République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département Agro-alimentaire

THÈSE DE DOCTORAT

Spécialité : Sciences Alimentaires

Option : Sciences Agro-alimentaires et assurance Qualité

IMPACTS DES TECHNOLOGIES DE CONSERVATION ET DE LA DURÉE DE STOCKAGE SUR LES QUALITÉS DES PRODUITS ALIMENTAIRES : CAS DES DATTES

Par : **Sarra Meriem BELILI**

devant le jury composé de :

Mr. Mustapha KHALI	Pr	U. Blida 1	Président
Mme. Naima HADJADJ	MCA	U. Blida 1	Examinatrice
Mme. Latifa AZZOUZ	MCA	ESSAIA	Examinatrice
Mr. Tahar HADJ SADOK	MCA	U. Blida 1	Directeur de Thèse
Mr. Smain MEGATLI	MCA	U. Blida 1	Co- Directeur de Thèse

Blida, Décembre 2024

RESUME

Cette étude examine les diverses méthodes de conservation des dattes, en se focalisant sur leurs caractéristiques morphologiques, physicochimiques et microbiologiques. Elle compare l'emballage sous vide traditionnel à l'enrobage au film actif à base d'huile essentielle de thym, par rapport à des dattes non traitées, pendant une période de stockage de 6 mois dans deux conditions différentes (4°C et température ambiante). Les analyses portent sur la morphologie des dattes, leur composition physicochimique (humidité, acidité, pH, indice de brunissement, activité antioxydante, concentration en polyphénols, flavonoïdes, sucres) ainsi que leur qualité microbiologique (croissance bactérienne et fongique). Les résultats mettent en évidence des différences significatives entre les méthodes de conservation : l'emballage sous vide est efficace pour préserver l'activité antioxydante et la teneur en polyphénols, tandis que l'enrobage au film actif est plus efficace pour prévenir le brunissement et réduire la croissance fongique. La dureté des dattes varie en fonction de la durée et de la température de stockage, et la composition physicochimique est influencée par les trois facteurs étudiés : la technique, la durée et la température de conservation. Sur le plan microbiologique, les dattes enrobées de film actif présentent une légère augmentation de la croissance bactérienne mais une diminution de la croissance fongique par rapport aux dattes témoins.

À la lumière de ces résultats, l'enrobage au film actif à base d'huile essentielle de thym et l'emballage sous vide apparaissent comme deux solutions de conservation efficaces pour les dattes, avec une supériorité du film actif où le développement de moisissures a été empêché. Ces conclusions soulignent également l'importance d'étudier les interactions entre les différentes conditions de conservation afin de mettre en place une stratégie de conservation adaptée.

Mots clés : *Phoenix dactylifera*, film actif, emballage sous vide, huile essentielle, *Thymus vulgaris*.

ABSTRACT

This study examines various methods of date preservation, focusing on their morphological, physicochemical, and microbiological characteristics. It compares traditional vacuum packaging to active film coating with thyme essential oil, in comparison to untreated dates, over a 6-month storage period under two different conditions (4°C and room temperature). Analyses cover date morphology, physicochemical composition (moisture, acidity, pH, browning index, antioxidant activity, concentration of polyphenols, flavonoids, sugars), and microbiological quality (bacterial and fungal growth). Results highlight significant differences between preservation methods: vacuum packaging is effective in preserving antioxidant activity and polyphenol content, while active film coating is more effective in preventing browning and reducing fungal growth. Date hardness varies depending on storage duration and temperature, and physicochemical composition is influenced by the three factors studied: technique, duration, and temperature of conservation. Microbiologically, dates coated with active film show a slight increase in bacterial growth but a decrease in fungal growth compared to control dates.

In light of these results, active film coating with thyme essential oil and vacuum packaging emerge as two effective preservation solutions for dates, with active film showing superiority in preventing mold development. These findings also underscore the importance of studying interactions between different preservation conditions to implement an appropriate conservation strategy.

Keywords: *Phoenix dactylifera*, active film, vacuum packaging, essential oil, *Thymus vulgaris.*

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى فحص طرق مختلفة لحفظ التمور، مركزة على خصائصها المورفولوجية والفيزيوكيميائية والميكروبيولوجية. تقارن بين التعبئة بالفراغ التقليدية والفيلم النشط بزيت الزعتر الأساسي، بالمقارنة مع التمور غير المعالجة، على مدى فترة تخزين تبلغ 6 أشهر تحت شرطين مختلفين (4 درجات مئوية ودرجة حرارة الغرفة). تتناول التحاليل شكل التمور، وتركيبها الفيزيوكيميائي (الرطوبة، الحموضة، درجة الحموضة، مؤشر التحمير، النشاط المضاد للأكسدة، تركيز البوليفينولات، الفلافونويدات، السكريات)، بالإضافة إلى جودتها الميكروبيولوجية (نمو البكتيريا والفطريات). تُظهر النتائج اختلافات كبيرة بين طرق الحفظ: التعبئة بالفراغ فعالة في الحفاظ على النشاط المضاد للأكسدة ومحتوى البوليفينولات، بينما يكون الفيلم النشط أكثر فعالية في منع التحمير وتقليل نمو الفطريات. يتغير صلابة التمور اعتمادًا على مدة التخزين ودرجة الحرارة، ويتأثر التركيب الفيزيوكيميائي بالثلاثة عوامل التي تمت دراستها: التقنية والمدة ودرجة الحرارة الحفظ. على المستوى الميكروبيولوجي، تظهر التمور المطلية بالفيلم النشط زيادة طفيفة في نمو البكتيريا ولكن نقصًا في نمو الفطريات مقارنة بالتمور غير المعالجة.

بناءً على هذه النتائج، يظهر الفيلم النشط بزيت الزعتر الأساسي والتعبئة بالفراغ كحلول فعالة لحفظ التمور، مع تفوق الفيلم النشط في منع تطور العفن. تؤكد هذه النتائج أيضًا أهمية دراسة التفاعلات بين شروط الحفظ المختلفة لتنفيذ استراتيجية حفظ مناسبة.

الكلمات المفتاحية: فينيكس داكتيليفيرا، حفظ التمور، زيت أساسي، التعبئة بالفراغ، الفيلم النشط، الزعتر

À ma mère

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur, Mr. Hadj Sadok Tahar, Maitre de conférences « A » à l'université de Blida 1 pour sa patience infinie et ses précieux conseils tout au long de la réalisation de cette thèse. Sa guidance éclairée et son soutien constant ont été d'une importance capitale pour l'avancement de ce travail.

Je souhaite également exprimer mes sincères remerciements à mon co-promoteur, Mr. Megatli Smain, Professeur à l'université de Blida 1 pour son écoute attentive, son assistance précieuse et sa disponibilité, qui ont été essentielles pour surmonter les défis rencontrés tout au long du processus de recherche.

Mes remerciements vont également à Mr Khali Mustapha professeur à l'université de Blida 1 qui me fait l'honneur de présider cette soutenance et à Mme Hadjadj Naima Maitre de conférences « A » à l'université de Blida 1 et Mme Azouz Latifa Maitre de conférences « A » à l'ESSAIA pour avoir accepté d'examiner cette thèse.

Je tiens aussi à remercier Mr. Ramdane S.A. Maitre de conférences « A » à l'université de Blida 1 pour avoir facilité les procédures administratives liées à cette thèse.

Mes remerciements vont également à Mr. Mansouri du CRNA et à toute l'équipe de l'ITDAS avec qui j'ai été en contact.

Je tiens à saluer l'âme du défunt ex-directeur du CRSTRA Mr. BELHAMRA qui m'a chaleureusement accueilli et encouragé. Sa gentillesse et sa générosité resteront gravées dans ma mémoire.

Je suis reconnaissante envers tous mes professeurs et le personnel de l'université pour leur soutien et leur enseignement précieux.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers mes collègues Sihem Hadj, Yasmine Saidi et tous les autres, en particulier Yaakoub Kebila, pour sa serviabilité et sa collaboration.

Enfin, un très grand merci à Mlle Louiza Djerdjar, qui a été bien plus qu'une simple collègue ; elle a été une amie et un soutien indispensable pendant ces longues années. Son aide morale et sa serviabilité ont grandement contribué à surmonter les défis de ce parcours académique.

Sarra Meriem BELILI

TABLE DES MATIÈRE

RESUME II

ABSTRACT III

الملخص IV

REMERCIEMENTS VI

TABLE DES MATIÈRE VII

LISTE DES FIGURES X

LISTE DES TABLEAUX XII

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I : LE PALMIER DATTIER 3

1. GENERALITES SUR LE PALMIER DATTIER 3

1.1. Histoire 3

1.2. Description 5

1.3. Exigences climatiques 8

1.4. Culture du palmier dattier 10

1.5. Aspects génétique des dattes 16

1.6. Répartition et production des dattes 17

2. LA DATTE 24

2.1. Définition 24

2.2. Stades phénologique 25

2.3. Classification des dattes 27

2.4. Composition chimique de la datte 28

2.5. Propriétés pharmacologiques 30

2.6. Alteration microbiologiques des dattes 32

2.7. Marché 34

CHAPITRE II : TECHNIQUES DE CONSERVATION DES DATTES 37

1. GÉNÉRALITÉS SUR LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES 37

1.1. Mécanises et facteurs d'altération des aliments 37
1.2. Techniques de conservation et de transformation des aliments 40
2. QUALITÉ DES DATTES 41
2.1. Critères d'évaluation de la qualité des dattes 42
2.2. Facteurs majeurs influençant la qualité des dattes 43
3. TECHNIQUES DE CONSERVATION DES DATTES 44
3.1. Pré-traitements 44
3.2. Traitement des dattes 46
4. L'EMBALLAGE ACTIF 51
4.1. Types d'emballages actifs 51
4.2. Films comestibles 53
4.3. Différents matériaux utilisés pour la formation de films comestibles 54
4.4. Utilisation des huiles essentielles dans la formulation de films comestibles. . 55
5. L'HUILE ESSENTIELLE DU THYM 56
5.1. Composition de l'huile essentielle du thym 57
5.2. Propriétés de l'huile essentielle du thym 57
5.3. Sécurité de l'huile essentielle du thym 58
CHAPITRE III : METHODOLOGIE 60
1. MATERIEL 60
1.1. Consommables 60
1.2. Échantillonnage 60
1.3. Choix de l'huile essentielle 60
2. ETUDES COMPARATIVE DES TECHNIQUES DE CONSERVATION 61
2.1. Application des techniques de conservation 61
2.2. Analyses morphologiques des dattes 62
2.3. Analyses physicochimiques des dattes 62
2.4. Analyses microbiologiques des dattes 66
2.5. Analyse statistique 66
CHAPITRE IV : RESULTATS 68
1. ANALYSES MORPHOLOGIQUES DES DATTES 68
1.1. Longueur 70

1.2. Diamètre 72
1.3. Poids de la datte 74
1.4. Dureté 76
2. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DES DATTES 78
2.1. Humidité 79
2.2. Acidité titrable 82
2.3. pH 84
2.4. Indice de brunissement 86
2.5. Activité antioxydante 88
2.6. Polyphénols totaux 91
2.7. Tannins 93
2.8. Flavonoïdes 95
2.9. Les Sucres 97
2.10. Protéines 101
3. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES DATTES 103
3.1. Croissance bactérienne 104
3.2. Croissance fongique 106
CHAPITRE V : DISCUSSION 109
1. ANALYSES MORPHOLOGIQUES DES DATTES 109
1.1. Longueur 109
1.2. Diamètre 109
1.3. Poids 109
1.4. Dureté 110
2. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DES DATTES 110
2.1. Humidité 110
2.2. Acidité titrable 111
2.3. pH 112
2.4. Indice de brunissement 112
2.5. Activité antioxydante 113
2.6. Polyphénols 114
2.7. Tannins 115
2.8. Flavonoïdes 115

2.9. Sucres 116
2.10. Protéines 117
3. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES DATTES 118
3.1. Croissance bactérienne 118
3.3. Croissance fongique 119
CONCLUSION 121
BIBLIOGRAPHIE 125
ANNEXES ..... A
Annexe 1 : Composition des dattes ..... A
Annexe 2 : Aperçu des principales méthodes de conservation des aliments C
Annexe 3 : Exemples d'agents actifs commerciaux pour les emballages alimentaires actifs. ..... H
Annexe 4 : Arrêté interministériel du 2 Moharram 1438 correspondant au 4 octobre 2016 fixant les critères microbiologiques des denrées alimentaires : extrait relatif aux fruits et légumes. I
Annexe 5 : Article "The impact of thyme extract as a coating film on the physicochemical and microbiological profile of date fruit (*Phoenix dactylifera*)" L

LISTE DES FIGURES

***Fig. 1**: Représentation de la fresque de l'Investiture ornant la façade méridionale de la cour du Palmier à Mari, datant du début du deuxième millénaire avant notre ère, située en Syrie [23]* 5
***Fig. 2**: Figuration schématique du palmier dattier [4] d'après Munier [21]). I : racines de respiration, II : racines de nutrition, III et IV : racines d'absorption* 7
***Fig. 3**: Schéma d'une palme de Phoenix dactylifera [21]* 7
Fig.4: Fleurs mâles (gauche) et femelles (droite) du palmier dattier (Phoenix dactylifera L). (a) Fleurs dans la spathe ; (b) Inflorescence ; (c) Gros plan [4] 15
Fig. 5: répartition spatiale et génétique palmiers dattiers [18] 16
Fig.6: évolution de la superficie récoltée, de la production et du rendement du palmier dattier au fil des ans [3] 20
Fig. 7: superficie occupée par le palmier dattier par rapport à d'autres plantations (%) [3] 21

Fig. 8: répartition des types de dattes en pourcentage par rapport à la production et au nombre de palmiers [3] 21
Fig.9: Structure anatomique de la datte, variété Aharetan [45] 25
Fig. 10: Stades de maturation des fruits du palmier dattier[46] 25
Fig. 11: Les effets pharmacologiques des dattes, avec des flèches pointant vers le haut pour signifier une augmentation et vers le bas pour indiquer une diminution [46] 32
Fig. 12: Mécanismes et aspects commerciaux de la transformation et de la conservation des aliments [57] 38
Fig. 13: Les principales méthodes de conservation des aliments 40
Fig. 14: Illustration des facteurs influençant la qualité des fruits [40]. 43
Fig. 15: Les étapes de classification des dattes (Deglet Nour), de la récolte à la commercialisation [44] 44
Fig. 16: Agents actifs pour emballages alimentaires actifs [80] 53
Fig. 17: Méthodes de préparation du film actif ; (a) film coulée, (b) film enrobé [81] 54
Fig. 18: Evaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles : (A) la méthode antibiogramme, (B) la méthode d'empoisonnement alimentaire 61
Fig. 19: Évolution de la Longueur (mm) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3) 71
***Fig. 20**: Évolution du Diamètre (mm) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 73
***Fig. 21**: Évolution du poids (g) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 75
***Fig. 22**: Évolution de la Dureté (kg/cm^2) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 77
***Fig. 23**: Évolution de l'Humidité (%) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 80
***Fig. 24**: Évolution de l'acidité titrable (%) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 83
***Fig. 25**: Évolution du pH des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 85
***Fig. 26**: Évolution de l'indice de brunissement des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 87

***Fig. 27**: Évolution de l'activité antioxydante (µg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 89
***Fig. 28**: Évolution de la teneur en Polyphénols totaux (µg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 92
***Fig. 29**: Évolution de la teneur en Tannins (mg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 94
***Fig. 30**: Évolution de la teneur en Flavonoïdes (µg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 96
***Fig. 31**: Évolution de la teneur en Sucres totaux (mg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 98
***Fig. 32**: Évolution de la teneur en Sucres réducteurs (mg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 100
***Fig. 33**: Évolution de la teneur en Protéines (µg/ml) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 102
***Fig. 34** : Évolution de la croissance bactérienne (CFU/g) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 105
***Fig. 35**: Évolution de la croissance bactérienne (CFU/g) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)* 107

LISTE DES TABLEAUX

***Tableau 1**: Caractéristiques du palmier dattier [4]* 6
***Tableau 2**: Tolérances environnementales du palmier dattier adapté des données du Kwaasi [8]* 8
Tableau 3: Production mondiale et surface récoltée (ha) en 2022 par pays selon la FAO [1] 18
Tableau 4: La répartition des palmiers dattier selon les variétés dominante [3] 22
Tableau 5: Les pertes de dattes dans les chaînes d'approvisionnement [43] 23
Tableau 6: Evolution de la composition des dattes au cours de leur développement [47] . 27
Tableau 7: Classification des variétés de dattes en fonction de leur humidité et teneur en sucres [48] 28
Tableau 8: Composition chimique du noyau de datte [50] 29

