 filter paper. The collected extract was evaporated using a rotary evaporator at 40 °C and then resolubilized in methanol for further colorimetric assessment of polyphenols and antioxidant capacity.

Solid-liquid and liquid-liquid extractions of flavonoids

Two grams of flesh date sample were extracted twice with 40 mL of 80% methanol at room temperature under constant stirring for 2 h. The mixture was filtrated, then the supernatant was collected and evaporated under a vacuum to remove methanol. The remaining aqueous phase was

washed with petroleum ether to remove lipid-soluble substances, and then it was fractionated twice with *n*-butanol and ethyl acetate solvents. The remaining aqueous phase was designed as the third fraction. Each fraction was evaporated to dryness under reduced pressure, and the residue was resolubilized in methanol and then stored at 4° C for further flavonoids assessment.

Solid-liquid and liquid-liquid extractions of tannins

Two grams of flesh date sample were extracted twice with 40 mL of 80% acetone at room temperature under constant stirring for 2 h. The mixture was filtrated then the supernatant was evaporated under a vacuum to remove acetone. The remaining aqueous phase was washed with petroleum ether, and then fractionated twice with ethyl acetate. The remaining aqueous phase was designed as the second fraction. Each fraction was evaporated to dryness under reduced pressure, and the residue was resolubilized in methanol and then stored at 4° C for further condensed tannins assessment.

Total phenolics content (TPC)

Total phenolics content was determined by the Folin-Ciocalteu method as described by Slinkard and Singleton (1977). 2.5 mL of Folin-Ciocalteu reagent (diluted at 1/10) were added into tubes containing 500 µL of extract. After that, 2 mL of Na₂CO₃ at 7.5%, were added. The mixture was incubated for 90 min at room temperature. The absorbance was determined at 765 nm using a spectrophotometer UV-Vis (Agilent Technologies, Cary 60). Total phenolics content was estimated by reference to the linear regression equation of the gallic acid standard curve. Results were expressed as milligrams of gallic acid equivalent per 100 g dry weight (mg GAE/100 g DW).

Total flavonoids content (TFC)

Total flavonoids content was determined by the aluminum chloride method as described by Ardestani and Yazdanparast (2007). To 500 µL of each extract, we added 2 mL of distilled water and 150 µL of NaNO₂ at 15%. After 6 min, 150 µL of AlCl₃ 6 H₂O at 10% was added. The mixture was left for 6 min, and then 2 mL from solution of NaOH at 4% was added. The final volume was adjusted to 5 mL with distilled water. The mixture was shaken vigorously and incubated for 15 min at room temperature; then, the absorbance was measured at 510 nm. Total flavonoids content was estimated by reference to the linear regression equation of the catechin standard curve. Results were expressed as milligrams of catechin equivalent per 100 g dry weight (mg CE/100 g DW).

Condensed tannins content (CTC)

Condensed tannins content was determined using the method of vanillin, according to Julkunen-Tiitto (1985). To 500 μL of each extract, 3 mL of 4% vanillin (in methanol) and 1.5 mL of concentrated hydrochloric acid were added. After 15 min of incubation, the absorbance was measured at 500 nm. Condensed tannins content was estimated by reference to the linear regression equation of the catechin standard curve. Results were expressed as milligrams of catechin equivalent per 100 g dry weight (mg CE/100 g DW).

Antioxidant activity

DPPH[•] radical scavenging method

DPPH[•] scavenging capacities of crude extracts were measured as follows. For each extract, 100 μL of increasing concentrations (ranging from 0.0125 to 0.5 mg/mL) were taken into different test tubes. After adding 50 μL DPPH[•] (2.5 mM in methanol), a volume of 2000 μL methanol was added to these tubes and shaken vigorously. The control was prepared as aforementioned without extracts, and methanol was used for the baseline correction. Ascorbic and gallic acids were used as the reference antioxidant radical scavenger compounds. All tubes were allowed to stand for 30 min at 37 °C, and then, the absorbance of each sample was measured at 517 nm. Based on the observed decrease in absorbance, radical scavenging activity was expressed as percent quenching of DPPH[•] radical, and % inhibition was calculated using the following formula:

$$\% \text{ Inhibition} = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100$$

Where,

A_0 : is the absorbance value of the DPPH[•] and A_1 is the absorbance value of the test solution.

IC₅₀ represents the concentration of sample required to scavenge 50% of DPPH[•]. The kinetics of the antioxidant reaction was determined over 30 min and compared with gallic acid and ascorbic acid as antioxidant references.

ABTS^{•+} radical scavenging method

The ABTS test was determined according to the method of Re et al. (1999). ABTS^{•+} radical cations were produced by reacting an aqueous solution of ABTS^{•+} (7 mM) with a potassium persulfate solution (2.45 mM). The mixture was kept in the dark at room temperature for 12–16 h before use. Then, it was diluted to obtain an absorbance of 0.700 ± 0.005 at 734 nm. Subsequently, 3.9 mL of the ABTS^{•+} radical

solution were added to 100 μL of each extract. After the mixture stood at room temperature for 6 min, the absorbance was recorded at 734 nm. A calibration curve was prepared with different concentrations of trolox, a water-soluble vitamin E analog. The results were expressed as micromoles trolox equivalent per 100 g dry weight ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g DW}$).

Ferric reducing antioxidant power method (FRAP)

The ferric reducing activity was determined according to Benzie and Strain (1999). The FRAP reagent was prepared by adding 25 mL of acetate buffer (300 mM, pH 3.6) into 2.5 mL of tripyridyltriazine (TPTZ) solution of 10 mM (in 40 mM HCl). To this mixture, 2.5 mL of ferric chloride ($\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$) of 20 mM was added. After that, 40 μL of each extract was added to 3 mL of FRAP reagent. After 30 min incubation at 37 °C, absorbances of test samples were measured at 593 nm. A calibration curve was prepared with different concentrations of trolox, and the results were expressed as micromoles trolox equivalent per 100 g dry weight ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g DW}$).

Statistical analysis

All experiments were carried out in triplicate and repeated at least twice, and results were expressed as means \pm SD (standard error deviation). Data were analyzed statistically using One-way ANOVA and Tukey post-hoc multiple comparison tests to compare significant differences between cultivars. Pairwise correlations between total phenolic contents and antioxidant activities were calculated by Pearson's correlation coefficient test using Statistica software (5.5 version, StatSoft, Paris, France).

Results and discussion

Total phenolics content (TPC)

As shown in Table 2, the highest amount of total phenolics content (TPC) in MAW extracts is 421.15 mg GAE/100 g DW (for *Aghamou* cultivar), and the lowest is 97.75 mg GAE/100 g DW (for *Ahartane* cultivar). Consistent with prior findings, we noticed that semi-soft and dry consistency dates have higher total phenolic content than soft dates except for the *Tinnaqor* cultivar (Biglari et al. 2008; Souli et al. 2018).

Compared to other Algerian cultivars, Benmeddour et al. (2013) revealed TPC ranging from 225.57 to 954.59 mg GAE/100 g DW in aqueous acetone extracts of *Deglet Noor* and *Ghazi* cultivars, respectively. On the

Vegetos

Table 2 Total phenolics, total flavonoids, and condensed tannins contents of date flesh cultivars in MAW extracts

Consistency	Cultivar name	Total phenolics (mg GAE/100 g DW)	Total Flavonoids (mg CE/100 g DW)	Condensed tannins (mg CE/100 g DW)
Soft dates	<i>Ahartane</i>	97.75 ± 12.10 ^a	14.46 ± 0.13 ^a	21.90 ± 2.05 ^a
	<i>Adâam Bullah</i>	160.38 ± 2.64 ^b	29.33 ± 0.82 ^b	22.23 ± 0.47 ^b
Semi-soft dates	<i>Hmira</i>	297.71 ± 3.14 ^a	45.42 ± 1.05 ^d	67.29 ± 1.58 ^b
	<i>Tagerbucht Safra</i>	372.48 ± 5.95 ^b	32.07 ± 0.46 ^f	46.77 ± 0.81 ^a
	<i>Tgazza</i>	268.23 ± 12.07 ^{cd}	33.91 ± 3.49 ^{bc}	49.65 ± 0.35 ^a
	<i>Agaz</i>	320.97 ± 4.97 ^{bc}	37.96 ± 2.53 ^c	55.71 ± 0.16 ^f
	<i>Tazarayt</i>	287.87 ± 9.01 ^{cd}	53.60 ± 2.34 ^{ef}	40.98 ± 1.90 ^d
Dry dates	<i>Tinvaser</i>	265.56 ± 2.75 ^c	51.36 ± 0.92 ^e	31.77 ± 1.59 ^c
	<i>Aghamou</i>	421.15 ± 1.53 ⁱ	59.53 ± 3.76 ^g	76.42 ± 1.45 ^j
	<i>Deglet Taimine</i>	327.99 ± 4.98 ^b	32.15 ± 0.68 ^f	59.44 ± 0.23 ^{fg}
	<i>Aghares</i>	303.27 ± 1.10 ^{cd}	58.75 ± 0.51 ^{fg}	62.26 ± 1.37 ^g
	<i>Tinagor</i>	161.03 ± 12.02 ^b	31.64 ± 1.55 ^b	26.39 ± 1.77 ^b

Each value represents the mean ± standard deviation (n=3). Rates in the same column followed by different letters are significantly different (p < 0.05).

other hand, in aqueous methanolic extracts, Mansouri et al. (2005) and Zineb et al. (2012) reported lower TPC ranging from 41.80 to 84.73 (for *Tamjhourt* and *Degla Baidha* cultivars respectively) and from 2.49 to 8.36 mg GAE/100 g fresh weight (FW) (for *Tazizaout* and *Tant-bouchte* cultivars, respectively).

In comparison to other cultivars from different countries, in aqueous extracts, Besbes et al. (2009) reported TPC ranging from 280.6 to 681.8 mg GAE/100 g (for *Kentichi* and *Deglet Noor* cultivars, respectively), whereas Matloob and Balakita (2016) found TPC ranging from 147.6 to 475.5 mg GAE/100 g (for *Barban* and *Khstawi* cultivars, respectively) in Iraqi dates. Furthermore, in aqueous methanolic extracts of Moroccan dates, Bouhlali et al. (2017b) found TPC ranging from 331.86 to 537.07 mg GAE/100 g DW (for *Bouskri* and *Bousrdon* cultivars, respectively), whereas Alahyane et al. (2019) reported TPC ranging from 101.06 to 478.37 mg GAE/100 g DW (for *Elahmer Chetoui* and *Khalt Khel* cultivars, respectively). Also, Lemine et al. (2014) reported higher contents ranging from 405.5 to 661.1 mg GAE/100 g DW for *Tenterguel* and *Tijib* cultivars, respectively, in aqueous methanolic extracts of Mauritanian dates. However, low amounts of TPC were found in Sudanese and Iranian cultivars, ranging from 2.89 to 199.34 mg GAE/100 g DW in aqueous methanolic extracts (Biglari et al. 2008; Mohamed et al. 2014).

It is known that the TPC depends mainly on the varietal factor, as it has been demonstrated in date palm fruit and other fruits such as pear, strawberry, and plum (Galvis Sánchez et al. 2003; Kim et al. 2003; Williner et al. 2003). The stage of fruit maturation also influences TPC in date palms (Amira et al. 2012; Lemine et al. 2014). In addition, it has been reported that the content of phenolics depends on other factors, such as geographical position involving the climatic and agro-pedological conditions (Wang et al. 2002). Since solvent extraction remains the most common method, numerous investigations demonstrated

that the best solvent combinations to recover the crude extracts' high phenolic contents and antioxidant activity were ternary and quaternary mixtures (Lonni et al. 2012; Teh et al. 2014; Alcântara et al. 2019).

Total flavonoids content (TFC)

Flavonoids are frequently found in the form of glycosides in their natural state. Depending on the degree of oxidation of the C ring, the hydroxylation of the flavone unit and the type of the C3 carbon substituent, one or more of their hydroxylated functions are then glycosylated (Bentrad and Hamida-Ferhat 2020). According to Hong et al. (2006), date fruits contain over 13 distinct flavonoid glycosides (such as luteolin, apigenin, and quercetin) and 19 isomeric forms.

The total flavonoids content of MAW extracts is set out in Table 2. The highest TFC is 59.53 mg CE/100 g DW (for *Aghamou* cultivar), and the lowest value is 14.46 mg CE/100 g DW (for *Ahartane* cultivar). The present results agree with those found in the study of Verde et al. (2019), who reported TFC ranging from 18.47 to 49.33 mg CE/100 g FW. However, the studies of Benmeddour et al. (2013) and Alahyane et al. (2019) indicated higher TFC ranging from 15.22 to 299.74 mg quercetin equivalent (QE)/100 g DW and from 1.79 to 216.1 mg QE/100 g DW, respectively.

Marston and Hostettmann (2006) state that polar aglycones and flavonoid glycosides can be extracted with absolute alcohols or water-alcohol mixtures. In contrast, less polar flavonoids (isoflavones, flavanones, methylated flavones, and flavonols) are usually extracted in chloroform, dichloromethane, diethyl ether, or ethyl acetate solvents.

Hence, we thought it is worthwhile to use 80% methanol for better flavonoids extraction. Then, we performed a series of liquid-liquid fractionations of extracts with ethyl acetate and n-butanol solvents.

As shown in Table 3, the butanolic phases recorded the highest rates of flavonoids ranging from 7.31 to 35.34 CE/100 g DW except for *Hmira* and *Adâam Bullah* cultivars

Table 3 Total flavonoids and condensed tannins contents in various fractions of binary solvent mixtures

Consistency	Cultivar name	Total Flavonoids (Methanol 80%)			Condensed Tannins (Acetone 80%)	
		EAF (mg CE/100 g DW)	BF (mg CE/100 g DW)	AF (mg CE/100 g DW)	EAF (mg CE/100 g DW)	AF (mg CE/100 g DW)
Soft dates	<i>Ahartane</i>	0.57 ± 0.01 ^a	12.02 ± 0.18 ^b	12.30 ± 0.18 ^c	4.62 ± 0.02 ^a	17.30 ± 0.08 ^a
	<i>Adâam Bullah</i>	3.38 ± 0.09 ^c	7.31 ± 0.23 ^a	13.80 ± 0.14 ^d	7.23 ± 0.39 ^b	42.75 ± 0.63 ^d
Semi-soft dates	<i>Hmîra</i>	2.40 ± 0.01 ^b	11.92 ± 0.09 ^b	16.59 ± 0.05 ^{hi}	9.17 ± 0.31 ^{ef}	45.17 ± 0.65 ^c
	<i>Taqerbuht Safta</i>	2.14 ± 0.24 ^b	22.16 ± 0.10 ^e	16.02 ± 0.64 ^{hb}	8.03 ± 0.05 ^{cd}	19.58 ± 0.05 ^b
	<i>Tgassa</i>	4.33 ± 0.26 ^d	15.28 ± 0.07 ^d	14.94 ± 0.03 ^{hb}	9.36 ± 0.02 ^f	58.80 ± 0.32 ^f
	<i>Agaz</i>	2.02 ± 0.11 ^b	17.75 ± 0.06 ^e	11.00 ± 0.56 ^b	8.13 ± 0.10 ^d	35.10 ± 1.58 ^c
Dry dates	<i>Tazarzyt</i>	6.45 ± 0.09 ^f	27.63 ± 0.56 ^f	17.31 ± 0.51 ⁱ	8.50 ± 0.08 ^{de}	42.88 ± 1.15 ^d
	<i>Tirnasar</i>	3.84 ± 0.02 ^{cd}	19.51 ± 0.15 ^f	15.72 ± 0.78 ^{hb}	7.04 ± 0.15 ^b	35.51 ± 0.41 ^c
	<i>Aghamou</i>	7.10 ± 0.01 ^e	35.34 ± 0.31 ^k	16.27 ± 0.06 ^{hi}	16.43 ± 0.10 ^g	63.56 ± 0.18 ^e
	<i>Deglet Taimine</i>	2.33 ± 0.05 ^b	23.48 ± 0.28 ^h	13.97 ± 0.09 ^{de}	10.68 ± 0.12 ^e	78.38 ± 1.23 ^f
	<i>Aghares</i>	8.82 ± 0.35 ^h	24.62 ± 0.03 ^h	14.87 ± 0.25 ^{de}	14.55 ± 0.73 ^h	69.99 ± 0.04 ^b
	<i>Tirnaqar</i>	5.73 ± 0.40 ^e	13.90 ± 0.12 ^c	8.57 ± 0.08 ^a	7.33 ± 0.12 ^{bc}	19.31 ± 0.14 ^{ab}

EAF: Ethyl acetate fraction; BF: n-Butanol fraction; AF: Aqueous fraction

E Each value represents the mean ± standard deviation (n = 3)

Rates in the same column followed by different letters are significantly different (p < 0.05)

whose highest flavonoids contents were found in the aqueous phases, 16.59 and 13.80 mg CE/100 g DW, respectively. However, ethyl acetate phases recorded the lowest flavonoids contents, ranging from 0.57 to 8.82 mg CE/100 g DW (for *Ahartane* and *Aghares* cultivars, respectively). This accords with previous findings that revealed highest flavonoid contents in n-butanol fraction of *Ficus benjamina* fruits (Imran et al. 2014). Similarly, Kriaa et al. (2012) demonstrated that the alcoholic phase of *Madjhouh* cultivar leaves of date palm recorded the highest flavonoids contents.