Tableau 9: La part de marché des pays exportateurs et celle des pays importateurs [2] 35
Tableau 10: Détails des composés bioactifs trouvés dans l'huile de thym après analyse par GC-MS, avec leur formule, leur poids moléculaire et l'activité rapportée de chaque composé bioactif [55] 57
Tableau 11: Étude comparative de la conservation des dattes emballées sous vide, enrobées au film actif et témoins à des températures de 4°C et ambiante après 6 mois de stockage . 68
Tableau 12: Moyennes et SE des mesures des paramètres morphologiques selon la durée de stockage, la température et la technique de conservation chez Phoenix dactylifera 69
Tableau 13: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur la longueur des dattes 70
Tableau 14: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'humidité des dattes 72
Tableau 15: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur le poids des dattes 74
Tableau 16: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur la dureté des dattes 76
***Tableau 17**: Moyennes et SE des mesures physico-chimiques selon la durée de stockage, la température et la technique de conservation chez Phoenix dactylifera* 78
***Tableau 18**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'humidité des dattes* 79
***Tableau 19**; Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'acidité titrable des dattes* 82
***Tableau 20**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur le pH des dattes* 84
***Tableau 21** : Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'indice de brunissement des dattes* 86
***Tableau 22**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'activité antioxydante des dattes* 88
***Tableau 23**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les polyphénols totaux des dattes* 91
***Tableau 24**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les tannins des dattes* 93
***Tableau 25**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les flavonoïdes des dattes* 95
***Tableau 26**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les sucres totaux des dattes* 97
***Tableau 27**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les sucres réducteurs des dattes* 99
***Tableau 28**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les protéines des dattes* 101
***Tableau 29**: Moyennes et SE de la croissance microbiologique selon la durée de stockage, la température et la technique de conservation chez Phoenix dactylifera* 103

***Tableau 30**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur la croissance bactérienne des dattes* 104
***Tableau 31**: Pourcentage d'Apparition des Cellules de Moisissure dans les Boîtes de Pétri* 106
***Tableau 32**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur croissance fongique des dattes* 107

INTRODUCTION

L'agriculture est un pilier fondamental de l'économie mondiale, et le secteur des dattes ne fait pas exception à cette dynamique. En 2020, le marché international des dattes a atteint une valeur de 1,9 milliard de dollars US, tandis que la superficie mondiale plantée en palmiers-dattiers dépassait 1 million d'hectares. L'Algérie, en particulier, joue un rôle significatif dans ce domaine, contribuant de manière notable à la production mondiale et au marché des dattes [1], [2]. La variété Deglet Nour, principale variété d'intérêt de cette étude, représentait une part substantielle de la production Algérienne en 2019 [3]. Outre son importance économique, le fruit du palmier-dattier (*Phoenix dactylifera*) détient une valeur culturelle et nutritionnelle significative, grâce à sa douceur naturelle, son goût unique, et sa richesse en nutriments essentiels. Cependant, les défis post-récolte, incluant la perte rapide d'humidité, le brunissement enzymatique, et la contamination microbienne, demeurent des préoccupations majeures pour les acteurs de la filière alimentaire [4], [5], [6].

Cette étude se propose ainsi d'examiner l'influence des techniques de stockage de la température et de la durée de stockage des dattes à travers leur aspects morphologiques, composition chimique et la croissance des microorganismes. Les raisons qui motivent cette étude sont multiples. Elle répond d'abord à des impératifs alimentaires et économiques, les dattes constituant une source de revenu importante dans les régions sahariennes et offrant une voie prometteuse pour augmenter les exportations hors hydrocarbures.

Dans le domaine de la conservation des dattes, diverses techniques ont été explorées. Parmi les méthodes traditionnelles, on compte les traitements chimiques au phosphure d'hydrogène, les traitements thermiques, le stockage réfrigéré, l'irradiation, et l'emballage sous atmosphère modifiée [7], [8]. Toutefois, ces approches présentent des limites en termes d'efficacité et de sécurité alimentaire, incitant à rechercher des alternatives encore plus innovantes.

L'enrobage au film actif, une technique émergente, offre de nouvelles perspectives dans la préservation des aliments. Cette méthode consiste à appliquer un film comestible contenant des agents antimicrobiens ou antioxydants sur les fruits pour prolonger leur durée de conservation. Dans ce contexte, l'huile essentielle de thym (*Thymus vulgaris*) s'est avérée être un agent prometteur. Grâce à ses propriétés antimicrobiennes et antioxydantes, l'huile

essentielle de thym présente un fort potentiel pour améliorer la conservation des dattes [9], [10], [11], [12].

Cette thèse se structure en deux volets distincts. La première partie, consacrée à une revue de la bibliographie, est composée de deux chapitres. Le premier se penche d'abord sur le palmier dattier, en identifiant ses caractéristiques ainsi que les paramètres climatiques et les pratiques agricoles influant sur la qualité du fruit. Par la suite, la datte, fruit du palmier, est analysée tant d'un point de vue morphologique que chimique, mettant en lumière ses bienfaits et les altérations susceptibles de l'affecter. Dans le second chapitre, l'attention est portée sur les techniques de conservation, débutant par une exposition des mécanismes de dégradation alimentaire ainsi qu'une classification générale des méthodes de conservation. Ce chapitre explore ensuite les techniques spécifiques de préservation des dattes, en offrant préalablement une assise conceptuelle sur la notion de qualité des fruits.

La seconde partie de cette thèse, axée sur l'expérimentation, s'ouvre sur la présentation des méthodes employées, suivie de l'exposition des résultats et des analyses qui en découlent. En conclusion, une synthèse générale vient clore cet ouvrage académique.

CHAPITRE I : LE PALMIER DATTIER

1. GENERALITES SUR LE PALMIER DATTIER

Le palmier dattier, l'une des plantes fruitières les plus anciennement cultivées dans le monde, revêt une importance significative pour les sociétés sahariennes. Il est réputé pour sa robustesse et sa capacité à s'adapter aux régions les plus arides de la planète. Souvent perçu comme un arbre, il est en réalité une monocotylédone arborescente de la famille des Arecaceae (Palmae). Il appartient au genre Phoenix, composé de plusieurs espèces cultivées pour divers usages, la plus importante étant *Phoenix dactylifera*. La dénomination du palmier dattier remonte à Linné depuis 1734. Plusieurs hypothèses existent quant à l'origine du terme grec Phoenix, certaines le liant à « Phoinix » l'arbre des Phéniciens, d'autres à l'oiseau mythique Phoenix en raison de sa capacité à survivre après avoir été partiellement brûlé. Le terme latin « dactylus » dérive de l'hébreu « dachel », tandis que « fero » signifie « qui porte » en latin [13], [14].

1.1. HISTOIRE

Traditionnellement, cette espèce est cultivée en Afrique du nord et au moyen orient s'étendant jusqu'au Pakistan et le nord-ouest de l'Inde. L'origine du palmier dattier est incertaine ; cependant, des découvertes archéologiques ont mis en évidence des restes de dattes cultivées en Mésopotamie, dont certains remontent à près de 6 000 ans [15]. C'est pourquoi cette région est considérée comme l'origine probable du palmier dattier. Selon Pérez-Escobar et *al.* [16], l'introduction du palmier dattier en Afrique se serait effectuée via l'Égypte il y a environ 2 100 ans.

Cependant, les études génétiques, telles que celle de Terral et *al.* [17], Zehdi-Azouzi et *al.* [18], suggèrent qu'il existe au moins deux origines géographiques : une orientale en Asie et à Djibouti, et une autre occidentale en Afrique. Gros-Balthazard et *al.* [19], ajoute que la raison pour laquelle il y a un manque de fossiles et les preuves archéologiques en provenance d'Afrique pourraient ne refléter que l'état actuel des recherches dans cette région.

Les Touaregs du Tassili n'Ajjer, de leur côté, revendiquent l'origine autochtone du palmier dattier en Afrique du Nord, indiquant qu'il s'agit d'une plante locale et sauvage qui a été ultérieurement domestiquée [20]. Une inscription latine datée de l'an 202, découverte dans

les environs du Hodna, fait référence à la vente de dattes parmi les produits échangés dans la cité [21].

Selon Munier [21], le cultivar Deglet Nour serait le résultat d'une mutation provenant de l'Oued Rhir, ayant surgi à la fin du XIIIe ou au début du XIVe siècle. Il aurait ensuite été introduit dans les palmeraies du Sud tunisien vers 1600, puis aux États-Unis en 1890 et 1900.

L'introduction du palmier dattier au continent américain a commencé juste après le premier contact entre l'Europe et l'Amérique, au cours des XVe et XVIe siècles, en provenance d'Espagne et des côtes barbaresques. Ils ont d'abord atteint les îles des Caraïbes, puis les côtes du Pérou et du Chili. Vers la fin du XIXe siècle, des rejets de palmier dattier ont été ramenés d'Afrique du Nord et d'Irak, puis plantés dans diverses régions telles que la Californie, la Floride et le Mexique [22].

À l'exception de la Palestine, où le palmier était principalement utilisé à des fins décoratives en raison du climat peu propice à la maturation des fruits, le palmier dattier jouait un rôle économique crucial dans les sociétés égyptienne et assyrienne. Il était vénéré comme "le roi des arbres" et était fréquemment représenté dans leurs écrits et leurs œuvres d'art (Fig. 1). Sur le plan religieux, le palmier dattier est mentionné dans les textes sacrés de plusieurs religions, notamment dans ceux des religions abrahamiques comme le Coran et la Bible [23], [24].

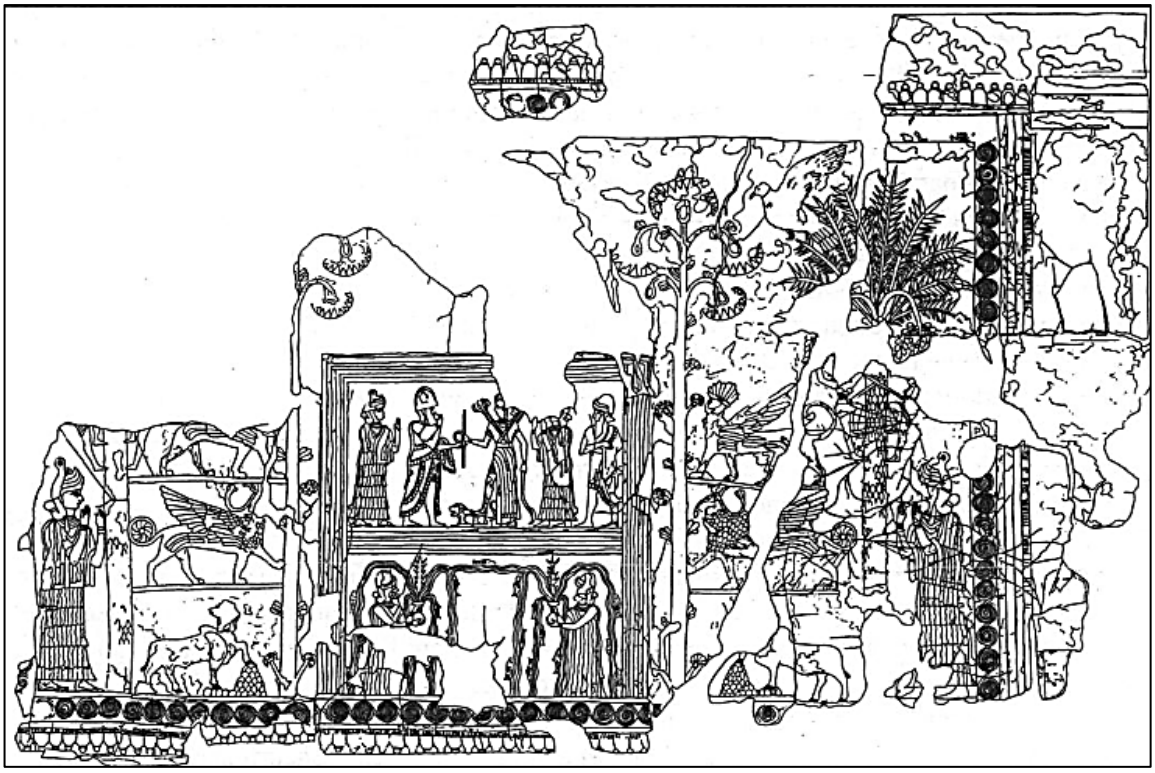


***Fig. 1**: Représentation de la fresque de l'Investiture ornant la façade méridionale de la cour du Palmier à Mari, datant du début du deuxième millénaire avant notre ère, située en Syrie [23]*

1.2. DESCRIPTION

Le palmier dattier (Fig. 2 et 3), une plante diploïde (2n = 2x = 36), est une espèce vivace et monocotylédone, constituant le membre le plus imposant de la famille Phoenix. Il génère des rejets à sa base pendant ses premières années de croissance. Ses feuilles, pennées et dressées, se caractérisent par de nombreuses folioles rigides. Le rachis est pourvu d'épines larges et pointues de chaque côté. La couronne d'un palmier adulte est généralement moyennement dense. Les dimensions et le développement effectif du système racinaire d'un palmier dattier sont influencés par des facteurs externes tels que la nature du sol, la présence d'eau souterraine et les pratiques agricoles adoptées [4].

Sa classification comme présentée par Zaid et *al*. [25], est :

- **Groupe** : Spadiciflores
- **Ordre** : Palmales
- **Famille** : Palmacées (ou Arécacées)

- **Sous-famille** : Coryphoideae
- **Tribu** : Phoeniceae
- **Genre** : Phoenix
- **Espèce** : Dactylifera L.

Le tableau 1 présente un récapitulatif des caractéristiques du palmier dattier.

Tableau 1*: Caractéristiques du palmier dattier [4]*

Description	**Valeur numérique**
Hauteur maximale d'un palmier dattier mature	30 mètres
Diamètre de la tige	40-50 cm
Durée de vie d'une feuille	3-7 ans
Nombre de nouvelles feuilles produites chaque année	12
Maturité sexuelle par noyaux	5-7 ans
Durée du développement du fruit	200 jours
Taille du fruit	4-7 x 2-3 cm
Rendement par palmier adulte	20-100 kg
Durée de vie économique d'une plantation	50 ans

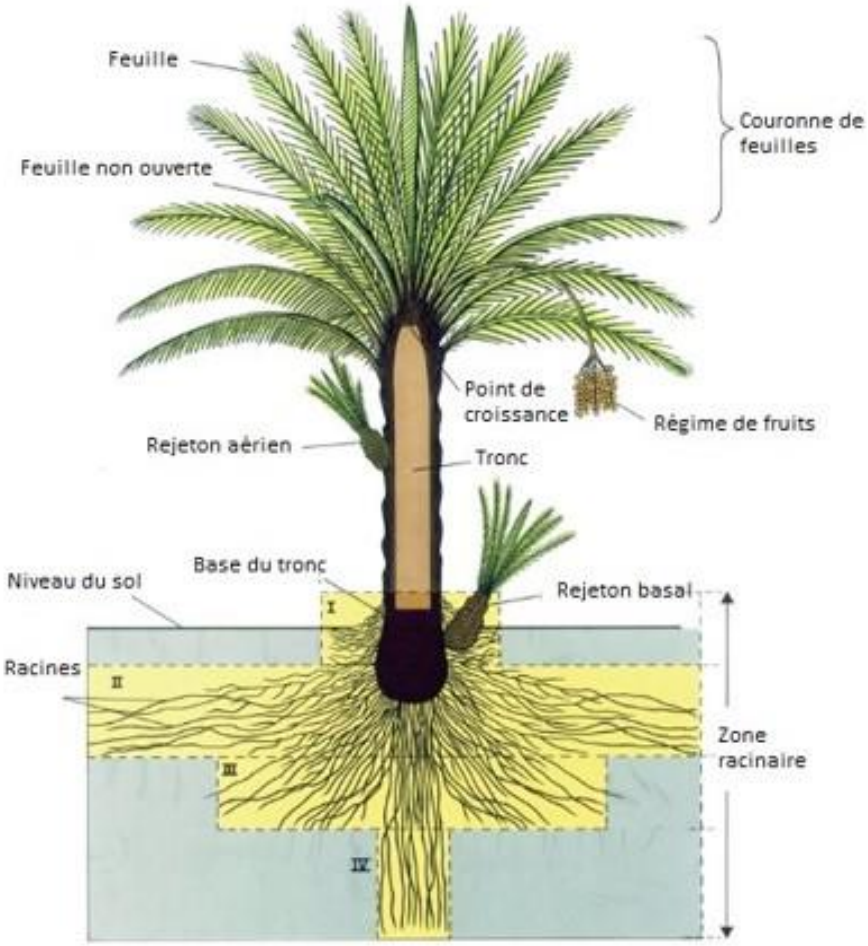


***Fig. 2**: Figuration schématique du palmier dattier [4] d'après Munier [21]). I : racines de respiration, II : racines de nutrition, III et IV : racines d'absorption*

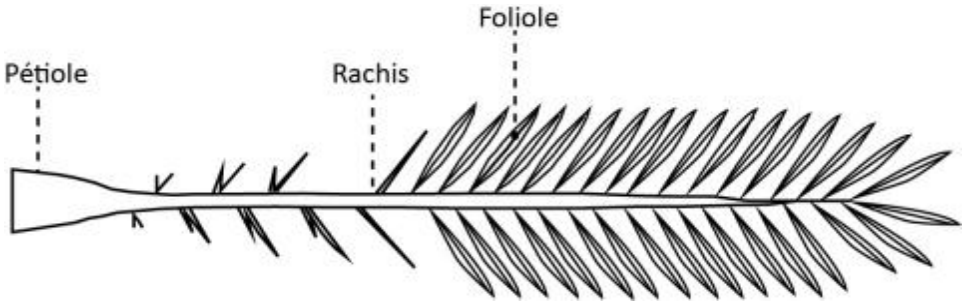


***Fig. 3**: Schéma d'une palme de Phoenix dactylifera [21]*

1.3. EXIGENCES CLIMATIQUES

Le proverbe arabe « قدمها في الماء الجاري ورأسها في نار السماء », traduit en français par « Ses pieds dans l'eau courante et sa tête dans le feu du ciel », résume, en quelque sorte, les conditions de culture du palmier dattier. Bien que le palmier dattier soit une plante robuste et puisse s'adapter à des conditions environnementales difficiles, comme le montre le tableau 2, il n'est cependant ni halophyte, ni xérophyte, ni arénacé, ni aquatique, malgré la présence de pneumatophores racinaires.