According to Marston and Hostettmann (2006), the concentration of flavonoids depends on the varietal factor and the ratio of flavonoids aglycones and glycosides. Moreover, the nature of the solvent and its polarity can significantly impact flavonoid extraction (Chebil et al. 2007).

Condensed tannins content (CTC)

Condensed tannins, also known as proanthocyanidins, are polymers of flavan-3-ols or flavan 3,4-diol that bind to proteins (Das et al. 2020). The condensed tannins content of MAW extracts is set out in Table 2. The highest value is 76.42 mg CE/100 g DW (for *Aghamou* cultivar); whereas, the lowest content is 21.9 mg CE/100 g DW (for *Ahartane* cultivar). Our results are comparable to those of Bouhali et al. (2017b), who reported CTC ranging from 57.56 to 92.14 mg CE/100 g DW. However, they contrast with those reported by Benmeddour et al. (2013) and Alahyane et al. (2019), who found higher CTC ranging from between 82.81 and 525.06 mg CE/100 g DW and from 5.29 to 152.15 mg CE/100 g DW, respectively.

Since acetone is commonly used to extract both soluble and insoluble tannins, we subsequently performed an

extraction with 80% acetone followed by liquid-liquid fractionation of the extract with ethyl acetate to obtain tannin-rich extracts.

The results of the two phases of tannins extracts are shown in Table 3. The aqueous phases recorded the highest CTC in the twelve cultivars ranging from 17.30 to 78.38 mg CE/100 g DW for *Ahartane* and *Deglet Taimine* cultivars, respectively. However, we found in the ethyl acetate phases CTC ranging from 4.62 to 16.43 mg CE/100 g DW for *Ahartane* and *Aghamou* cultivars, respectively. In line with our results, a study by Rhazi et al. (2019) revealed that the aqueous phase from *Acacia mollissima* records the highest CTC compared to the ethyl acetate phase. Several studies have demonstrated that tannins extraction is strongly influenced by particle size, choice of solvents, solids-to-solvent ratio, temperature, and tannins polymerization degree (Larwence and Abada 1991; Rhazi et al. 2019; Das et al. 2020).

Interestingly, selective extraction of phenolic compounds from date fruits reveals, for the first time, that the highest flavonoid content was found in the n-butanol fraction in methanol aqueous mixture. In contrast, the residual aqueous fraction of the acetone aqueous mixture contained the highest content of condensed tannins.

Antioxidant activity

It has been found that MAW mixture displayed a significant increase in phenolic compounds extraction and antioxidant activity (Teh et al. 2014). Accordingly, we assessed the antioxidant activity of MAW extracts. Three methods were used to assess antioxidant activity. Two are based on evaluating the free radical scavenging ability of the extracts using the

Vegetos

DPPH and ABTS tests. The third one, FRAP assay, measures the antioxidants' capacity to reduce Fe^{3+} to Fe^{2+} .

DPPH[•] radical scavenging activity

DPPH[•] free radical scavenging activity and kinetics of MAW extracts are illustrated in Fig. 2. As presented in Table 4, gallic and ascorbic acids have $\text{IC}_{50}^{\text{DPPH}}$ values of 0.021 and 0.034 mg/mL, respectively. The cultivars *Tinnasor* and *Agaz* followed by *Tazarzoyt* have higher antioxidant capacities with $\text{IC}_{50}^{\text{DPPH}}$ concentrations of 0.026, 0.029, and 0.032 mg/mL, respectively. However, *Adâam Bullah* and *Tinnaqor* cultivars record lower antioxidant activity with $\text{IC}_{50}^{\text{DPPH}}$ of 0.181 and 0.175 mg/mL, respectively. Souli et al. (2018) found $\text{IC}_{50}^{\text{DPPH}}$ between 0.16 and 0.31 mg/mL in Tunisian date extracts. Furthermore, Alam et al. (2021) showed $\text{IC}_{50}^{\text{DPPH}}$ between 0.07 and 0.81 mg/mL. However, the results of the present study contrast with those of Alahyane et al. (2019), who reported $\text{IC}_{50}^{\text{DPPH}}$ between 2.41 and 9.74 mg/mL in Moroccan date extracts.

DPPH[•] free radical scavenging kinetics

Twelve crude extracts showed different kinetics compared to gallic and ascorbic acids (Fig. 2: b, d, and f). Among soft consistency dates, *Adâam Bullah* cultivar exhibited a fast reactivity towards DPPH[•] free radical compared to *Ahartane* cultivar (Fig. 2. b). Regarding semi-soft dates, *Tgazza* cultivar seemed to be the most efficient when compared to *Hmira* and *Tazarzoyt* cultivars (intermediate reactivity) and *Agaz* and *Taqerbucht Safra* cultivars (reduced reactivity) (Fig. 2. d). As for dry dates, *Doglet Taimine* and *Tinnaqor* cultivars were of intermediate reactivity. Meanwhile, *Aghamou*, *Aghares*, and *Tinnasor* were of reduced reactivity (Fig. 2. f). Similarly to gallic acid, but to a less extent, we noticed that among twelve ternary extracts, *Tgazza* and *Adâam Bullah* cultivars showed fast reactivities towards DPPH[•] free radical.

These results shown that the extracts have different kinetics regardless of date consistency and may instead be related to different phytochemical composition and their functional groups. According to Molyneux (2004), many conditions, including antioxidant/DPPH[•]- ratio, type of solvents, pH, duration, and particularly the extract's phenolic profile, impact antioxidant potential and reduction kinetics.

ABTS^{•+} radical scavenging activity

The results of the free radical scavenging capacity measured by ABTS of MAW extracts are shown in Table 4. Antioxidant capacity ranged from 865.19 to 1815.16 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g DW}$ for *Tinnaqor* and *Aghamou* cultivars, respectively.

These results agree with those of Souli et al. (2018), who found values between 744.25 and 1813.80 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$. They also accord with Saafi et al. (2009) observations, which showed that the antioxidant capacity of Tunisian dates ranges between 866.82 and 1148.11 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$. However, the results obtained in the current study are higher than those of Bouhlali et al. (2017b), who reported antioxidant activities between 383.90 and 846.94 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g DW}$, and contrast firmly with the study conducted by Alam et al. (2021) who indicated antioxidant capacities between 1.5 and 4.3 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$.

Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

It is well established that the antioxidant activity of polyphenols relies, in part, on metals chelating properties. All MAW extracts showed a good reducing power ranging from 863.50 to 1980.46 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g DW}$ for *Adâam Bullah* and *Aghamou* cultivars, respectively (Table 4). Our results are close to those reported by Souli et al. (2018), who found reducing power between 624.16 and 1228.53 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g}$. Another study by Alam et al. (2021) indicates a higher activity, from 355 to 2421 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g FW}$. However, our results are higher than those determined by Al-Jasass et al. (2015) and Bouhlali et al. (2017b), who found reducing power values between 329 and 860.89 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g DW}$. We also noticed that a date cultivar with lower polyphenols content might not have lower antioxidant activity. Indeed, the *Ahartane* cultivar, which has the lowest TPC of 97.75 mg GAE/100 g DW exhibited higher antioxidant activity as assessed by ABTS and FRAP, 1583.11 and 1434.93 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g DW}$, respectively (Table 4). Ismail et al. (2004) corroborated this finding on vegetables and showed that cabbages, with low polyphenols content, display potent antioxidant activity.