***Tableau 2**: Tolérances environnementales du palmier dattier adapté des données du Kwaasi [8]*

Paramètre	Minimum	Maximum
Température (°C)	-8 (courtes périodes)	50+ (peut survivre)
Précipitations (mm)	31	403
Humidité	Basse	Haute
pH du sol	5	8,2
Salinité du sol (sels alcalins)	<1%	Variétés tolérantes disponibles

Kwaasi [8] et Zaid et *al.* [25] dans leurs livres expliquent plus en détail les interactions du palmier dattier avec les différentes conditions climatiques de son environnement :

1.3.1. TEMPERATURE

Dans des conditions d'extrême froid (-9 à -15°c), les feuilles sont endommagées, et les chances d'une mauvaise qualité de fruits sont élevées. On peut également s'attendre à une floraison médiocre. Les conditions optimales pour la floraison seront dans une longue période de sècheresse et de chaleur. Tandis que pour murir, le fruit a besoin d'une température moyenne de 30°c.

1.3.2. PLUIE ET HUMIDITE

La pluie pendant la période de floraison peut réduire l'efficacité de la pollinisation, elle est responsable de l'augmentation de l'humidité relative ce qui peut favoriser l'apparition de maladies comme khamedj (*Mauginiella schaettae*). Cependant la pluie peut être bénéfique au début du stade Khalal car elle peut laver et enlever le sable et la poussière du fruit. Mais

il faut souligner aussi que la sensibilité envers la pluie et l'humidité varie d'une variété à une autre et que Deglet Nour, ghars et yatima font partie des plus sensibles.

Comme mentionné plutôt, l'humidité atmosphérique a un impact important sur la culture du palmier dattier, lorsque l'humidité est élevée, les maladies fongiques telle que la graphiola deviennent plus fréquentes, dans le cas contraire, lorsque l'humidité atmosphérique est basse, les maladies fongiques sont absentes, tandis que les attaques de ravageurs et d'acariens sont dominantes.

La qualité de la datte est aussi influencée par l'humidité au cours de la maturation, avant le stade Khalal, la peau du fruit présente plusieurs fissures avec un noircissement sur les bords (blacknose), les fruits tendres tombent au sol et perdent par conséquent leur valeur commerciale. Les fissures de la Deglet Nour par exemple se produisent principalement près de l'extrémité du fruit. Au cours du stade rutab, le fruit absorbe l'humidité et a tendance à devenir collant et plus difficile à manipuler. Mais l'humidité de l'air ne présente aucun risque une fois le stade tamar atteint.

1.3.3. VENT

Le palmier dattier peut résister à des vents d'été forts, chauds et poussiéreux. Cependant, le vent transporte de la poussière et du sable qui adhèrent aux dattes à leur stade tendre (rutab et tamar). Lorsque les fruits sont en phase de développement précoce (vert/Habakouk), des taches presque noires et indurées sont parfois visibles sur le fruit en raison du vent battant les fruits tendres contre les frondes rigides.

Les vents chauds et secs conduisent à un séchage plus rapide des styles, raccourcissant le temps nécessaire pour que le pollen atteigne l'ovule. Les vents froids perturbent la germination du pollen. La vitesse du vent peut également influencer l'efficacité de la pollinisation ; les vents légers sont bénéfiques et favorisent la pollinisation, tandis que les vents à grande vitesse emportent une grande partie du pollen, en particulier sur les palmiers situés aux bords de la plantation. Dans certains cas, un vent fort peut également casser la tige du fruit de l'inflorescence (rachis), bloquant le mouvement des nutriments et entraînant finalement la mort de la grappe. On a également suggéré que les acariens sont transportés de palmier en palmier par le vent il est fortement recommandé de planter des brise-vent un à deux ans avant l'établissement de toute plantation commerciale de palmiers dattiers

1.3.4. SOL

Le palmier dattier se distingue par sa capacité à prospérer dans une large variété de sols. Cette adaptabilité est d'une importance capitale pour la gestion de l'irrigation, qui varie selon le type de sol et peut inclure l'irrigation au goutte-à-goutte, la micro-aspersion ou l'irrigation par inondation [26].

Cependant, la culture du palmier dattier est confrontée à un défi majeur : le stress salin. Si cet arbre fruitier est plus tolérant au sel que la plupart des autres cultures et peut survivre dans des sols salins jusqu'à un certain point (conductivité électrique de 4,0 mmho cm-1), une salinité excessive due à l'irrigation avec de l'eau saumâtre peut causer une chute significative de sa productivité [27].

1.3.5. REPONSES AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le changement climatique est modélisé de différentes manières avec des hypothèses et des conclusions divergentes. Les scénarios les plus probables prévoient des augmentations des températures moyennes et extrêmes, mais l'ampleur de ces changements varie selon les modèles. En revanche, l'effet sur les précipitations n'est pas aussi bien compris et varie selon la région géographique de la terre. Les palmiers dattiers étant adaptés aux températures élevées et à l'humidité faible, les augmentations de température auront probablement moins d'effet sur eux que sur la plupart des autres cultures. Certaines zones productrices de dattes en Afrique du nord, en Iran, en Irak et en Arabie saoudite pourraient ne plus convenir à la production de dattes dans moins de 100 ans, tandis que certaines zones en Amérique du nord et du sud deviendront plus propices. Il y a également des prédictions que certaines zones en Espagne qui ne sont pas actuellement adaptées à la culture des dattes peuvent devenir appropriées [4]. Des ajustements de l'abondance des protéines liées à la machinerie photosynthétique, au stress abiotique et au métabolisme secondaire peuvent améliorer l'adaptation du palmier dattier aux conditions extrêmes selon une étude menée par Ghirardo et *al.* [28]. L'étude montre également que la plasticité des protéines des feuilles confère au palmier dattier une tolérance à la chaleur et à la sécheresse.

1.4. CULTURE DU PALMIER DATTIER

Pour avoir un bon rendement et des dattes de bonne qualité, le choix des pratiques agricoles est crucial et déterminant.

1.4.1. IRRIGATION

L'irrigation influence considérablement la qualité des fruits de datte. Une irrigation adéquate ou déficitaire peut avoir aussi un impact sur le rendement. Une sur-irrigation peut entraîner une baisse de la qualité des fruits en raison d'un excès d'eau, tandis qu'une sous-irrigation peut avoir un impact négatif sur le rendement et la qualité des fruits en raison du stress hydrique. Les pratiques d'irrigation idéales pour les palmiers dattiers nécessitent une combinaison de méthodes adaptées à divers paramètres tels que l'emplacement, le type de sol, les conditions environnementales et les variétés spécifiques de dattes. Bien que l'irrigation goutte-à-goutte soit largement utilisée pour son efficacité, l'utilisation conjointe de l'irrigation goutte-à-goutte et de l'irrigation par submersion peut contribuer à gérer les problèmes de salinité et à améliorer l'absorption d'eau, ce qui se traduit par une meilleure qualité des fruits. L'irrigation de précision consiste à fournir la quantité d'eau adéquate au bon moment en fonction des besoins spécifiques des arbres, en tenant compte de divers facteurs tels que l'évapotranspiration, l'âge des arbres, le stade de croissance, la salinité de l'eau, les conditions climatiques locales, les niveaux d'oxygène dans le sol, la salinité dans la zone racinaire et la profondeur de la zone racinaire active [26], [29].

Le type de sol joue un rôle significatif dans les pratiques d'irrigation des palmiers dattiers. Les différentes caractéristiques des sols, telles que leur capacité de rétention d'eau, leur taux d'infiltration et leurs propriétés de rétention d'eau, ont un impact sur la manière dont l'irrigation est réalisée. Par exemple, les sols sablonneux ont tendance à avoir une faible capacité de rétention d'eau et des taux d'infiltration élevés, ce qui les rend sujets aux pertes d'eau par percolation profonde. En revanche, les sols argileux ont une capacité de rétention d'eau plus élevée et des taux d'infiltration plus faibles, ce qui les rend plus sujets à l'engorgement et à l'accumulation de salinité. En fonction de ces caractéristiques, le choix de la méthode d'irrigation, la fréquence et le volume d'irrigation sont adaptés. Par exemple, l'irrigation goutte-à-goutte est souvent préférée pour les sols sablonneux, tandis que les méthodes d'irrigation de surface comme l'irrigation par bassin ou par sillon conviennent mieux aux sols argileux. De plus, le type de sol influence le besoin de lessivage, c'est-à-dire la quantité d'eau nécessaire pour éliminer les sels en excès de la zone racinaire. Ce besoin est plus important dans les sols sablonneux que dans les sols argileux. Ainsi, il est crucial d'adapter le calendrier et le volume d'irrigation en fonction du type de sol afin d'optimiser

l'utilisation de l'eau et le rendement des cultures, tout en réduisant les risques d'engorgement, d'accumulation de salinité et de lessivage des éléments nutritifs [30].

1.4.2. FERTILISATION

La fertilisation joue un rôle crucial dans le rendement et la qualité des fruits de dattes. Une étude menée par Ghazzawy et *al*. [31] suggère que l'utilisation d'engrais potassique, tel que le sulfate de potasse, peut influencer le classement des fruits, tandis qu'un apport insuffisant en azote peut entraîner un gonflement ou une séparation de la peau. Cette recherche a révélé que l'application de doses d'engrais sulfate de potasse de 5 et 7,5 kg par palmier, ainsi que la conservation de 8 à 10 régimes de fruits par palmier, ont eu des effets significativement positifs sur le rendement en fruits et les caractéristiques de qualité.

Une autre étude menée par Dialami & Mohebi [32], a démontré que le meilleur traitement de fertilisation pour améliorer la qualité des fruits du palmier dattier de la variété 'Sayer' était une combinaison de niveaux d'azote, de phosphore et de potassium. Ce traitement a entraîné des améliorations significatives dans divers paramètres de qualité des fruits tels que le poids frais, la longueur, le volume du fruit, le poids de la pulpe et le rapport poids de la pulpe/poids du noyau. De plus, le traitement 6 a permis de réduire le taux de sucre et le contenu total en sucre dans les fruits.

Une autre étude menée par Kassem & Marzouk [33] a comparé la fertilisation organique et minérale, constatant que la fertilisation minérale, qui implique l'application d'engrais synthétiques ou inorganiques contenant des nutriments spécifiques tels que l'azote, le phosphore et le potassium, peut avoir un impact direct sur la qualité des fruits en fournissant des nutriments essentiels pour la croissance et le développement des plantes. Cependant, une utilisation excessive d'engrais minéraux peut entraîner des déséquilibres nutritionnels, la dégradation du sol et des problèmes environnementaux tels que la pollution de l'eau. D'autre part, la fertilisation organique, qui utilise des matériaux naturels tels que le compost, le fumier et les résidus végétaux, améliore la qualité des fruits en améliorant la structure du sol, en augmentant la disponibilité des nutriments et en favorisant l'activité microbienne bénéfique. De plus, les engrais organiques contribuent aux pratiques agricoles durables en réduisant la pollution environnementale et en améliorant la santé à long terme du sol.

Le choix entre la fertilisation organique et minérale dépend de divers facteurs tels que le type de sol, le type de culture, les considérations environnementales et les caractéristiques de qualité des fruits souhaitées.

1.4.3. GESTION DES REGIMES

La gestion des régimes joue également un rôle crucial dans la qualité des dattes. L'utilisation de différents types de sacs, tels que le polypropylène, pour envelopper les régimes de dattes peut influencer le temps de maturation, le rendement commercialisable et la qualité des fruits. De plus, aucune maladie n'a été observée. Toutes les couvertures utilisées ont réduit les dommages causés par les oiseaux, les maladies fongiques et les guêpes [34]. Des études ont révélé que l'enveloppement des spathes des cultivars de dattes "Zaghloul" et "Samani" pendant les périodes de floraison et de formation des fruits avait un effet positif sur la nouaison, le rendement et les caractéristiques physiques et chimiques des fruits. De même, l'enveloppement des régimes avec divers matériaux et couleurs un mois après la pollinisation jusqu'à la récolte a accéléré le processus de maturation des dattes "Helali". L'utilisation de tissu grillagé et de papier kraft pour l'enveloppement a significativement amélioré les solides solubles totaux, les sucres totaux et les sucres réducteurs [33], [35].

Les couvertures en papier, enroulées autour du régime et attachées à la tige du fruit, pourraient être utilisées en conjonction avec un programme de pesticides, car la partie inférieure du régime n'est pas recouverte. Un enveloppement précoce des régimes peut entraîner des brûlures solaires des jeunes fruits externes une fois la couverture retirée. Pour des variétés telles que Khadrawy et Hallawy, qui ont une couronne relativement ouverte, il a été observé que les couvertures en papier blanc causent moins de brûlures solaires que celles en papier brun [25].

L'éclaircissage des régimes est un autre aspect crucial de la gestion de la qualité des dattes. Réduire le nombre de fruits par régime augmente la taille et le poids, et dans une certaine mesure, améliore la qualité du fruit. Cependant, toutes les méthodes de réduction du nombre de fruits par régime ont cet effet, et il n'y a pas de corrélation positive entre la taille des fruits et leur qualité [25].

Les palmiers dattiers doivent être taillés pour permettre la croissance de nouvelles feuilles, prévenir les infestations de rongeurs et d'insectes, et faciliter la pollinisation, la nouaison et la récolte [8].

1.4.4. PROPAGATION

Les dattes sont cultivées selon diverses méthodes, Siddiq et Greiby [36] et Zaid et *al*., [25] ont abordé la propagation par graines, par rejets et par la techniques de culture de tissus.

Bien que la propagation par graines soit utile pour l'élevage, elle est déconseillée pour la propagation végétative des palmiers dattiers en raison de ses limitations : impossibilité de déterminer le sexe ou la qualité des fruits avant la floraison, production de fruits à maturation tardive et de qualité variable, ainsi que perte des caractéristiques parentales souhaitables dans la progéniture.

La propagation par rejets, méthode traditionnelle, consiste à propager les palmiers dattiers à partir de rejets poussant à la base des arbres matures, garantissant ainsi une propagation fidèle à la variété et le rejet produira des fruits plus tôt que les plants issus de graines, ce qui en fait la méthode la plus courante dans les plantations commerciales. La propagation à partir des rejets présente également des inconvénients : elle est limitée par la durée de la phase végétative (jusqu' a 10 à 15 ans), elle donne un nombre limité de rejets et dans certains cas un faible taux de survie. De plus, elle favorise la propagation des maladies et des ravageurs.

La propagation des palmiers dattiers par culture de tissus se distingue des méthodes traditionnelles de plusieurs manières. La culture de tissus, une forme de propagation asexuée, implique la culture de cellules, de tissus ou d'organes végétaux sur un milieu nutritif dans des conditions stériles. Cette méthode permet la production rapide d'un grand nombre de plantes génétiquement identiques à partir d'une seule plante parentale. En comparaison, les techniques de culture de tissus offrent plusieurs avantages par rapport aux méthodes traditionnelles, notamment la capacité à maintenir et à préserver des caractéristiques génétiques fidèles à la variété, la production rapide de matériaux de plantation uniformes, ainsi que la possibilité de produire des plantes de manière sûre et efficace. L'utilisation croissante des techniques de culture de tissus dans la propagation des palmiers dattiers est devenue essentielle en raison de la demande croissante de dattes de haute qualité et de la nécessité de cultivars de dattes résistants à la salinité élevée et aux maladies.