Correlation analysis

Several studies have reported a significant correlation between polyphenolic content and antioxidant activity in dates and other plants (Mansouri et al. 2005; Biglari et al. 2008; Aryal et al. 2019).

The results of the correlation analysis performed in present study are presented in Table 5. We noted a moderate positive correlation between total phenolics content (TPC) and total flavonoids content (TFC) ($p < 0.05$; $r = 0.643$), and the highest linear positive correlation was revealed between TPC and condensed tannins content (CTC) ($p < 0.01$; $r = 0.851$).

The $\text{IC}_{50}^{\text{DPPH}}$ scavenging capacity assay showed a moderate negative correlation with TPC ($p < 0.05$; -0.689) and CTC ($r = -0.566$) and a high negative correlation with TFC

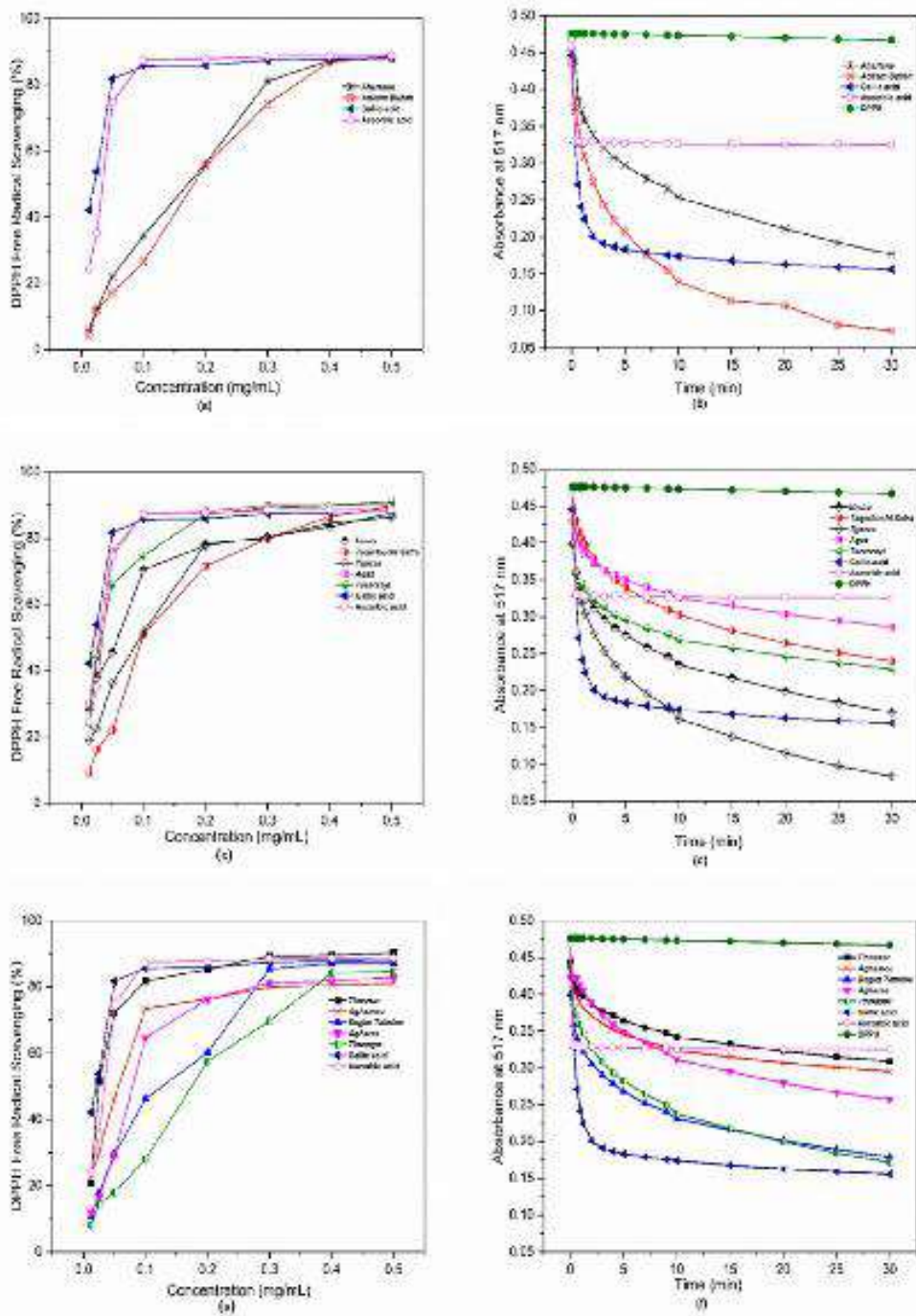


Fig. 2 DPPH free radical scavenging activity (a, c and e) and kinetics (b, d and f) of MAW extracts; (a and b: soft dates; c and d: semi-soft dates; e and f: dry dates)

Vegetos

Table 4 Antioxidant activities of date flesh cultivars as determined by IC50^{DPPH}, ABTS and FRAP assays in MAW extracts

Consistency	Cultivar name	IC50 ^{DPPH} (mg/mL)	ABTS (μ mol TE/100 g DW)	FRAP (μ mol TE/100 g DW)
Soft dates	<i>Ahaziane</i>	0.172 \pm 0.02 ^f	1583.11 \pm 18.70 ^a	1434.93 \pm 18.22 ^{cd}
	<i>Adkiam Bullah</i>	0.181 \pm 0.01 ^f	913.46 \pm 26.45 ^a	863.50 \pm 69.96 ^a
Semi-soft dates	<i>Hmira</i>	0.058 \pm 0.01 ^{abc}	1792.33 \pm 47.53 ^d	1921.12 \pm 151.14 ^{fb}
	<i>Taqerbut Saifra</i>	0.098 \pm 0.00 ^{de}	1584.03 \pm 4.34 ^a	1210.85 \pm 105.40 ^{bc}
	<i>Tgassa</i>	0.096 \pm 0.01 ^{cd}	1668.98 \pm 61.16 ^a	1611.45 \pm 95.71 ^{de}
	<i>Agaz</i>	0.029 \pm 0.00 ^a	1788.86 \pm 46.19 ^d	1409.12 \pm 112.18 ^{cd}
	<i>Tasarzeyt</i>	0.032 \pm 0.00 ^a	1264.62 \pm 8.81 ^b	1559.70 \pm 53.19 ^{de}
Dry dates	<i>Tinnaser</i>	0.026 \pm 0.01 ^a	1231.85 \pm 59.53 ^b	1531.94 \pm 81.10 ^{de}
	<i>Aghamou</i>	0.056 \pm 0.00 ^{ab}	1815.16 \pm 52.72 ^d	1980.46 \pm 97.00 ^a
	<i>Doglet Taimine</i>	0.127 \pm 0.04 ^a	1567.46 \pm 26.29 ^c	1614.64 \pm 58.95 ^{de}
	<i>Aghares</i>	0.079 \pm 0.01 ^{bcd}	1785.97 \pm 11.57 ^d	1727.80 \pm 47.65 ^{cd}
	<i>Tinnagor</i>	0.175 \pm 0.01 ^f	865.19 \pm 14.01 ^a	981.83 \pm 27.61 ^{de}
References	<i>Gallic acid</i>	0.021 \pm 0.00	-	-
	<i>Ascorbic acid</i>	0.034 \pm 0.00	-	-

Each value represents the mean \pm standard deviation (n=3). Rates in the same column followed by different letters are significantly different ($p < 0.05$)

Table 5 Pearson's correlations between antioxidant activities measured using different assays and total phenolics, flavonoids and condensed tannins contents of MAW extracts

	TPC	TFC	CTC	IC50 ^{DPPH}	ABTS	FRAP
TPC	1.000					
TFC	0.643*	1.000				
CTC	0.851**	0.601*	1.000			
IC50 ^{DPPH}	-0.689*	-0.753**	-0.566	1.000		
ABTS	0.602*	0.263	0.795**	-0.488	1.000	
FRAP	0.587*	0.602*	0.798**	-0.632*	0.782**	1.000

*Significant correlation at $p < 0.05$

**Significant correlation at $p < 0.01$

($p < 0.01$; $r = -0.753$). Similar negative correlations between IC50^{DPPH} scavenging capacity and phenolic content have already been observed in flesh and seed date extracts (Bouhlali et al. 2017a, b).