1.4.5. POLLINISATION

Même s'il existe de rare exception de palmier hermaphrodite, le palmier dattier est en générale une plante dioïque (fig. 4) c'est-à-dire que les fleurs mâles et femelles sont portées par des arbres différents. Le palmier dattier est naturellement pollinisé par le vent, ces palmiers peuvent également être pollinisés par des insectes. En production commerciale, la pollinisation artificielle est préférée pour maximiser les rendements. Cette méthode ancestrale, employée depuis des millénaires, implique la collecte du pollen de quelques palmiers mâles pour l'appliquer sur les fleurs des palmiers femelles. Un taux de pollinisation de 60 à 80% des fleurs femelles est généralement suffisant pour assurer une bonne récolte de fruits. Cependant, la capacité de production fruitière peut varier selon les cultivars. Parfois, il peut y avoir une incompatibilité partielle entre certains cultivars mâles et femelles, entraînant des rendements moindres. Chaque fleur ne peut féconder qu'un seul ovule, donnant ainsi naissance à un unique fruit. Les fleurs naissent sur un pédoncule plat, appelé "tige à fruits" chez les palmiers femelles, qui se transforme en fruits une fois fécondées. La période de floraison dure entre 50 et 60 jours, après quoi le pédoncule s'allonge pour exposer les fruits [37].

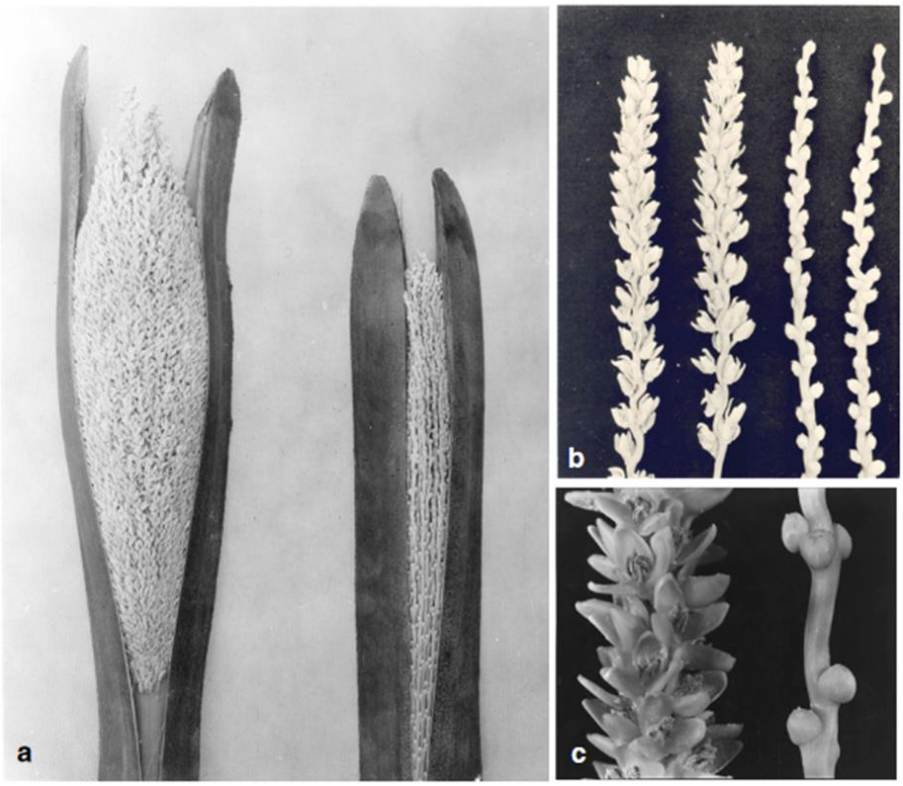


***Fig.4**: Fleurs mâles (gauche) et femelles (droite) du palmier dattier (Phoenix dactylifera L). (a) Fleurs dans la spathe ; (b) Inflorescence ; (c) Gros plan [4]*

1.5. ASPECTS GENETIQUE DES DATTES

1.5.1. ORIGINES

Comme mentionné précédemment dans l'aperçu historique, les études génétiques ont identifié deux origines distinctes du palmier dattier définies en fonction de leur proximité spatiale et génétique. La région i comprend la Mauritanie, l'Algérie, le Maroc, la Tunisie et l'Égypte ; la région ii comprend Djibouti, Oman, les émirats arabes unis, l'Irak et le Pakistan (fig. 5) [18], [38]. Les variétés d'Afrique du nord présentent une plus grande diversité en termes de texture de fruit, avec 52 % de dattes molles et 31 % de dattes sèches. En revanche, on observe une nette prédominance des dattes molles au Moyen-Orient, avec 77 %, tandis que les dattes sèches ne représentent que 7 %[39].

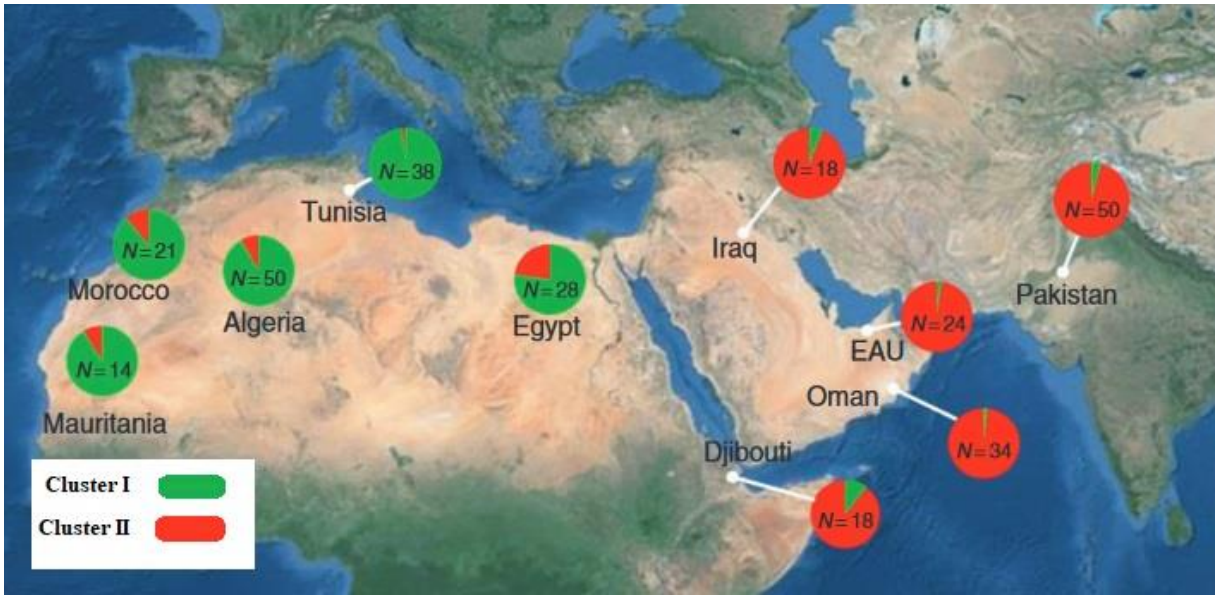


Fig. 5: *répartition spatiale et génétique palmiers dattiers [18]*

1.5.2. VARIATIONS GENETIQUES DES DATTES

La génétique joue un rôle significatif dans la détermination de la qualité des dattes (*Phoenix dactylifera*). La recherche indique que la variation génétique entre différents cultivars de palmiers-dattiers influence divers traits phénologiques et biochimiques, impactant finalement la qualité des fruits. En effet, des études ont été menées afin d'identifier les gènes différentiellement exprimés au cours du développement et de la maturation des dattes. Ces recherches ont révélé que les gènes impliqués dans la synthèse de l'amidon et du saccharose sont fortement exprimés jusqu'au stade vert à pleine taille, soit au milieu du développement du fruit (75 jours après la pollinisation « jap »), tandis que les gènes associés au métabolisme

ultérieur des sucres sont davantage activés aux stades ultérieurs de la maturation des fruits (120-135 jap). Il est suggéré que les cultivars de dattes à haute teneur en saccharose soient associés à la délétion d'un gène homozygote récessif codant pour la β-fructofuranosidase (invertase) ; c'est le cas de la variété Deglet Noor chez laquelle on a observé une délétion couvrant deux des trois copies du gène de l'invertase. L'allèle de délétion de l'invertase, principalement associé aux cultivars d'Afrique du nord, semble s'être propagé à certains cultivars orientaux tels que Sukary et Naboot Ali [40].

Les recherches génétiques menées sur le palmier dattier ont réussi à identifier les gènes qui contrôlent la détermination du sexe, la variation de couleur des fruits et la teneur en sucre chez les dattiers, apportant ainsi des éclaircissements sur les bases génétiques de ces traits cruciaux qui contribuent à la qualité des dattes [41].

1.5.3. APPLICATIONS BIOTECHNOLOGIQUE

L'intervention de la biotechnologie peut fournir des solutions commerciales et renforcer encore davantage la résistance aux facteurs de stress abiotiques (tels que la sécheresse et la salinité du sol) et biotiques (comme les maladies, les ravageurs, les parasites). L'objectif principal découle de l'évolution continue de la phœniciculture et de la concurrence entre les producteurs, mettant l'accent sur l'amélioration de la qualité et l'augmentation du rendement en augmentant le nombre de régimes par palmier. Les méthodes biotechnologiques incluent l'introduction de nouvelles variations génétiques, l'identification et la sélection de caractères désirables, le développement de variétés résistantes aux stress environnementaux, la conservation du germoplasme, l'augmentation de la productivité et de la qualité des fruits, ainsi que l'amélioration de la valeur nutritionnelle et des propriétés pharmaceutiques des dattes sont envisagées comme une future direction de la biotechnologie des dattes [42].

1.6. REPARTITION ET PRODUCTION DES DATTES

1.6.1. A L'ECHELLE MONDIALE

Selon les données de la FAO [1], la superficie récoltée du palmier dattier a dépassé 1 270 000 hectares en 2022, dont 78 % se situe dans le monde arabe. L’Irak occupe la première position mondiale avec 21,9 %, suivi par l’Algérie avec 13,86 %, équivalant à 176 044 hectares (tableau. 3).

Il est important de noter que la chine, incluse dans les données de la FAO ne produit pas le vrai palmier dattier *Phoenix dactylifera* mais plutôt *Zizyphus jujuba* selon Johnson et *al.* [14], l'auteur remet également en question les données de la Turquie et de l'Albanie.

En termes de production, en 2022, environ 9,75 millions de tonnes sont produites dans le monde. L'Algérie se classe en 3ème position avec 12,8 % de la production mondiale (tableau. 3) et en 17ème position en termes de rendement, avec environ 7 tonnes par hectare, loin derrière l'Égypte qui occupe la 1ère position avec plus de 1,7 million de tonnes, soit 29,6 tonnes par hectare.

***Tableau 3**: Production mondiale et surface récoltée (ha) en 2022 par pays selon la FAO [1]*

N°	Area	Production (t)	Area harvested (ha)	Yield (kg/ha)
1	Egypt	1847629,0	74413,0	24829,4
2	Saudi arabia	1610731,0	156460,0	10294,8
3	Algeria	1244466,9	175454,0	7092,9
4	Iran	1030459,7	125384,0	8218,4
5	Iraq	710989,0	280235,0	2537,1
6	Sudan	442722,4	37056,0	11947,5
7	Oman	376980,0	26355,0	14303,7
8	Tunisia	369000,0	77948,0	4733,9
9	United arab emirates	351426,0	40687,0	8637,3
10	Pakistan	228555,0	94866,0	2409,2
11	Libya	182327,4	33577,0	5430,1
12	China	161120,8	12382,0	13012,5
13	Morocco	137393,8	65432,0	2099,8
14	Kuwait	103500,0	3470,0	29831,0
15	Türkiye	97560,0	4713,0	20698,9
16	Yemen	67064,5	15003,0	4470,0
17	Occupied palestinian territory	67000,0	5338,0	12551,5
18	United states of america	58510,0	6313,0	9268,2
19	Qatar	33886,0	2824,0	11999,3

20	Jordan	29526,8	4400,0	6710,8
21	Mauritania	22133,9	9168,0	2414,1
22	Chad	21718,0	10445,0	2079,2
23	Palestine	20854,9	2575,0	8097,5
24	Mexico	19465,0	2456,0	7924,8
25	Niger	17158,2	5390,0	3183,6
26	Albania	14868,0	490,0	30342,9
27	Somalia	14250,8	2767,0	5149,5
28	Bahrain	14000,0	1961,0	7139,2
29	Syrian arab republic	2382,0	408,0	5838,2
30	Namibia	1691,4	664,0	2548,4
31	Benin	1448,3	583,0	2482,6
32	Kenya	1085,5	479,0	2264,9
33	Mali	714,9	76,0	9372,2
34	Cameroon	587,2	162,0	3619,4
35	Peru	481,0	156,0	3078,5
36	Eswatini	309,7	97,0	3182,3
37	Djibouti	130,4	51,0	2546,2
38	Colombia	56,0	8,0	7000,0

1.6.2. EN ALGERIE

Les données suivantes sont une analyse des informations fournies par le ministère de l'agriculture et du développement rural dans le rapport de 2021 [3].

Au cours des six dernières décennies, le domaine de la phœniciculture a enregistré une évolution significative en ce qui concerne la production, le rendement et la surface récoltée (fig. 6).

La superficie totale dédiée aux palmiers dattiers en Algérie s'élève à 167 716 hectares, répartis sur 16 wilayas productrices de dattes. Les wilayas de Biskra et el-oued représentent à elles seules 47,61% de cette superficie, soit environ 79 847 hectares. En incluant

Tamanrasset, Ghardaïa, Bechar, Ouargla et adrar, ces 7 wilayas représentent 97,27% de la superficie totale consacrée aux palmiers dattiers en Algérie.

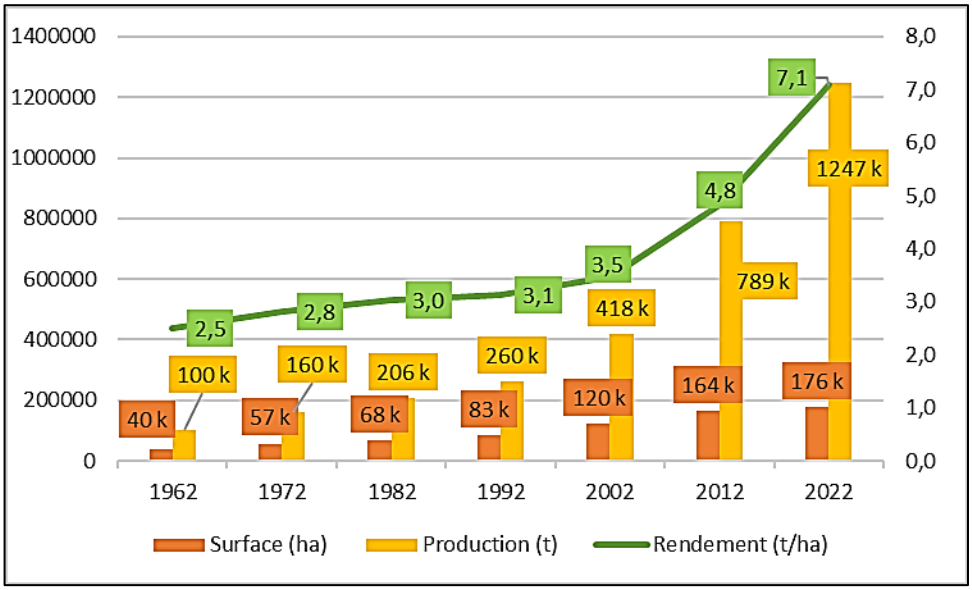


***Fig.6**: évolution de la superficie récoltée, de la production et du rendement du palmier dattier au fil des ans [3]*

Le palmier dattier est une culture à forte incidence économique dans plusieurs wilayas, comme en témoigne la part de superficie qu'il occupe par rapport à d'autres cultures. À adrar, par exemple, il représente 98,1% de la superficie totale cultivée (fig. 7).

Le nombre total de palmiers quantifiés en 2019 est ainsi de 16 508 912 palmiers, avec une production de 11 360 249 quintaux, répartie entre différentes variétés de dattes comme illustré dans la fig. 8.

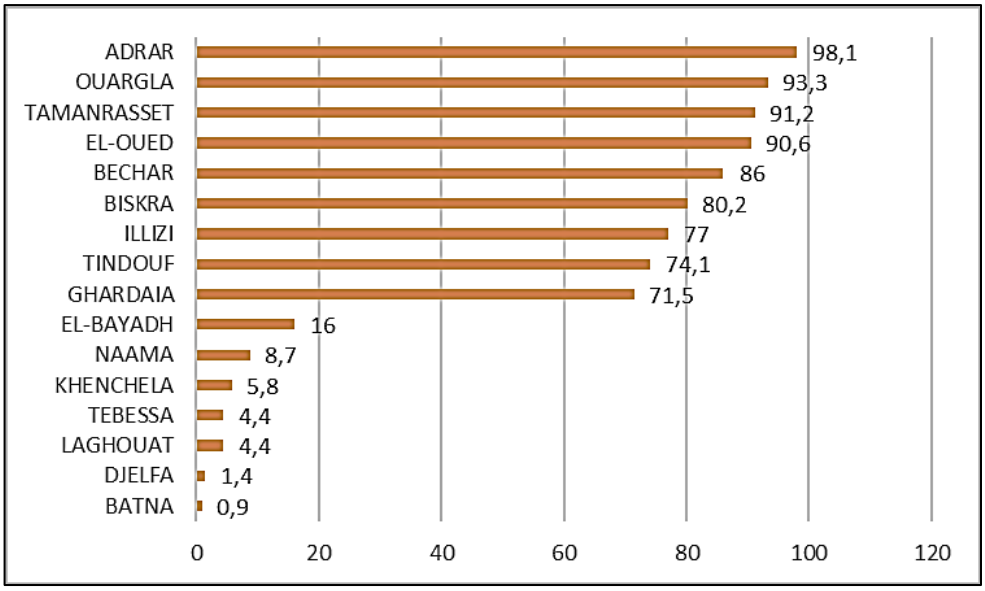


***Fig. 7**: superficie occupée par le palmier dattier par rapport à d'autres plantations (%) [3]*

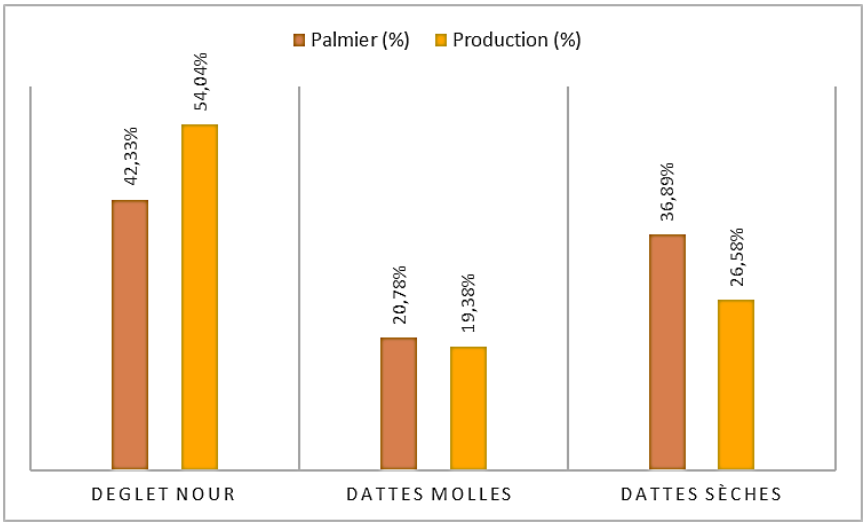


***Fig. 8**: répartition des types de dattes en pourcentage par rapport à la production et au nombre de palmiers [3]*

Les palmiers de la variété "Deglet Nour" affichent le rendement le plus élevé, avec 87,9 kg par palmier, comparé aux dattes molles (64,2 kg par palmier) ou aux dattes sèches (49,6 kg par palmier), avec une augmentation significative du rendement des dattes molles par rapport aux statistiques de l'année 2018.

Le tableau 4 illustre la variété dominante en termes de nombre de palmiers dans les wilayas productrices

***Tableau 4**: La répartition des palmiers dattier selon les variétés dominante [3]*

	Deglet Nour	**Dattes molles**	**Dattes sèches**
Djelfa	76%	17%	7%
Naama	7%	93%	/
El-bayadh	10%	37%	54%
Batna	35%	29%	36%
Laghouat	29%	40%	32%
Tebessa	54%	46%	/
Tindouf	/	97%	3%
Illizi	4%	60%	37%
Khenchela	38%	53%	10%
Tamanrasset	/	/	100%
Bechar	/	82%	18%
Ghardaia	41%	16%	43%
Ouargla	53%	40%	6%
Adrar	/	/	100%
El-oued	65%	19%	17%
Biskra	62%	13%	25%

Selon la même source, la variété Deglet Nour est produite dans 12 wilayas, avec un total de 6 139 055 quintaux enregistrés en 2019. Cependant, quatre wilayas se distinguent en tant que principales productrices de cette variété : Biskra (50%), El-oued (30%), Ouargla (15%) et Ghardaïa (4%).

1.6.3. Les pertes de la chaine alimentaires

En parallèle de l'augmentation de la production et du rendement des dattes, un autre aspect préoccupant est la perte dans la chaîne alimentaire (tableau. 5). D'après GFDE [43], les pertes et gaspillages dus à une manipulation inadéquate, à la détérioration, au manque de réfrigération et aux dommages du champ jusqu'au point de vente ont atteint leur pic en 2021 en Algérie, totalisant 48 000 tonnes, soit environ 4 % de la production nationale. Ceci souligne la nécessité de prendre des mesures pour améliorer la gestion de la chaîne alimentaire.

***Tableau 5**: Les pertes de dattes dans les chaînes d'approvisionnement [43]*

N°	Country	Supply chain waste (t)	N°	Country	Supply chain waste (t)
1	Egypt	175000	17	Turkey	6000
2	Iraq	152000	18	Niger	5000
3	Iran	143000	19	Mexico	4000
4	Sudan	51000	20	Qatar	4000
5	**Algeria**	**48000**	21	United states	4000
6	Oman	39000	22	Mauritania	3000
7	United arab emirates	28000	23	Bahrain	2000
8	China	18000	24	Chad	2000
9	Pakistan	18000	25	Jordan	2000
10	Tunisia	17000	26	Albania	1000
11	Saudi arabia	16000	27	Djibouti	1000
12	Kuwait	13000	28	Israel	1000
13	Morocco	13000	29	Italy	1000
14	Libya	11000	30	Kenya	1000
15	Yemen	8000	31	Netherlands	1000
16	France	7000	32	United kingdom	1000

2. LA DATTE

2.1. DEFINITION

Les dattes, issues du palmier dattier, peuvent être consommées soit fraîches soit séchées, et elles sont une excellente source de fibres alimentaires, de glucides et d'antioxydants. Les dattes ont généralement une forme ovale ou cylindrique, et leurs dimensions, couleur et texture varient selon le cultivar. Elles se présentent sous la forme d'une drupe. Selon la description de Alam et *al*. [40], un fruit de datte se compose de plusieurs parties (fig. 9), notamment :

- Le péricarpe : il est composé de trois structures anatomiques :
  - L'exocarpe ou épicarpe, qui est une fine couche de peau et de cellules associées.
  - Le mésocarpe : c'est la partie charnue du fruit, qui représente la majeure partie de sa masse. Il est constitué de cellules parenchymateuses et est divisé en deux zones :
    - Le mésocarpe externe : il est plus ferme et contient des fibres.
    - Le mésocarpe interne : il est plus tendre et sucré.
  - L'endocarpe : c'est la couche interne du fruit qui protège la graine.
- La graine : c'est la partie reproductive du fruit, qui contient l'embryon. Elle est également appelée noyau.

La graine de datte présente un sillon ventral de profondeur et de largeur variables. Le côté dorsal de la graine est convexe et possède un petit trou appelé micropyle, sous lequel se trouve l'embryon. Les graines de différentes variétés de dattes se distinguent par la profondeur du sillon et la position du micropyle (central ou périphérique) [44].

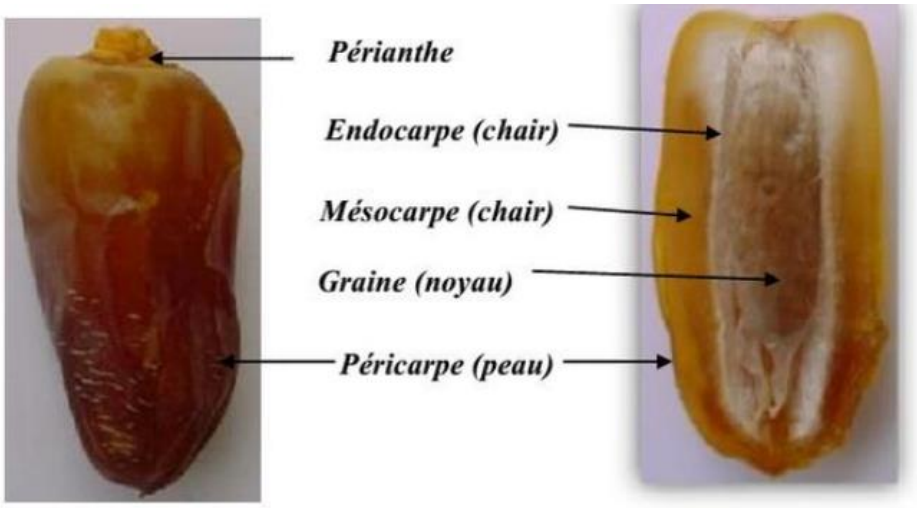


***Fig.9**: Structure anatomique de la datte, variété Aharetan [45]*

2.2. STADES PHENOLOGIQUE

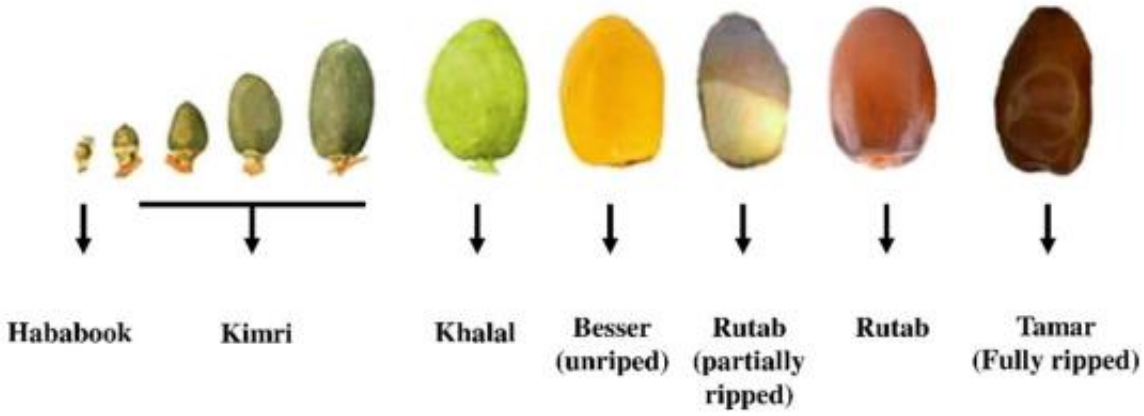


***Fig. 10**: Stades de maturation des fruits du palmier dattier[46]*

Le palmier dattier ne fructifie qu'une fois par an. Après la pollinisation, les fruits passent par cinq stades de développement distincts avant d'atteindre leur pleine maturité (fig. 10). L'ensemble du processus est long et dure environ sept mois comme l'expliquent Baliga et *al*. [46], Zaid et *al*. [25] :

2.2.1. Stade hababouk

Le stade hababouk est le premier stade de développement de la datte après la fertilisation. Il dure de quatre à cinq semaines. Les fruits sont alors immatures et entièrement recouverts par le calice, seule l'extrémité pointue de l'ovaire étant visible. À ce stade, le fruit a la taille d'un pois et pèse environ un gramme.

2.2.2. Stade khimri (stade vert)

Le stade khimri est le stade de développement le plus long, d'une durée totale de neuf à quatorze semaines. C'est au cours de ce stade que la petite baie se transforme en la forme oblongue caractéristique de la datte. Le fruit est vert, assez dur, et sa composition en poids sec est de 80 % d'humidité et 50 % de sucres (glucose et fructose). Il est généralement amer et impropre à la consommation.

2.2.3. Stade Khalal (stade de la couleur)

Le stade Khalal est caractérisé par un changement de couleur du fruit, qui passe du vert au jaune verdâtre, jaune, rose, écarlate ou rouge selon la variété. Cette étape dure six semaines et le fruit est alors physiologiquement mûr, dur et croquant. Il atteint son poids et sa taille maximaux à la fin de ce stade. La concentration en sucre augmente rapidement tandis que la teneur en eau diminue (environ 50 à 85 % d'humidité).

2.3.4. Stade rutab (stade de la maturation molle)

Le stade rutab dure de deux à quatre semaines. L'extrémité du fruit commence à mûrir et sa texture devient molle. L'astringence du stade précédent disparaît progressivement et le fruit prend une couleur brune ou noire. En raison de la perte continue d'humidité, le poids diminue encore. Les sucres totaux et les solides augmentent, ainsi que le taux de conversion du saccharose en sucres plus simples.

2.2.5. Stade tamar (stade de pleine maturite)

Le stade tamar est le dernier stade de maturation de la datte. Le fruit est alors déshydraté et sa peau se ride. Les dattes semi-sèches et sèches contiennent environ 50 % de saccharose et de sucres réducteurs chacune. Sur une grappe, les fruits mûrissent sur une période d'un mois et non simultanément. Dans la plupart des variétés, la peau adhère à la chair molle et se ride à mesure que la chair interne se rétrécit. La couleur de la peau et de la chair sous-jacente fonce avec le temps.

Les changements observés dans la composition et la morphologie des dattes tout au long de leur développement sont répertoriés dans le tableau 6.

***Tableau 6**: Evolution de la composition des dattes au cours de leur développement [47]*

Stade	Kimri (phase 1)	Kimri (phase 2)	Khalal	Rutab	Tamr
Durée (semaines)	-	-	3-5	2-4	-
Couleur	Vert	Vert	Vert à jaune/rouge	Ramollissement	Plus foncé
Longueur (mm)	27,5	27,5	32,5	35,0	40,0
Poids (g)	5,8	5,8	8,7	12,0	15,0
Protéines (%)	5,6	4,9	2,7	2,6	2,5
Lipides (%)	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
Cendres (%)	3,7	3,4	2,8	2,6	2,5
Humidité (%)	83,6	80	65,9	43,0	24,2
Sucres totaux (%)	3,4 - 7,7	10,0 - 15,0	18,8 - 31,9	43,9 - 50,1	44,3 - 64,1

2.3. CLASSIFICATION DES DATTES

Selon la forme et les caractéristiques organoleptiques des fruits, on estime qu'il existe plus de 600 variétés de dattes[46]. Ces variétés peuvent être catégorisées selon divers critères tels que la période de maturation, le poids, la couleur, etc. De plus, deux critères revêtent une importance particulière comme le montre le tableau 7 [48], [49] :

- Le type de sucre prédominant :

- Les variétés à sucre de canne (principalement du saccharose), comme daglat nour (deglet noor) et daglat beidha (deglet beidha).
- Les variétés à sucre inverti (surtout du glucose et du fructose), telles que barhi (barhee), saiidi (saidy), khadhraawi (khadrawy), hallaawi (halawy), zahdi (zahidi).

- La teneur en eau : elle permet de classer les dattes en molles, demi-molles et sèches.

***Tableau** 7: Classification des variétés de dattes en fonction de leur humidité et teneur en sucres [48]*

	Dattes molles	*Dattes demi-molles*	*Dattes sèches*
Humidité	> 30%	20 - 30%	< 20%
Sucres réducteurs	0 – 5%	18 - 30%	33 – 46%
Saccharose	70%	45 - 54%	33 – 46%

2.4. COMPOSITION CHIMIQUE DE LA DATTE

2.4.1. COMPOSITION CHIMIQUE DE LA PARTIE COMESTIBLE DE LA DATTE

Les pulpes de dattes sont riches en sucres facilement digestibles, principalement du glucose, du saccharose et du fructose (70%), ainsi qu'en fibres alimentaires, mais contiennent moins de protéines et de matières grasses. Elles renferment également des vitamines essentielles telles que la riboflavine, la thiamine, la biotine, l'acide folique et l'acide ascorbique, comme indiqué dans l'annexe 1. En plus des vitamines, les pulpes sont une source riche en minéraux tels que le fer, le calcium, le cobalt, le cuivre, le fluor, le magnésium, le manganèse, le potassium, le phosphore, le sodium, le soufre, le bore, le sélénium et le zinc [50] selon les mêmes auteurs, la consommation de cent grammes de dattes peut couvrir plus de 15% des besoins quotidiens recommandés en sélénium, cuivre, potassium et magnésium.

Étant donné que les principaux constituants des dattes sont les glucides, présents sous forme de sucres réducteurs et non réducteurs (glucose-fructose et le saccharose), l'indice glycémique des dattes suscite beaucoup de débats. La consommation d'aliments riches en glucides provoque une réponse insulinémique, laquelle dépend à son tour de la digestion et

de l'absorption des glucides en fonction de leur structure chimique et physique. Les dattes ont un faible indice glycémique, allant de 35,5 à 47,2, comparé à d'autres fruits comme les pommes, les bananes et les oranges. Ce faible indice glycémique des dattes est lié à une forte proportion de fructose, qui ne stimule pas immédiatement la production d'insuline, contrairement au glucose. La consommation de dattes peut donc aider à réduire la glycémie après le repas[51].