For the antioxidant capacity measurements by ABTS assay, we noted a moderate positive correlation between ABTS scavenging activity and TPC ($p < 0.05$; $r = 0.602$) and a strong positive correlation between ABTS scavenging activity and CTC ($p < 0.01$; $r = 0.795$). According to Hagerman et al. (1998), tannins have a more remarkable ability to quench ABTS⁺ free radical, which could explain the strong positive correlation between ABTS scavenging activity and CTC.

On the other hand, no correlation ($r = 0.263$) was found between ABTS scavenging activity and TFC suggesting that the flavonoids may not be the main components involved in crude extracts' antioxidant activity.

Furthermore, a moderate positive correlation between FRAP and TPC ($p < 0.05$; $r = 0.587$) and TFC ($p < 0.05$; $r = 0.602$) and a strong positive correlation between FRAP and CTC ($p < 0.01$; $r = 0.798$) were observed suggesting that condensed tannins may have considerable involvement in the antioxidant capacity by a metal chelating ability. In line

with our results, Xu and Chang (2007) obtained a positive correlation between CTC and FRAP.

Between assays, we found a moderate negative correlation ($p < 0.05$; $r = -0.632$) between IC50^{DPPH} and FRAP methods, as has been already revealed by Bouhlali et al. (2017a) in date seed extracts ($r = -0.599$). Moreover, we noticed a weak negative correlation ($r = -0.488$) between IC50^{DPPH} and ABTS scavenging activities. This could be attributed to the different mechanisms involved in radical-antioxidant reactions and the stereo-selectivity of radicals (Wang and Jiao 2000; Yu et al. 2002).

However, a strong linear positive correlation between FRAP and ABTS ($p < 0.01$; $r = 0.782$) was revealed, and the highest and positive correlations of ABTS-CTC and FRAP-CTC antioxidant activities of the present study led to speculate that condensed tannins may be the main contributor in antioxidant capacity of twelve extracts as indicated by Halliwell and Gutteridge (1990) and Singh et al. (2009). They demonstrated that catechin polymers could significantly contribute to antioxidant activity.

Taken together, our findings showed a positive correlation between ABTS/FRAP assays and phenolic content, whereas IC50^{DPPH} scavenging capacity and phenolic content showed

a negative correlation. These discrepancies could be linked to the mechanism underlying each of the used antioxidant assay and to the chemical structures of the antioxidants. Indeed, it has been argued that the antioxidant activity of polyphenols depends upon their bioavailability and bioefficacy (Vuolo et al. 2019). Moreover, the antioxidant capacity of phenolic compounds is influenced by several parameters, such as the spatial arrangement of their functional groups, the number and position of hydroxyl groups, and also by their degree of methylation, glycosylation, acetylation and polymerization (Wen et al. 2017; Samec et al. 2021). The antioxidant activity may also be influenced by polyphenols' possible synergistic or antagonistic effects, whether with each other or with other non-phenolic compounds in solvent mixtures (Lonni et al. 2012).

Conclusion

In addition to the recognized high nutritional and economic value of date fruits, our results demonstrate that date cultivars grown in the Adrar region are an excellent source of phytochemicals. Indeed, total phenolic compounds can reach 421.15 mg GAE/ 100 g DW. Polyphenols-rich extracts from date flesh exhibit a significant antioxidant activity that is correlated mainly to condensed tannins. Therefore, a daily date fruit intake can be recommended to promote health and prevent some oxidative stress-related diseases. Finally, recent unconventional extraction methods using advanced and green technologies can be used to investigate palm dates' chemical and phytochemical composition to facilitate their orientation toward food, pharmaceutical, or processing industries.

Acknowledgements We want to thank all the farmers in the oases for allowing us to collect the date samples in their gardens and for helping to identify date cultivars.

Author Contribution MB: Conceptualization, Methodology / Study design, Software, Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Visualization. SB: Supervision. AN: Conceptualization, Methodology / Study design, Software, Validation, Formal analysis, Writing – review and editing. IB: Resources, Data curation.

Funding This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Declarations

Competing interest The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- Al-Farsi* MA, Lee CY (2008) Nutritional and functional properties of dates: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 48:877–887
- Al-Jasass FM, Siddiq M, Sogi DS (2015) Antioxidants activity and color evaluation of date fruit of selected cultivars commercially available in the United States. *Adv Chem*: 2015, 1–5
- Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV (2015) Date palm genetic resources and utilization. Springer
- Al-Yahyai R, Khan MM (2015) Date palm status and perspective in Oman. *Date palm genetic resources and utilization* (pp. 207–240)
- Alahyane A, Harrak H et al (2019) Bioactive compounds and antioxidant activity of seventeen moroccan date varieties and clones (*Phoenix dactylifera* L.). *South Afr J Bot* 121:402–409
- Alam MZ, Alhebsi MSR, Ghummi S, Kamal-Eldin A (2021) Inability of total antioxidant activity assays to accurately assess the phenolic compounds of date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.). *NFS J* 22:32–40
- Alcantara MA, Polari I, de LB et al (2019) Effect of the solvent composition on the profile of phenolic compounds extracted from chia seeds. *Food Chem* 275:489–496
- AlFaris NA, AlTamimi JZ et al (2021) Total phenolic content in ripe date fruits (*Phoenix dactylifera* L.): a systematic review and meta-analysis. *Saudi J Biol Sci* 28:3566–3577
- Amira EA, Behija SE et al (2012) Effects of the ripening stage on phenolic profile, phytochemical composition and antioxidant activity of date palm fruit. *J Agric Food Chem* 60:10896–10902
- Ardestani A, Yazdanparast R (2007) Inhibitory effects of ethyl acetate extract of *Teucrium polium* on in vitro protein glycosidation. *Food Chem Toxicol* 45:2402–2411
- Aryal S, Baniya MK et al (2019) Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from Western Nepal. *Plants*: 8, 96
- Barrevel WH (1993) Date palm products. *Agricultural services bulletin no. 101*. Rome, Italy: FAO.
- Benmeddour Z, Mehinagic E, Le Meurly D, Louaileche H (2013) Phenolic composition and antioxidant capacities of ten algerian date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars: a comparative study. *J Funct Foods* 5:346–354
- Bentrad N, Hamida-Ferhat A (2020) Date palm fruit (*Phoenix dactylifera*): nutritional values and potential benefits on health, in: *the Mediterranean Diet*. Elsevier, pp 239–255
- Benzie IFF, Strain JJ (1999) [2] ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*. Elsevier, pp 15–27
- Besbes S, Drira L et al (2009) Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera* L.): compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food Chem* 112:406–411
- Biglari F, AlKarkhi AFM, Easa AM (2008) Antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran. *Food Chem* 107:1636–1641
- Bouguedoura N, Bennaceur M, Babahani S, Benziouche SE (2015) Date palm status and perspective in Algeria, in: *date Palm Genetic Resources and utilization*. Springer, pp 125–168