2.4.2. Composition chimique (la partie non comestible de la datte)

De nos jours, les noyaux de dattes sont principalement utilisés comme alimentation animale, en particulier pour le bétail, les moutons, les chameaux et la volaille. Cependant, plusieurs études suggèrent qu'ils pourraient constituer une source potentielle de fibres et être exploitées comme aliment fonctionnel (tableau 8). En effet, ils sont riches en glucides, sous forme soluble et insoluble. Les noyaux de la variété Deglet Nour, par exemple, contiennent environ 50 % de cellulose et 20 % d'hémicelluloses. Ces fibres solubles ont la capacité de retenir l'eau et de former des gels pendant la digestion, ce qui ralentit le processus et présente des propriétés hypoglycémiques, réduisant ainsi les effets de la glycémie postprandiale. En termes de valeur nutritionnelle, la teneur en fibres alimentaires d'un noyau de datte varie de 64,5 à 80,15 pour 100 g de poids frais, ce qui en fait une source bénéfique dans le traitement du diabète, de l'hyperlipidémie, de l'obésité et du cancer, et contribue à protéger contre le syndrome métabolique. En ce qui concerne leur profil nutritionnel, des recherches ont montré que les noyaux de dattes contiennent une quantité importante de minéraux, notamment du potassium, du magnésium et du calcium, conformément aux recommandations d'apports humains. Les vitamines b5 sont également présentes en grande quantité. De plus, les noyaux de dattes sont riches en acides gras insaturés, ce qui contribue à améliorer l'hyperlipidémie et à maintenir la fluidité membranaire [50], [51].

***Tableau 8**: Composition chimique du noyau de datte [50]*

Composant	*En moyenne*	*Deglet Nour*
Humidité (g/100 g)	6,8	9,4
Protéines (g/100 g)	5,1	5,04
Matières grasses (g/100 g)	9	9,23
Cendres (g/100 g)	1,1	1
Glucides (g/100 g)	78	75,3

Energie (kcal/100 g)	394	386
Fibres (g/100 g)	73,1	/
Phénols (mg/100 g)	3942	/
Antioxydants (µmol/100 g)	80400	/

2.5. PROPRIÉTÉS PHARMACOLOGIQUES

Les dattes, issues du palmier dattier (*Phoenix dactylifera*), sont appréciées pour leur haute valeur nutritionnelle, comme précédemment exposé, ainsi que pour leur abondance en caroténoïdes et flavonoïdes, qui possèdent diverses activités pharmacologiques (fig. 11). Des études ont exploré ces activités pharmacologiques non seulement des dattes elles-mêmes, mais aussi des noyaux de dattes et de leurs extraits. Selon les auteurs Abdelkhalek et *al*. [52], et Rahmani et *al.* [53], les bienfaits des dattes peuvent être résumés dans les points suivants:

Effets antioxydants :

- les dattes sont riches en antioxydants tels que les caroténoïdes, les flavonoïdes et les composés phénoliques.

- les dattes ont montré qu'elles éliminaient les radicaux libres, inhibaient la peroxydation lipidique et régulaient à la hausse les enzymes antioxydantes.

Effets anti-cancéreux :

- les dattes et leurs extraits ont démontré des activités anti-cancéreuses contre diverses lignées cellulaires cancéreuses, y compris le cancer du sein et le carcinome hépatocellulaire.

- les effets anti-cancéreux des dattes sont attribués à leur teneur élevée en polyphénols, qui agissent comme des antioxydants et inhibent les médiateurs pro-inflammatoires.

Effets anti-diabétiques :

- des études ont signalé les effets anti-diabétiques potentiels des dattes, y compris la réduction des niveaux de glucose plasmatique et l'augmentation de l'insuline plasmatique.

Effets neuroprotecteurs :

- les dattes ont été suggérées pour avoir des effets neuroprotecteurs en raison de leur teneur élevée en antioxydants.

- les dattes peuvent aider à protéger contre les dommages cérébraux induits par l'ischémie et à améliorer les fonctions neurologiques.

Effets protecteurs contre les toxicités :

- les dattes ont montré des effets protecteurs contre les toxicités induites par les produits chimiques, les médicaments, les métaux lourds et les pesticides.

- les extraits de dattes ont été rapportés pour protéger contre les dommages hépatiques et améliorer les marqueurs de la fonction hépatique.

Effets urogénitaux :

- les dattes ont été associées à des effets bénéfiques sur les fonctions rénales, la fertilité masculine et les processus reproducteurs féminins.

- les extraits de dattes ont montré des améliorations de la spermatogenèse et ont atténués les lésions des tissus testiculaires dans des études animales.

Effets anti-inflammatoires et antimicrobiens :

- les dattes présentent des effets anti-inflammatoires en modulant l'expression des cytokines et en inhibant les enzymes impliquées dans l'inflammation.

- les extraits de dattes ont démontré des activités antimicrobiennes contre diverses bactéries, y compris *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline.

Ces effets pharmacologiques mettent en évidence les bénéfices potentiels pour la santé de l'incorporation des dattes dans l'alimentation, encourageant ainsi davantage la recherche des meilleures techniques pour préserver ces valeurs.

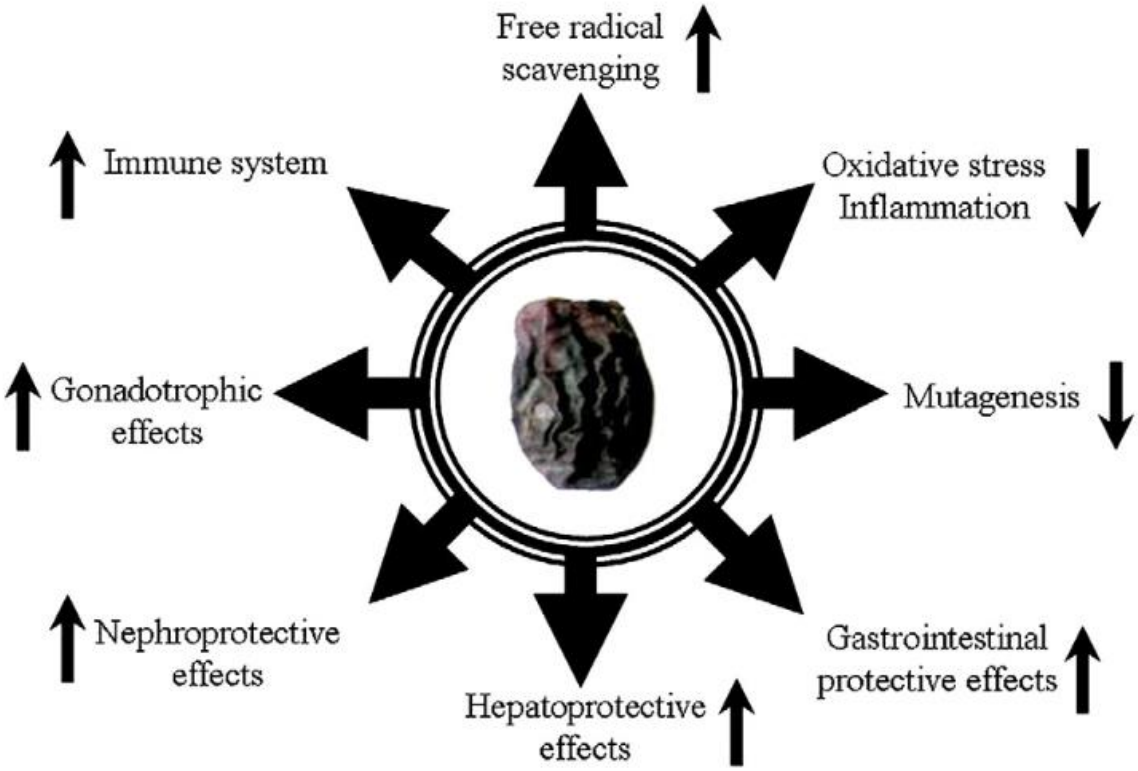


***Fig. 11**: Les effets pharmacologiques des dattes, avec des flèches pointant vers le haut pour signifier une augmentation et vers le bas pour indiquer une diminution [46]*

2.6. ALTERATION MICROBIOLOGIQUES DES DATTES

Selon Al-Karmadi & Okoh [54], les dattes sont susceptibles d'être contaminées par divers microorganismes, notamment :

- **Fungi** : les moisissures peuvent se développer sur les dattes pendant leur entreposage et leur transport, surtout dans des conditions favorables en termes de qualité de l'air, de température et d'humidité. Parmi les champignons couramment présents sur les dattes, on trouve *Curvularia lunata*, *Rhizopus stolonifer, Alternaria alternata*, différentes espèces de fusarium, d'aspergillus et de penicillium. Certains de ces champignons peuvent produire des mycotoxines telles que les aflatoxines, qui sont nocives pour la santé.
- **Bactéries** : les dattes peuvent être contaminées par des micro-organismes à diverses étapes, de la culture à la manipulation post-récolte. Des bactéries telles que les coliformes ont été détectées dans des échantillons de dattes, ce qui peut

entraîner des problèmes de santé tels que l'hépatite, la fièvre, la diarrhée et les crampes abdominales.

Les bactéries et les champignons responsables de la détérioration des fruits après récolte posent un problème significatif pour la qualité et la sécurité des dattes. Ces micro-organismes peuvent entraîner divers problèmes, notamment la décoloration, les arômes et goûts indésirables et la réduction de la durée de conservation. De plus, certains de ces micro-organismes peuvent produire des mycotoxines, nocives pour la santé humaine.

L'étude réalisée par Al-Asmari et al. [55], a mis en évidence la présence de divers contaminants fongiques tels que *Aspergillus sp*., *Penicillium sp*., *Rhizopus stolonifer*, *Fusarium oxysporum* et *Alternaria sp*. Ces contaminations représentent un risque potentiel pour la qualité et la sécurité alimentaire des dattes, soulignant l'importance cruciale de bonnes pratiques d'hygiène et de stockage pour minimiser la contamination fongique et garantir la sécurité des consommateurs.

Par ailleurs, l'étude a spécifiquement identifié *Aspergillus sp*. Comme étant le genre fongique prédominant dans les cultivars de dattes fraîches en Arabie Saoudite. Les espèces d'aspergillus sont couramment présentes dans divers produits alimentaires et peuvent produire des mycotoxines dans des conditions propices. Bien que les échantillons de dattes testés n'aient pas révélé la présence de mycotoxines, la détection d'*Aspergillus sp*. Soulève des inquiétudes quant à la production potentielle de ces toxines et souligne ainsi la nécessité de surveiller et de contrôler étroitement la sécurité alimentaire. Les espèces d'aspergillus sont bien connues pour leur capacité à altérer les produits alimentaires et à générer des toxines néfastes, mettant en évidence l'importance cruciale de comprendre et de gérer la contamination fongique dans les dattes afin de prévenir les maladies d'origine alimentaire.

Une autre étude menée par Amal et *al*. [56] a révélé que la variété Sukhari était la plus touchée par la contamination fongique, tandis que la variété Mabroon présentait la plus forte contamination bactérienne. De plus, les variétés Mabroon, Khalas et Barhi ont été identifiées comme les plus contaminées, avec des niveaux de contamination bactérienne variant selon l'espèce. De plus, cette recherche a identifié *Aspergillus niger* comme l'espèce d'aspergillus la plus prédominante, particulièrement présente dans les variétés Sukhari, Amber et Barhi. Parmi les 30 isolats bactériens obtenus à partir de la chair et des graines des fruits de dattes,

seuls 25 ont été identifiés. Tous étaient des bâtonnets gram-positifs, avec la présence également de *Staphylococcus aureus* et d'*Escherichia coli*. Les niveaux de contamination bactérienne étaient plus élevés dans les fruits que dans les noyaux.

Pour maintenir la qualité et la sécurité des dattes, il est essentiel d'améliorer les conditions d'hygiène pré et post-récolte pour contrôler la contamination microbienne. Cela peut être réalisé grâce à diverses techniques, telles que des conditions de stockage appropriées, des traitements chimiques et l'irradiation. De plus, l'utilisation de film comestibles et d'emballages sous atmosphère modifiée ou sous vide peut améliorer l'aspect visuel, réduire l'évaporation de l'eau et maintenir la qualité des fruits.

2.7. MARCHÉ

D'après les données de l'année 2022 de l'OEC [2], "The Observatory Of Economic Complexity", le marché mondial des dattes a atteint une valeur de 2,07 milliard de dollars. L'Arabie saoudite se classe en tête des exportateurs mondiaux avec une part de marché de 16 %, représentant 331 millions de dollars. En revanche, l'Algérie occupe la sixième position avec une part de marché de 5,9 %, équivalant à 122 millions de dollars (tableau. 9).

Comparativement à l'année 2021, l'année 2022 a enregistré une diminution d'environ 240 millions de dollars sur le marché des dattes. À l'exception de l'Arabie saoudite, de l'Égypte et de la Jordanie, la plupart des pays exportateurs ont vu leurs exportations diminuer, y compris l'Algérie, qui a enregistré une baisse d'environ 17,3 millions de dollars par rapport à 2021. D'autre part, l'inde conserve sa position de leader parmi les pays importateurs, représentant 11,3 % du marché international, suivie par le Maroc avec une part de marché de 9,72 %.

Seul le Maroc et la France cumulent à eux seuls une part de 53,7 % des destinations d'exportation des dattes Algériennes, qui sont principalement dirigées vers nos voisins africains. En fait, le Maroc, le Niger et la Mauritanie importent environ 40 % des dattes Algériennes exportées.

***Tableau 9**: La part de marché des pays exportateurs et celle des pays importateurs [2]*

Top 15 des exportateurs (~90% de la valeur du marché)				
N°	**Continent**	**Pays**	**Valeur commerciale (en millions de dollars)**	**(%)**
1	Asie	Arabie saoudite	331	15,98%
2	Asie	Émirats arabes unis	284	13,72%
3	Afrique	Tunisie	271	13,11%
4	Asie	Palestine occupée	225	10,89%
5	Asie	Iran	152	7,38%
6	Afrique	Algérie	122	5,90%
7	Asie	Irak	109	5,27%
8	Amérique du nord	États-unis	75	3,65%
9	Afrique	Égypte	72	3,48%
10	Asie	Palestine	46	2,24%
11	Europe	Pays-bas	44	2,17%
12	Asie	Jordanie	42	2,07%
13	Amérique du nord	Mexique	34	1,64%
14	Asie	Pakistan	32	1,55%
15	Europe	France	31	1,54%
Top 15 des importateurs (~70% de la valeur du marché)				
N°	**Continent**	**Pays**	**Valeur commerciale (en millions de dollars)**	**(%)**
1	Asie	Inde	233	11,25%
2	Afrique	Maroc	201	9,73%
3	Asie	Émirats arabes unis	164	7,91%
4	Europe	France	104	5,01%
5	Asie	Koweït	95	4,59%
6	Amérique du nord	États-unis	93	4,49%
7	Asie	Indonésie	82	3,94%
8	Europe	Allemagne	81	3,91%
9	Europe	Royaume-uni	74	3,59%

10	Asie	Turquie	64	3,09%
11	Europe	Pays-bas	62	2,98%
12	Amérique du nord	Canada	56	2,72%
13	Asie	Malaisie	56	2,69%
14	Asie	Bangladesh	45	2,16%
15	Europe	Russie	44	2,12%

CHAPITRE II : TECHNIQUES DE CONSERVATION DES DATTES

1. GÉNÉRALITÉS SUR LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DES PRODUITS ALIMENTAIRES

L'histoire des techniques de conservation des aliments remonte aux civilisations anciennes, où le besoin de préserver les aliments pour une consommation future est devenu évident. Les civilisations anciennes ont développé diverses techniques pour conserver les aliments, telles que le séchage, le fumage, le salage et la fermentation. Ces techniques leur ont permis de stocker les aliments pendant des périodes plus longues et d'assurer la disponibilité alimentaire en période de pénurie.

Les techniques de conservation des aliments visent à prolonger la durée de conservation et à maintenir la qualité des aliments périssables tels que les fruits, les légumes et les viandes. Elles agissent en inhibant la croissance des microorganismes tels que les bactéries, les levures et les moisissures, responsables du processus de détérioration des aliments. Ces techniques peuvent être largement classées en méthodes de conservation physique, chimique et biologique.

Les méthodes de conservation physique impliquent le contrôle de la température, de l'humidité et du flux d'air autour des aliments pour ralentir la croissance des microorganismes. Les méthodes de conservation chimique impliquent l'utilisation d'additifs tels que le sel, le sucre, le vinaigre, ou des conservateurs comme les sulfites ou les benzoates, pour prévenir la croissance microbienne et la détérioration. Les méthodes de conservation biologique reposent sur l'utilisation de microorganismes naturels ou génétiquement modifiés pour inhiber la croissance des bactéries responsables de la détérioration.

1.1. MÉCANISES ET FACTEURS D'ALTÉRATION DES ALIMENTS

Steele [57] résumés les mécanismes de détérioration en trois catégories principales (fig. 12) :

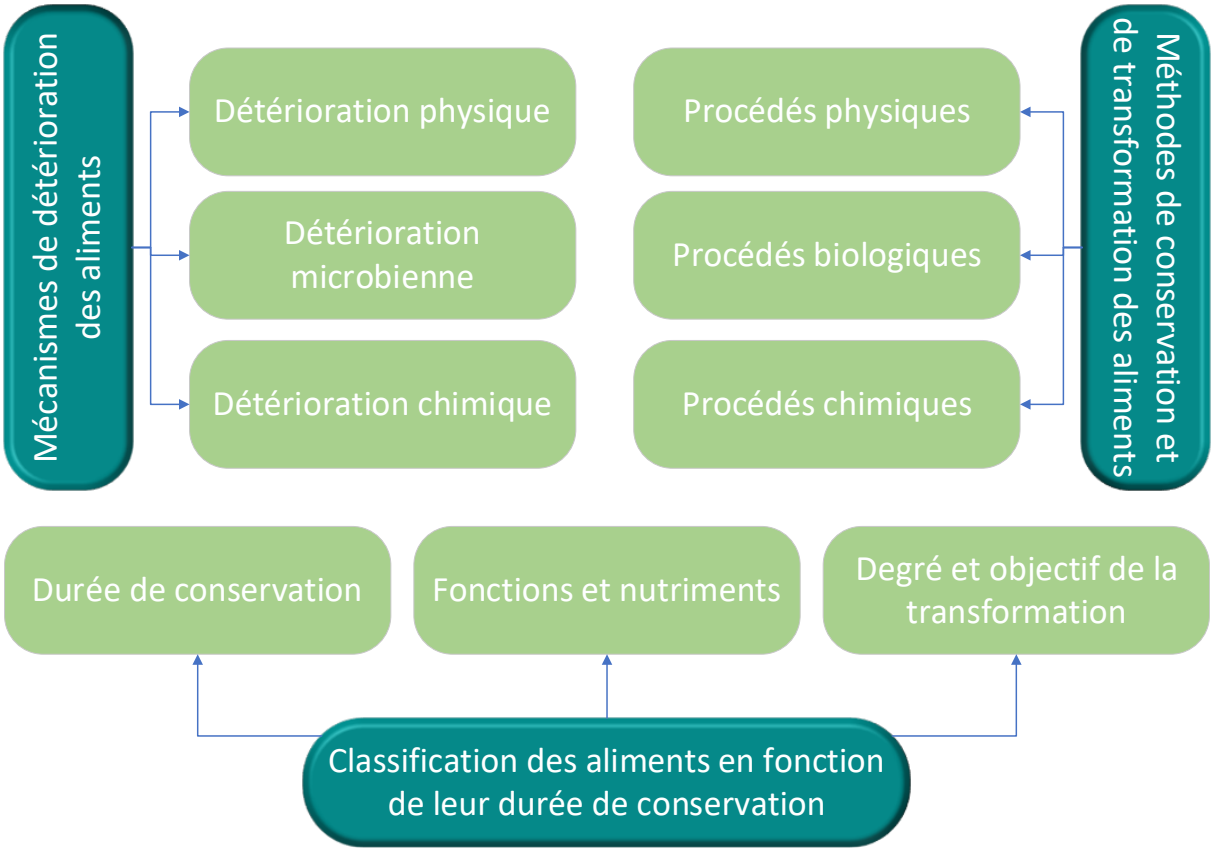


***Fig. 12**: Mécanismes et aspects commerciaux de la transformation et de la conservation des aliments [57]*

1.1.1. La deterioration physique

La détérioration physique d'un produit alimentaire est due à l'instabilité de sa structure physique et peut être causée par plusieurs facteurs. Les changements de teneur en humidité, notamment la perte, le gain ou la migration d'eau dans l'aliment, sont essentiels et liés à l'activité de l'eau.

La température joue également un rôle important ; la congélation peut endommager certains aliments, notamment les fruits et légumes tropicaux, susceptibles aux blessures par le froid. La température de transition vitreuse affecte la durée de conservation, et les solides alimentaires peuvent exister sous forme cristalline ou amorphe, selon la composition, la température et l'humidité.

La cristallisation du sucre peut également se produire dans les aliments riches en sucre en raison de changements d'humidité ou d'augmentations de température. L'ajout de fructose ou

d'amidon peut retarder ce processus. Enfin, le temps joue un rôle crucial au-dessus de la température de transition vitreuse [58].

1.1.2. LA DETERIORATION MICROBIENNE

La dégradation microbiologique est la principale cause des pertes alimentaires et de l'émergence de maladies d'origine alimentaire. Elle est causée par l'action de micro-organismes sur les aliments périssables. Les techniques pour contrôler ou perturber la croissance de la plupart des micro-organismes comprennent un contrôle précis de la température, une réduction de l'eau dans l'environnement alimentaire, un ajustement du ph, une utilisation appropriée de conservateurs et des méthodes d'emballage adéquates. Deux types de facteurs influent sur la dégradation des aliments : les facteurs intrinsèques et extrinsèques. Les facteurs intrinsèques déterminent la durée de conservation des aliments et leur sensibilité à la dégradation, tels que les enzymes endogènes, les substrats, la sensibilité à la lumière et à l'oxygène. Les facteurs extrinsèques, quant à eux, comprennent l'humidité relative, la température, et la présence et l'activité d'autres micro-organismes [59].

1.1.3. LA DETERIORATION CHIMIQUE

La détérioration chimique et biochimique dans les aliments peut affecter leur qualité sensorielle. Les exemples d'une détérioration chimique dans les aliments frais selon Amit et *al*.[60], sont les changements de ph causés par la croissance et le métabolisme microbiens, la production de composés toxiques, l'oxydation des lipides et des pigments gras, la rancidité hydrolytique, la protéolyse, la putréfaction, la réaction de Maillard, et la hydrolyse de la pectine. Les modifications d'une de ces réactions peuvent entraîner changements de goût, de saveur et de texture dans les aliments. Les modifications d'une de ces réactions doivent être gestionnées et évaluées pour garantir la sécurité alimentaire. Les réactions de détérioration chimique et biochimique des aliments doivent être étudiées et évaluées en accordance avec les détériorations physiques et microbiologiques, en mettant en place des améliorations et d'une qualité optimale.

1.2. TECHNIQUES DE CONSERVATION ET DE TRANSFORMATION DES ALIMENTS

Les techniques de conservation des aliments jouent un rôle crucial dans la prévention de la qualité des aliments et dans la prolongation de leur durée de conservation. Fig. 13 présente une classification des principales techniques.

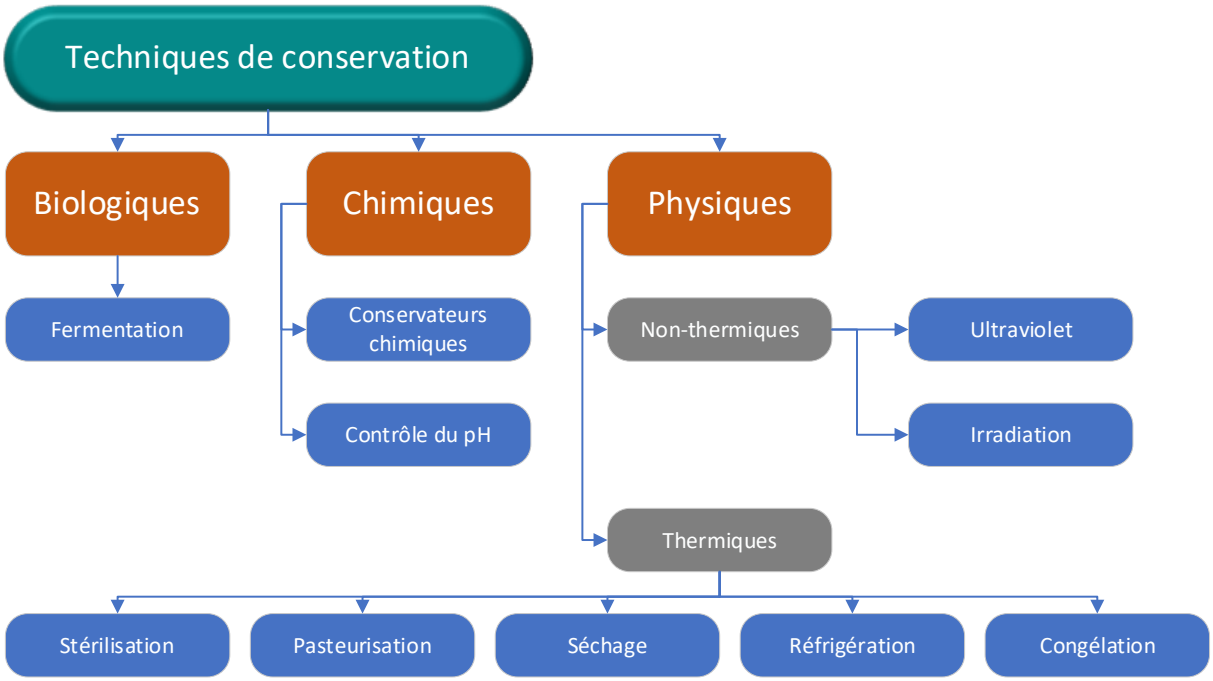


***Fig. 13**: Les principales méthodes de conservation des aliments*

Les techniques de conservation des aliments peuvent avoir des effets variables sur le goût et la texture des aliments en fonction de la méthode utilisée. L'annexe 1 présente un aperçu des techniques principale ainsi que de leurs avantages et inconvénients adapté de Amit et al. [60], Clark et al. [61],

En résumé, les techniques de conservation des aliments peuvent avoir un impact différent sur le goût et la texture des aliments en fonction de la méthode utilisée. Certaines méthodes peuvent améliorer la saveur, tandis que d'autres peuvent entraîner des altérations du goût et de la texture en raison du processus de préservation impliqué. Il est essentiel de prendre en compte ces effets lors du choix d'une méthode de préservation pour garantir la qualité désirée des aliments conservés.

2. QUALITÉ DES DATTES

La qualité est un concept relatif qui fait référence au niveau d'excellence, à un standard élevé ou à une valeur, et/ou à l'adéquation à un certain usage. En ce qui concerne les aliments, la qualité est définie comme l'ensemble des caractéristiques qui distinguent les unités individuelles d'un produit et qui ont une importance dans la détermination du degré d'acceptabilité de cette unité par l'utilisateur. L'évaluation de la qualité intrinsèque des fruits peut se faire soit par l'analyse sensorielle, soit par des méthodes instrumentales [40].

La notion de qualité des fruits de dattes *Phoenix dactylifera* englobe différents aspects tels que l'aspect visuel, les propriétés physico-chimiques, pomologiques, rhéologiques et biochimiques, ainsi que les caractéristiques nutritionnelles et biologiques. Comme précédemment montré, les dattes sont riches en fibres alimentaires, en sucres, en acides organiques, en minéraux, en polyphénols et en antioxydants, ce qui en fait une source précieuse de nutrition. La texture des fruits de dattes est influencée par leur composition chimique, avec des facteurs tels que la lignine, l'arabinoxylane, la galactomannane et la pectine jouant un rôle dans la détermination de la dureté, de la consistance, de l'élasticité et de la cohésion des fruits [62]. Les fruits du palmier dattier sont non seulement nutritifs mais possèdent également des propriétés fonctionnelles qui contribuent à leurs bienfaits pour la santé [51] et toute altération de ces propriétés peut être considéré comme une dégradation de la qualité du fruit.

En outre, l'influence microbiologique sur la qualité des fruits de dattes constitue un facteur critique qui impacte leur sécurité et leur durée de conservation. La présence de micro-organismes, qu'ils soient pathogènes ou non, au sein de la chair des dattes peut avoir des conséquences significatives sur leur qualité et leur sûreté. La contamination par des pathogènes tels qu'*Escherichia coli*, *Salmonella spp*., *Streptococcus spp*., *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, ainsi que par différentes moisissures comme *Aspergillus spp*., *Alternaria spp*. et *Fusarium spp*., peut entraîner une altération ou même une intoxication alimentaire si les niveaux dépassent les seuils satisfaisants établis par les autorités réglementaires [63]. De plus, la qualité microbiologique des dattes peut impacter leur valeur nutritionnelle en diminuant la disponibilité des nutriments essentiels. La croissance microbienne, en particulier celle des pathogènes, peut rendre les dattes impropres à la consommation.

2.1. CRITERES D'EVALUATION DE LA QUALITE DES DATTES

Il existe deux normes internationales pour les dattes :

La norme Codex STAN 143-1985 s'applique aux dattes entières préparées commercialement, dénoyautées ou non, emballées et prêtes à être consommées directement. Elle ne s'applique pas à d'autres formes telles que les morceaux ou les dattes écrasées, ni aux dattes destinées à un usage industriel. La norme définit les dattes comme un produit préparé à partir de fruits sains de palmier-dattier, récoltés à la maturité appropriée, triés et nettoyés pour éliminer les fruits défectueux et les matières étrangères. Ils peuvent être dénoyautés, séchés ou réhydratés pour ajuster leur teneur en humidité, lavés et/ou pasteurisés, puis emballés dans des contenants adaptés pour assurer la préservation et la protection du produit. La norme classe également les types et styles variétaux de dattes. Cette norme a été adoptée en 1985 et amendée en 2019. Elle précise des spécifications pour les dattes telles que le calibre ou la teneur en eau (30% pour Deglet Nour). Elle définit les défauts et leurs tolérances et exige que les dattes soient exemptes de microorganismes ou de substances pouvant présenter un risque pour la santé [49].

La deuxième c'est la norme DDP-08 de la CEE-ONU, connue sous le titre "Dattes", a été instaurée initialement en 1987 et révisée en 2010. Elle concerne les dattes, qu'elles soient dénoyautées ou non, naturelles ou traitées par lavage, réhydratation, enrobage ou pasteurisation, et issues de variétés du *Phoenix dactylifera* L., destinées à être consommées directement. Cette norme ne s'applique pas aux dattes destinées à être transformées industriellement. Elle établit les critères de qualité des dattes lors du contrôle à l'exportation, après leur préparation et leur conditionnement. Les produits non conformes à cette norme ne peuvent être exposés, proposés à la vente, ni livrés ou commercialisés autrement. Les dattes sont classées en trois catégories selon les défauts tolérés : "Extra" Classe, Classe I et Classe II. Ces défauts ne doivent pas altérer l'apparence générale du produit en ce qui concerne sa qualité, sa conservation et sa présentation dans l'emballage. La norme prévoit également des directives sur le calibrage, avec un poids minimum de 4,0 g pour les dattes. Des tolérances sont admises en termes de qualité et de taille dans chaque lot pour les produits ne répondant pas aux exigences minimales de la classe spécifiée. La norme DDP-08 de la CEE-ONU est utilisée par les gouvernements, les producteurs, les commerçants, les importateurs et les exportateurs, ainsi que par d'autres organisations internationales, afin de faciliter le

commerce international, de promouvoir une production de haute qualité, d'améliorer la rentabilité et de protéger les intérêts des consommateurs [64].

2.2. FACTEURS MAJEURS INFLUENÇANT LA QUALITE DES DATTES

Dans la revue de Alam et al. [40], trois facteurs ont été identifiés comme responsables de l'impact sur la qualité des dattes : d'abord, les facteurs génétiques, puis environnementaux/les conditions agronomiques, incluant l'influence de la température, de l'irrigation, de la fertilisation, etc. L'impact de ces facteurs sur la qualité des dattes est détaillé dans la première section du premier chapitre. Le troisième facteur est le traitement post-récolte, qui sera également discuté en détail dans la prochaine section de ce chapitre. Ces facteurs sont présentés dans la figure 14.