Vegetos

- Bouhlali E, Alem T C et al (2017a) Phytochemical compositions and antioxidant capacity of three date (*Phoenix dactylifera* L.) seeds varieties grown in the South East Morocco. *J Saudi Soc Agric Sci* 16:350–357
- Bouhlali E, Ramchoun T M et al (2017b) Functional composition and antioxidant activities of eight moroccan date fruit varieties (*Phoenix dactylifera* L.). *J Saudi Soc Agric Sci* 16:257–264
- Chebil L, Hameau C et al (2007) Solubility of flavonoids in organic solvents. *J Chem Eng data* 52:1552–1556
- Das AK, Islam MN et al (2020) Review on tannins: extraction processes, applications and possibilities. *South Afr J Bot* 135:58–70
- Erlund I (2004) Review of the flavonoids quercetin, hesperetin, and naringenin. Dietary sources, bioactivities, bioavailability, and epidemiology. *Nutr Res* 24:851–874
- Galvis Sánchez AC, Gil-Inguierdo A, Gil MI (2003) Comparative study of six pear cultivars in terms of their phenolic and vitamin C contents and antioxidant capacity. *J Sci Food Agric* 83:995–1003
- Hageman AE, Riedl KM et al (1998) High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J Agric Food Chem* 46:1887–1892
- Halliwel B, Gutteridge JMC (1990) [1] role of free radicals and catalytic metal ions in human disease: an overview. *Methods Enzymol* 186:1–85
- Hannachi S, Khitri D, Benkhalifa A, De La Perriere B (1998) RA Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. *Ed Anep, Rouiba*: 225
- Hong YJ, Tomas-Barberan FA, Kader AA, Mitchell AE (2006) The flavonoid glycosides and procyanidin composition of Deglet Noor dates (*Phoenix dactylifera*). *J Agric Food Chem* 54:2405–2411
- Hussain MI, Farooq M, Syed QA (2020) Nutritional and biological characteristics of the date palm fruit (*Phoenix dactylifera* L.)—A review. *Food Biosci* 34:100509
- Ibrahim SA, Ayad AA et al (2021) Date fruit: a review of the chemical and nutritional compounds, functional effects and food application in nutrition bars for athletes. *Int J Food Sci Technol* 56:1503–1513
- Inran M, Rasool N et al (2014) Chemical composition and biological studies of *Ficus benjamina*. *Chem Cent J* 8:1–10
- Ismail A, Marjan ZM, Foong CW (2004) Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem* 87:581–586
- Julkunen-Tiitto R. (1985) Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *J Agric Food Chem* 33:213–217
- Kim D-O, Jeong SW, Lee CY (2003) Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem* 81:321–326
- Kim GH, Kim JE, Rhie SJ, Yoon S (2015) The role of oxidative stress in neurodegenerative diseases. *Exp Neurobiol* 24:325
- Kotepui M (2016) Diet and risk of breast cancer. *Contemp Oncol Onkol* 20:13–19
- Kriaa W, Fetoui H et al (2012) Phenolic contents and antioxidant activities of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) leaves. *Int J Food Prop* 15:1220–1232
- Larson RA (1988) The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry* 27:969–978
- Larwence A, Abada S (1991) Valeur alimentaire des marcs de raisin, in: *Annales de Zootechnie*, pp. 143–151
- Lemine FMM, Ahmed MVOM et al (2014) Antioxidant activity of various mauritanian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at two edible ripening stages. *Food Sci Nutr* 2:700
- Liyana-Pathirana CM, Shahidi F (2006) Importance of insoluble-bound phenolics to antioxidant properties of wheat. *J Agric Food Chem* 54:1256–1264
- Lonni AASG, Longhini R et al (2012) Statistical mixture design selective extraction of compounds with antioxidant activity and total polyphenol content from *Trichilia catigua*. *Anal Chim Acta* 719:57–60
- Luca SV, Macovei I et al (2020) Bioactivity of dietary polyphenols: the role of metabolites. *Crit Rev Food Sci Nutr* 60:626–659
- Mansouri A, Embarek G, Kokkalou E, Kefalas P (2005) Phenolic profile and antioxidant activity of the algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chem* 89:411–420
- Marston A, Hostettmann K (2006) Separation and quantification of flavonoids. *Flavonoids Chem Biochem Appl*: 1–36
- Matloob MH, Balakita A (2016) Phenolic content of various date palms fruits and vinegars from Iraq. *Int J Chem Sci* 14:1893–1906
- Mohamed RMA, Fageer ASM, Eltayeb MM, Mohamed Ahmed IA (2014) Chemical composition, antioxidant capacity, and mineral extractability of Sudanese date palm (*P. hoenix dactylifera* L.) fruits. *Food Sci Nutr* 2:478–489
- Molyneux P (2004) The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J sci technol* 26:211–219
- Najat AB, Kakhkashan P (2012) In vitro inhibition potential of *Phoenix dactylifera* L. extracts on the growth of pathogenic fungi. *J Med Plants Res* 6:1083–1088
- Rauf A, Inran M et al (2019) Proanthocyanidins: a comprehensive review. *Biomed Pharmacother* 116:108999
- Re R, Pellegrini N et al (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26:1231–1237
- Rhazi N, Hannache H et al (2019) Green extraction process of tannins obtained from moroccan *Acacia mollissima* barks by microwave: modeling and optimization of the process using the response surface methodology RSM. *Arab J Chem* 12:2668–2684
- Saafi EB, El Arem A et al (2009) Phenolic content and antioxidant activity of four date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit varieties grown in Tunisia. *Int J Food Sci Technol* 44:2314–2319
- Samad MA, Hashim SH, Simarani K, Yaacob JS (2016) Antibacterial properties and effects of fruit chilling and extract storage on antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin content of four date palm (*Phoenix dactylifera*) cultivars. *Molecules*: 21, 419
- Samec D, Karalija E et al (2021) The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants*: 10, 118
- Sharma K, Kumar V et al (2021) Health effects, sources, utilization and safety of tannins: a critical review. *Toxin Rev* 40:432–444
- Singh AP, Wilson T et al (2009) Isolation of specific cranberry flavonoids for biological activity assessment. *Food Chem* 116:963–968
- Slinkard K, Singleton VL (1977) Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *Am J Enol Vitic* 28:49–55
- Souli I, Jenni M et al (2018) Phenolic composition profiling of tunisian 10 varieties of common dates (*Phoenix dactylifera* L.) at tamar stage using LC-ESI-MS and antioxidant activity. *J Food Biochem* 42:e12634
- Taleb H, Morris RK et al (2016) Date syrup-derived polyphenols attenuate angiogenic responses and exhibits anti-inflammatory activity mediated by vascular endothelial growth factor and cyclooxygenase-2 expression in endothelial cells. *Nutr Res* 36:636–647
- Teh S-S, Bekhit AE-D, Birch J (2014) Antioxidative polyphenols from defatted oilseed cakes: effect of solvents. *Antioxidants*: 3, 67–80
- Verde A, Míguez JM, Gallardo M (2019) Melatonin and related bioactive compounds in commercialized date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.): correlation with some antioxidant parameters. *Eur Food Res Technol* 245:51–59
- Vuolo MM, Lima VS, Junior MRM (2019) Phenolic compounds: structure, classification, and antioxidant power, in: *Bioactive Compounds*. Elsevier, pp 33–50
- Wahab NAA, Zulkifli NF et al (2017) A systematic review on the beneficial effect of date palm (*Phoenix dactylifera*) consumption on energy metabolism. *Adv Sci Lett* 23:4712–4716

- Wang SY, Jiao H (2000) Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *J Agric Food Chem* 48:5677–5684
- Wang SY, Zheng W, Galletta GJ (2002) Cultural system affects fruit quality and antioxidant capacity in strawberries. *J Agric Food Chem* 50:6534–6542
- Wen L, Jiang Y et al (2017) Structure, bioactivity, and synthesis of methylated flavonoids. *Ann NY Acad Sci* 1398:120–129
- Williner MR, Pirovani ME, Góemes DR (2003) Ellagic acid content in strawberries of different cultivars and ripening stages. *J Sci Food Agric* 83:842–845
- Xu BJ, Chang SKC (2007) A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J Food Sci* 72:5159–5166
- Yu L, Haley S et al (2002) Free radical scavenging properties of wheat extracts. *J Agric Food Chem* 50:1619–1624
- Zineb G, Boukouada M et al (2012) Screening of antioxidant activity and phenolic compounds of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Algeria. *Med J Nutrition Metab* 5:119–126

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.



TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Remerciements	I
Dédicaces	III
Résumé	IV
ملخص	V
Abstract	VI
Sommaire	VII
Liste des tableaux	XI
Liste des figures	XII
Liste des Annexes	XIV
Liste des abréviations et des acronymes	XV
INTRODUCTION	01

ÉTAT DE L'ART : CHAPITRE I- PALMIER DATTIER

I. Palmier dattier	05
I.1. Généralités	05
I.2. Position systématique	07
I.3. Morphologie, évolution et classification des dattes	07
I.3.1. Description botanique	07
I.3.2. Stades d'évolution de la datte	08
I.3.3. Classification des dattes	10
I.4. Composition biochimique de la datte	12
I.4.1. Principaux constituants de la datte	12
I.4.2. Autres constituants	15
I.5. Aire de distribution et production	17
I.5.1. Dans le monde	17
I.5.2. En Algérie	18
I.6. Composition variétale	20
I.6.1. Dans le monde	20
I.6.2. En Algérie	20
I.7. Utilisation des produits et des sous-produits du palmier dattier	25
I.7.1. Utilisation traditionnelle	25
I.7.2. Utilisation technologique et biotechnologique	28

ÉTAT DE L'ART : CHAPITRE II- POLYPHÉNOLS ET POUVOIR ANTIOXYDANT

II. Polyphénols et pouvoir antioxydant	31
II.1. Polyphénols	31
II.1.1. Classification	31
II.1.1.1. Acides phénoliques	32
II.1.1.2. Flavonoïdes	33

II.1.1.3. Tanins	35
II.1.1.4. Stilbènes	36
II.1.1.5. Lignanes	36
II.1.2. Polyphénols du palmier dattier	36
II.2. Radicaux libres et stress oxydatif	41
II.2.1. Espèces réactives de l'oxygène (ERO)	41
II.2.2. Espèces réactives de l'azote (RNS)	43
II.2.3. Espèces réactives du chlore (RCS)	44
II.2.4. Production des radicaux libres	45
II.2.4.1. Sources endogènes	45
II.2.4.2. Sources exogènes	47
II.2.5. Stress oxydatif ou stress oxydant	48
II.2.6. Lésions cellulaires causées par les radicaux libres	48
II.3. Pouvoir antioxydant	49
II.3.1. Système de défense des antioxydants endogènes	49
II.3.2. Système de défense des antioxydants exogènes	51
II.3.3. Tests d'évaluation du pouvoir antioxydant <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i>	52
II.4. Intérêts et propriétés des polyphénols	55
II.4.1. Propriétés physiologiques	55
II.4.2. Propriétés technologiques	55
II.4.3. Propriétés biologiques	56
II.4.3.1. Propriétés biologiques des polyphénols du palmier dattier	57

CHAPITRE III- MATÉRIEL ET MÉTHODES

III. Matériel et méthodes	61
III.1. Présentation de la région d'étude	61
III.1.1. Données physiques	62
III.1.2. Données climatiques	62
III.1.3. Systèmes de production agricole	64
III.1.4. Données hydrogéologiques et irrigation	66
III.1.5. Stress biotiques et abiotiques	69
III.2. Matériel végétal	73
III.2.1. Sites d'échantillonnage	73
III.2.2. Critères de choix des cultivars	73
III.2.3. Méthode d'échantillonnage	77
III.3. Méthodes d'analyse	78
III.3.1. Caractérisation biométrique	78
III.3.2. Caractérisation physico-chimique	79
III.3.2.1. Détermination de la teneur en eau	79
III.3.2.2. Détermination du pH	79
III.3.2.3. Détermination de l'acidité titrable	79
III.3.2.4. Détermination de la teneur en cendres	80
III.3.3. Caractérisation biochimique en métabolites primaires	81
III.3.3.1. Détermination de la teneur en matières grasses (lipides)	81
III.3.3.2. Détermination de la teneur en protéines	81
III.3.3.3. Détermination de la teneur en sucres totaux	82

III.3.3.4. Détermination de la teneur en sucres réducteurs	83
III.3.3.5. Détermination de la teneur en saccharose	85
III.3.3.6. Détermination de la valeur énergétique	85
III.3.4. Évaluation de la qualité des dattes	85
III.3.5. Extractions et caractérisation en composés phénoliques	86
III.3.5.1. Extractions	86
III.3.5.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux	90
III.3.5.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes totaux	91
III.3.5.4. Détermination de la teneur en tanins condensés	92
III.3.6. Evaluation de la capacité antioxydante par des tests <i>in vitro</i>	94
III.3.6.1. Test de piégeage du radical libre DPPH [•] et cinétique	94
III.3.6.2. Test de réduction du radical cation ABTS ^{•+}	96
III.3.6.3. Test de réduction du fer (FRAP: Ferric reducing antioxidant power)	98
III.3.7. Analyses statistiques des données	99
III.4. Prises de photos	99

CHAPITRE IV- RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV. Résultats et Discussions	101
IV.1. Caractérisation morphologique et biométrique	101
IV.2. Caractérisation physico-chimique et biochimique en métabolites primaires	108
IV.2.1. Caractérisation physico-chimique	108
IV.2.1.1. Teneurs en eau	108
IV.2.1.2. pH	110
IV.2.1.3. Acidité titrable	111
IV.2.1.4. Teneurs en cendres	112
IV.2.2. Caractérisation biochimique en métabolites primaires	114
IV.2.2.1. Teneurs en matières grasses (lipides)	114
IV.2.2.2. Teneurs en protéines	115
IV.2.2.3. Teneurs en sucres totaux	116
IV.2.2.4. Teneurs en sucres réducteurs	117
IV.2.2.5. Teneurs en saccharose	118
IV.2.2.6. Valeurs énergétiques	120
IV.2.3. Indice de qualité « R »	121
IV.3. Evaluation de la qualité des dattes	123
IV.4. Caractérisation en composés phénoliques	128
IV.4.1. Teneurs en composés phénoliques dans la mixture ternaire	128
IV.4.1.1. Teneurs en polyphénols totaux	128
IV.4.1.2. Teneurs en flavonoïdes totaux	133
IV.4.1.3. Teneurs en tanins condensés	134
IV.4.2. Teneurs en flavonoïdes totaux dans les fractions liquide-liquide d'extraits flavonoïdiques	134
IV.4.3. Teneurs en tanins condensés dans les fractions liquide-liquide d'extraits tanniques	137
IV.5. Capacité antioxydante <i>in vitro</i>	140
IV.5.1. Test de piégeage du radical libre DPPH [•]	140
IV.5.1.1. Test de piégeage du radical libre DPPH [•] exprimé en EC50	142
IV.5.1.2. Cinétique du pouvoir de piégeage du radical libre DPPH [•]	144
IV.5.2. Test de réduction du radical cation ABTS ^{•+}	147

TABLE DES MATIÈRES

IV.5.3. Test de réduction du fer (FRAP)	148
IV.6. Analyses statistiques des données	150
IV.6.1. Analyse en composantes principales (ACP)	150
IV.6.1.1. Matrice de corrélation globale	150
IV.6.1.2. Cercles de corrélation	154
IV.6.1.3. Projection des cultivars de dattes par rapport aux variables physico-chimiques et biochimiques	155
IV.6.2. Analyses par Clustering	157
IV.6.2.1. Clustering K-Means	157
IV.6.2.2. Classification ascendante hiérarchique (CAH)	159
IV.6.3 Matrice de corrélation entre les composés phénoliques et la capacité antioxydante	162
IV.7. Discussion générale sur les polyphénols et la capacité antioxydante	166
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	169
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	171
ANNEXES	197

Caractérisation physico-chimique et biochimique des dattes des cultivars dominants et spécifiques de la région d'Adrar

Résumé

La région d'Adrar située dans le Sahara algérien, est caractérisée à travers ses trois régions phœnicicoles : le Touat, le Gourara et le Tidikelt par une biodiversité remarquable du palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L., estimée à plus de 400 cultivars. La présente étude se veut d'évaluer le profil nutritionnel et la qualité de vingt cultivars de dattes en fonction de leurs caractéristiques morphologiques et biochimiques, phytochimiques et de leur potentiel antioxydant.

Les teneurs en composés phénoliques et l'évaluation des activités antioxydantes ont été déterminées sur des extraits obtenus par macération dans du méthanol/acétone/eau. La capacité antioxydante a été évaluée par les tests DPPH[•], ABTS^{•+} et FRAP.

Le rapport entre le poids de la pulpe et celui de la datte se situe entre 83,81 et 94,99 %. Le pH est compris entre 5,02 ± 0,01 et 7,31 ± 0,01, l'acidité titrable entre 0,17 ± 0,02 et 0,76 ± 0,02 %, l'humidité entre 14,28 ± 0,89 et 44,89 ± 1,21 % et la teneur en cendres entre 1,60 ± 0,14 et 3,80 ± 0,08 %. Les sucres totaux varient de 63,09 ± 0,96 à 87,67 ± 1,26 %, les sucres réducteurs de 21,61 ± 1,21 à 54,63 ± 0,32 %, le saccharose de 8,04 ± 0,31 à 62,75 ± 1,15 %. Néanmoins, tous les cultivars contiennent de petites quantités de lipides et de protéines allant respectivement de 0,03 ± 0,00 à 0,44 ± 0,02 % et de 2,16 ± 0,2 à 4,55 ± 0,23 %.

En termes de composition phénolique, nos résultats indiquent que les teneurs en polyphénols totaux varient de 97,75 ± 12,10 à 421,15 ± 1,53 mg EAG/100 g MS, les flavonoïdes totaux de 14,46 ± 0,13 à 59,53 ± 3,76 mg EC/100 g MS, et les tanins condensés de 14,74 ± 0,21 à 74,62 ± 1,45 mg EC/100 g MS. La capacité antioxydante des extraits ternaires, évaluée par le test DPPH, a révélé des valeurs IC50 comprises entre 0,026 ± 0,01 et 0,181 ± 0,01 mg/mL. En outre, l'activité antioxydante évaluée par les tests ABTS et FRAP a indiqué des valeurs respectivement comprises entre 865,19 ± 14,01 et 1815,16 ± 16,52 µmol ET/100 g MS et entre 863,50 ± 69,96 et 1980,46 ± 97,00 µmol ET/100 g MS.

La présente étude a révélé également que le mélange ternaire, comparé à d'autres mélanges a extrait des teneurs en polyphénols appréciables allant jusqu'à 421,15 mg EAG/100 g MS, avec une activité antioxydante significative corrélée principalement aux tanins condensés.

Mots clés : Antioxydant, caractérisation, corrélations, dattes, polyphénols, région d'Adrar.

التوصيف الفيزيائي والكيميائي والبيوكيميائي الحيوي للتمور من الأصناف السائدة والمحددة في منطقة أدرار

ملخص

تتميز منطقة أدرار الواقعة في الصحراء الجزائرية، من خلال مناطقها الثلاث لنخيل التمر: توات، قورارة وتيديكلت، بتنوع بيولوجي ملحوظ لنخيل التمر *Phoenix dactylifera* L. والذي يقدر بأكثر من 400 صنف. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم كل من الخصائص والقيمة الغذائية لعشرين (20) صنفاً من أصناف التمور من حيث الخصائص المورفولوجية، البيوكيميائية والكيموإبيات النباتية، إضافة إلى قدراتها المضادة للأكسدة.

تم تحديد محتوى المركبات الفينولية والنشاط المضاد للأكسدة بواسطة المستخلصات التي تم الحصول عليها عن طريق النقع في مزيج الميثانول/الأسيتون/الماء. تم تقييم قدرة مضادات الأكسدة عن طريق اختبارات DPPH^{•+} و ABTS^{•+} و FRAP.

تراوحت نسبة اللب إلى وزن التمر من 83.81 إلى 94.99%. تراوح الأس الهيدروجيني (pH) من 5.02 ± 0.01 إلى 7.31 ± 0.01، والحموضة القابلة للمعايرة من 0.17 ± 0.02 إلى 0.76 ± 0.02 %، والرطوبة من 14.28 ± 0.89 إلى 44.89 ± 1.21 %، ومحتوى الرماد من 1.60 ± 0.14 إلى 3.80 ± 0.08 %. تراوحت نسبة السكريات الكلية من 63.09 ± 0.96 إلى 87.67 ± 1.26 %، والسكريات المختزلة من 21.61 ± 1.21 إلى 54.63 ± 0.32 %، والسكروز من 8.04 ± 0.31 إلى 62.75 ± 1.15 %. ومع ذلك، فإن جميع الأصناف تحتوي على كميات صغيرة من الدهون والبروتينات تتراوح من 0.03 ± 0.00 إلى 0.44 ± 0.02 % ومن 2.16 ± 0.2 إلى 4.55 ± 0.23 % على التوالي.

بالنسبة لمحتوى المركب الفينولي، أظهرت نتائجنا أن إجمالي الفينولات تراوحت من 97,75 ± 12,10 إلى 421,15 ± 1,53 (مغ مكافئ حمض الغاليك/100 غ مادة جافة)، ومجموع الفلافونويدات من 14,46 ± 0,13 إلى 59,53 ± 3,76 (مغ مكافئ كاتيشين/100 غ مادة جافة)، والعفص المكثف من 14,74 ± 0,21 إلى 74,62 ± 1,45 (مغ مكافئ كاتيشين/100 غ مادة جافة). كشفت القدرة المضادة للأكسدة للمستخلصات الثلاثية، التي تم تقييمها بواسطة اختبار DPPH، عن قيم IC50 تتراوح من 0.026 ± 0.01 إلى 0.181 ± 0.01 مغ/مل. بالإضافة إلى ذلك، أشار النشاط المضاد للأكسدة الذي تم تقييمه بواسطة اختبارات ABTS و FRAP إلى قيم تتراوح بين 863.50 ± 69.96 و 1980.46 ± 97.00 (ميكرومول مكافئ ثرولوكس/100 غ مادة جافة) وبين 865.19 ± 14.01 و 1815.16 ± 16.52 (ميكرومول مكافئ ثرولوكس/100 غ مادة جافة) وعرفت الدراسة الحالية أنه بالمقارنة مع الخلائط الأخرى، استخلص الخليط الثلاثي محتويات بوليفينول ملحوظة تصل إلى 421.15 (مغ مكافئ حمض الغاليك/100 غ مادة جافة)، مع نشاط كبير مضاد للأكسدة يرتبط بشكل رئيسي بالعفص المكثف.

الكلمات المفتاحية: التمر، البوليفينولات، ترابط، تشخيص، منطقة أدرار، مضادات الأكسدة.

Physico-chemical and biochemical characterization of dates from dominant and specific cultivars of the Adrar region

Abstract

The Adrar region located in the Algerian Sahara, is characterized through its three date palm regions: Touat, Gourara and Tidikelt by a remarkable biodiversity of the date palm, *Phoenix dactylifera* L., estimated at more than 400 cultivars. The main objective of the present study is to assess the nutritional profile and quality of twenty (20) date cultivars in terms of their morphological and biochemical, phytochemical characteristics and their antioxidant potential.

Phenolic content and antioxidant activity were determined in extracts obtained by maceration in methanol/acetone/water. Antioxidant capacity was assessed by DPPH[•], ABTS^{•+}, and FRAP assays.

The ratio of pulp to date weight ranged from 83.81 to 94.99 %. The pH ranged from 5.02 ± 0.01 to 7.31 ± 0.01, titratable acidity from 0.17 ± 0.02 to 0.76 ± 0.02%, moisture from 14.28 ± 0.89 to 44.89 ± 1.21% and ash content from 1.60 ± 0.14 to 3.80 ± 0.08%. Total sugars ranged from 63.09 ± 0.96 to 87.67 ± 1.26%, reducing sugars from 21.61 ± 1.21 to 54.63 ± 0.32, and sucrose from 8.04 ± 0.31 to 62.75 ± 1.15%. Nevertheless, all cultivars contain small amounts of lipids and proteins ranging from 0.03 ± 0.00 to 0.44 ± 0.02% and from 2.16 ± 0.2 to 4.55 ± 0.23%, respectively.

For phenolic compound content, our results show that total phenolics ranged from 97,75 ± 12,10 to 421,15 ± 1,53 mg GAE/100 g DW, total flavonoids from 14,46 ± 0,13 to 59,53 ± 3,76 mg CE/100 g DW, and condensed tannins from 14,74 ± 0,21 to 74,62 ± 1,45 mg CE/100 g DW. The antioxidant capacity of ternary extracts, assessed by the DPPH test, revealed IC50 values ranging from 0.026 ± 0.01 to 0.181 ± 0.01 mg/mL. In addition, antioxidant activity assessed by ABTS and FRAP tests indicated values between 865.19 ± 14.01 and 1815.16 ± 16.52 µmol TE/100 g DW and between 863.50 ± 69.96 and 1980.46 ± 97.00 µmol TE/100 g DW, respectively.

The present study revealed that compared to other mixtures, the ternary mixture extracted appreciable polyphenol contents of up to 421.15 mg GAE/100 g DM, with significant antioxidant activity correlated mainly to condensed tannins.

Keywords: Adrar region, antioxidant, characterization, correlations, dates, polyphenols.