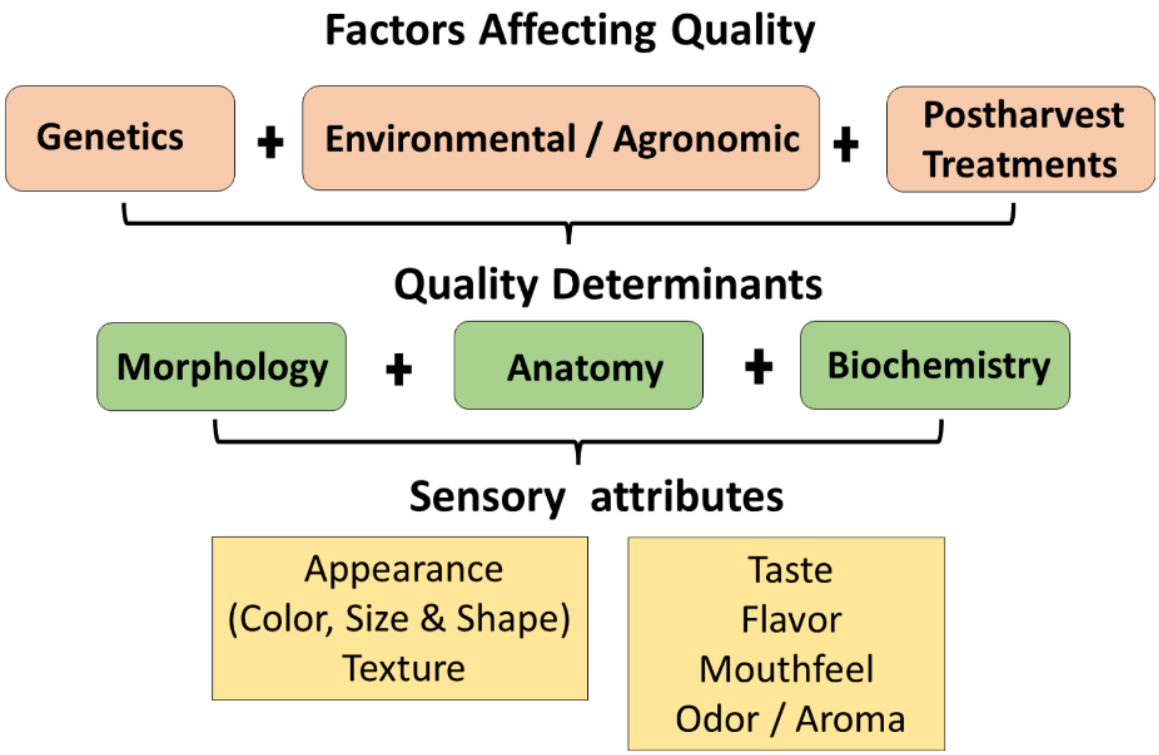


Fig. 14: *Illustration des facteurs influençant la qualité des fruits [40].*

3. TECHNIQUES DE CONSERVATION DES DATTES

3.1. PRE-TRAITEMENTS

Entre la récolte et le stockage, diverses interventions sont essentielles et influent de manière déterminante sur la qualité des dattes (fig. 15) :

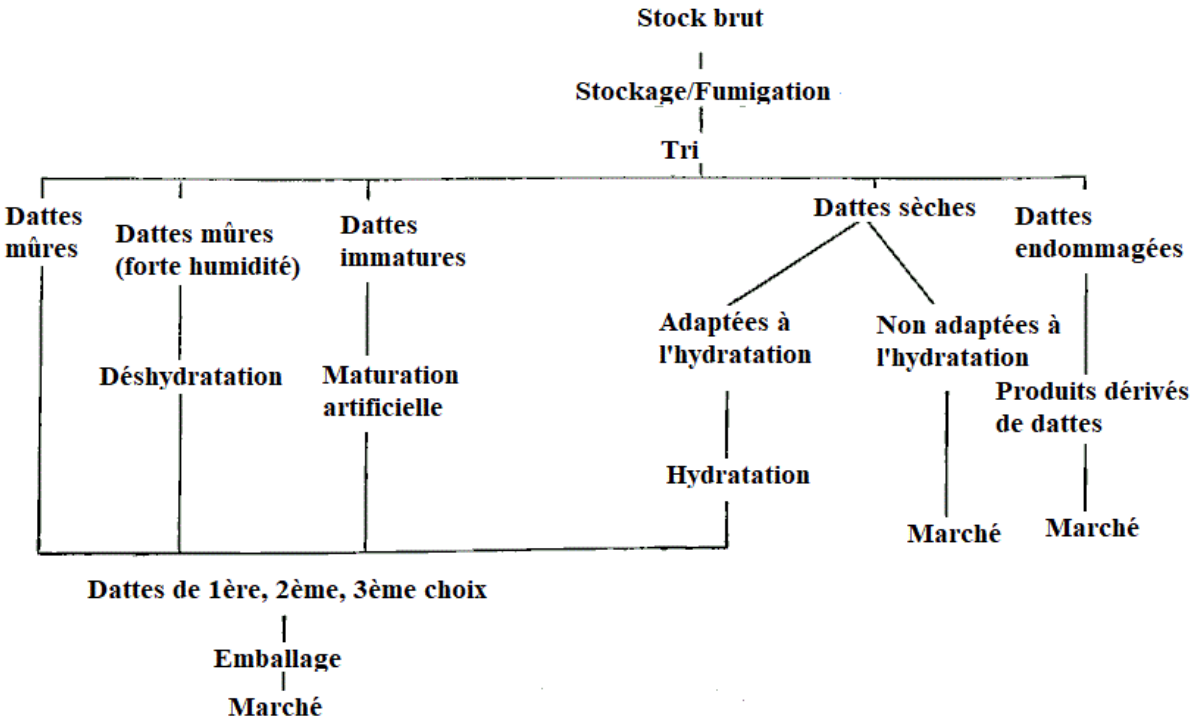


***Fig. 15**: Les étapes de classification des dattes (Deglet Nour), de la récolte à la commercialisation [44]*

3.1.1. LE TRI

Le tri préalable à l'emballage des dattes est une étape essentielle dans l'industrie pour garantir leur qualité et leur valeur commerciale. Traditionnellement effectué manuellement, ce processus peut également être réalisé à l'aide de méthodes automatisées telles que le tri à barres de rouleaux. Ce tri minutieux permet de sélectionner les fruits les plus adaptés à l'emballage en éliminant les produits endommagés ou de moindre qualité. En utilisant des technologies modernes, comme les machines optiques, le tri devient plus efficace et précis, assurant ainsi la distribution de fruits de haute qualité sur le marché. En résumé, le tri préalable à l'emballage des dattes contribue à maintenir leur qualité, à répondre aux exigences des consommateurs et à améliorer l'efficacité de la production [44], [65].

3.1.2. Le lavage

Le processus de lavage des dattes, tel qu'expliqué par Barreveld [44], Zaid et *al*. [25] varie de la simple pulvérisation manuelle d'eau sur les fruits dans des paniers ou des plateaux en treillis métallique, à l'utilisation de systèmes de nettoyage plus mécanisés pour les opérations de plus grande envergure. Il implique l'utilisation d'eau propre pour éliminer les contaminants physiques, chimiques et microbiologiques. Différentes méthodes peuvent être utilisées, telles que le lavage sous un jet d'eau froide, l'utilisation de serviettes humides attachées à des secoueurs mécaniques, ou encore le nettoyage à l'air comprimé pour éliminer la poussière et le sable. Trois principaux facteurs polluants sont visés par le lavage :

- les facteurs physiques, comme la présence de sable et de terre, souvent dus aux tempêtes de sable dans les régions de culture des dattes, ainsi que la terre adhérant aux fruits en contact avec le sol.

- les facteurs chimiques, principalement représentés par les résidus de pesticides, qui peuvent être éliminés en grande partie par le lavage.

- les facteurs microbiologiques, pour lesquels le nettoyage externe des fruits par lavage permet d'éliminer une partie de la pollution microbiologique, y compris les excréments d'oiseaux qui peuvent altérer la qualité des fruits.

Il est essentiel d'utiliser de l'eau propre pour le lavage et de veiller à ce que tous les fruits soient correctement lavés. Les dattes des variétés barhee et Deglet Nour sont souvent nettoyées à l'air comprimé pour éliminer la poussière et le sable avant d'être emballées sur des branches. Il est également courant de nettoyer les fruits suspendus avec un jet d'eau accompagné de brosses pivotantes fines, mais ces fruits doivent être séchés avant l'emballage.

3.1.3. L'hydratation et la deshydratation

Les processus d'hydratation et de déshydratation des dattes après la récolte jouent un rôle fondamental dans le maintien de leur qualité et de leur valeur nutritionnelle, en assurant un juste équilibre du ratio sucre/eau. Pour les dattes sèches, l'hydratation peut significativement améliorer leur qualité. Il s'agit d'un processus visant à assouplir les variétés de dattes à la texture plus dure. Bien que les dattes mûres et correctement séchées ne requièrent pas toujours cette procédure, elle peut être bénéfique pour certaines variétés spécifiques.

Généralement, cela implique d'immerger les dattes dans de l'eau chaude ou froide pendant une durée précise, ou de les exposer à de la vapeur dans des conditions contrôlées. Cette hydratation peut transformer les dattes séchées en fruits plus charnus et brillants, améliorant ainsi leur texture et leur qualité globale. En revanche, pour les dattes molles, c'est la déshydratation qui peut contribuer à leur amélioration en maintenant un taux d'humidité optimal entre 23% et 25%. Ce processus a pour but d'éliminer l'excès d'humidité, particulièrement crucial pour la conservation à basse température ou pour une consommation ultérieure. Les méthodes de déshydratation varient selon le type de datte, allant de l'exposition à l'air libre à l'utilisation d'air chauffé ou de tunnels plastiques. Le traitement à l'eau chaude est une autre méthode de déshydratation et peut également influencer plusieurs aspects physiologiques et biochimiques du fruit. Il augmente la teneur en sucre, réduit l'humidité, accélère le mûrissement et maintient l'équilibre des niveaux de sucre et d'acidité. En conséquence, il améliore la saveur, la qualité et la durabilité des dattes séchées [66], [67].

3.2. TRAITEMENT DES DATTES

3.2.1. FUMIGATION

La fumigation post-récolte des fruits de palmier dattier est une méthode utilisée pour garantir la qualité et la sécurité des dattes pendant leur entreposage, elle a été utilisée pour contrôler une grande variété de ravageurs. Elle implique la fumigation des dattes avec du gaz de phosphine (ph3) pendant 3 à 5 jours à température ambiante. Cependant, l'utilisation de la phosphine en remplacement du bromure de méthyle, l'un des produits chimiques les plus puissants qui appauvrissent la couche d'ozone stratosphérique, ne présente pas la même efficacité. De plus, certains insectes ont développé une résistance à la phosphine, dont l'efficacité dépend de la température et qui n'est pas efficace en dessous de 15°c. La phosphine est également hautement explosive et corrosive pour certains métaux. Par ailleurs, il existe des risques potentiels pour la santé des travailleurs manipulant les fumigants, ainsi que des préoccupations environnementales concernant l'utilisation de produits chimiques tels que la phosphine (ph3), qui peuvent laisser des résidus sur les fruits et compromettre la sécurité des consommateurs. En outre, les entrepôts utilisés pour cette opération ne sont généralement pas équipés d'humidificateurs, ce qui rend difficile le contrôle de l'humidité relative [67], [68].

3.2.2. REFRIGERATION

Comme le souligne Al-Karmadi & Okoh [54], Benkeblia [69], la réfrigération est une méthode importante pour préserver les fruits de palmier dattier, car elle ralentit les réactions enzymatiques et contribue à maintenir leur qualité, notamment leur couleur, leur saveur et leur texture. De plus, elle peut également aider à prévenir la croissance des microorganismes sur les fruits, réduisant ainsi le risque de maladies d'origine alimentaire. Cependant, il est crucial de noter que la réfrigération seule peut ne pas être suffisante pour contrôler les infestations d'insectes, et d'autres méthodes telles que la fumigation ou le chauffage peuvent être nécessaires.

Les inconvénients de la réfrigération des fruits de palmier dattier sont les suivants :

- Sensibilité à la température : les fruits de palmier dattier sont sensibles aux températures basses, et une réfrigération en dessous de 4°C peut causer des lésions par le froid, entraînant des changements de texture, de saveur et de couleur.
- Infestation par les insectes : la réfrigération ne prévient pas l'infestation par les insectes, et ces derniers peuvent encore infester le fruit à des températures inférieures à 4°c.
- Durée de conservation limitée : la réfrigération ne peut prolonger la durée de conservation des fruits de palmier dattier que pour une courte période, et ils peuvent encore se détériorer avec le temps en raison des réactions enzymatiques et de la croissance des microorganismes.
- Condensation : la réfrigération peut entraîner de la condensation sur la surface du fruit, favorisant l'accumulation d'humidité et la croissance des microorganismes.
- Consommation d'énergie : la réfrigération consomme de l'énergie, ce qui peut être coûteux et avoir des impacts environnementaux.

Néanmoins, l'efficacité des températures basses repose sur plusieurs facteurs : (i) les caractéristiques initiales de qualité intrinsèques des dattes, (ii) la présence de micro-organismes et d'insectes au moment de la récolte, et (iii) la température appliquée.

3.2.3. EMBALLAGE SOUS ATMOSPHERE MODIFIEE

D'après Oliveira et *al.* [70], l'emballage en atmosphère modifiée (MAP) est une méthode employée pour prolonger la durée de conservation des dattes en altérant l'atmosphère environnante du fruit. Cette technique implique de modifier la composition des gaz entourant le produit emballé afin de créer un environnement optimisé qui ralentit les facteurs de détérioration et améliore sa fraîcheur et sa qualité. Les principaux gaz contrôlés dans ce processus sont l'oxygène (o2), le dioxyde de carbone (co2) et l'azote (n2), chacun étant minutieusement régulé en fonction des besoins spécifiques du produit.

La mise en œuvre de la MAP repose sur plusieurs mécanismes clés :

- Réduction de l'oxygène : la MAP abaisse significativement les niveaux d'oxygène en utilisant des techniques telles que le rinçage au gaz, les absorbeurs d'oxygène ou les films barrière à l'oxygène pour contrer les réactions d'oxydation, la croissance microbienne et la détérioration enzymatique, assurant ainsi la fraîcheur du produit et prolongeant sa durée de conservation.
- Régulation du dioxyde de carbone : la MAP contrôle les niveaux de dioxyde de carbone pour inhiber la croissance microbienne et les activités enzymatiques conduisant à la détérioration. Des techniques telles que les rinçages au co2, les générateurs de co2 ou les absorbeurs de dioxyde de carbone sont utilisées pour maintenir des niveaux optimaux, garantissant la qualité du produit et prolongeant sa durée de conservation.
- Gestion de l'humidité : la MAP intègre des techniques de contrôle de l'humidité telles que les agents dessiccants ou les films absorbants l'humidité pour prévenir la prolifération microbienne, maintenir la texture du produit et inhiber la croissance de moisissures, prolongeant ainsi sa durée de conservation.

Une étude a révélé que la meilleure qualité et la plus longue durée de conservation des dattes Khalal étaient obtenues avec une concentration de 5 % de co2, tandis que 30 % de co2 entraînait la détérioration de près de la moitié des fruits en rutab de qualité inférieure. La MAP passive, qui expose les fruits à l'air ambiant, a donné des résultats acceptables en prolongeant la durée de conservation des dattes Khalal. L'étude a également révélé que l'utilisation de la MAP avec 20 % de co2 + 80 % de n2 avait un fort potentiel pour réduire le taux de transformation de la couleur et la croissance microbienne dans les dattes stockées [71].

Cependant, il existe également certains inconvénients associés au MAP [72], tels que :

- Le coût de la mise en place de systèmes MAP en raison de la nécessité de matériaux d'emballage spécialisés, d'équipements et de mélanges de gaz.
- La croissance microbienne car dans certains cas, le MAP peut créer un environnement favorable à la croissance de certains micro-organismes.
- Et l'impact environnemental, en effet, cette technique peut générer des déchets provenant des matériaux d'emballage et des gaz

3.2.4. EMBALLAGE SOUS VIDE

L'emballage sous vide est une technique commerciale utilisée dans le traitement post-récolte des dattes. Elle consiste à extraire l'air du matériau d'emballage, créant ainsi un vide qui protège les dattes de l'humidité, de l'infestation par les insectes et d'autres facteurs pouvant altérer leur qualité pendant leur stockage et leur transport. Cette méthode, économiquement et viable, permet d'éviter les pertes de stockage et de préserver la couleur, la saveur et la texture des dattes, tout en garantissant leur sécurité microbiologique dans des conditions optimales de conservation [73]. L'emballage sous vide des dattes offre plusieurs avantages, notamment [74]:

- Prolongation de la durée de conservation : jusqu'à cinq fois plus longue que les méthodes traditionnelles, en limitant la croissance des microorganismes et en ralentissant la maturation.
- Conservation des éléments nutritifs : maintien des composés phénoliques et de la vitamine c, préservant ainsi la valeur nutritionnelle.
- Amélioration de l'apparence : la couleur de la peau et de la pulpe, ainsi que de l'indice de brunissement.
- Réduction du gaspillage alimentaire : prévention de la contamination et de la croissance de moisissures, limitant ainsi les pertes.
- Stockage pratique : possibilité de stockage facile et optimisation de l'espace grâce à une durée de conservation prolongée.
- Rentabilité : méthode économique, adaptée à l'industrie de l'exportation et de la transformation des dattes fraîches.

L'emballage sous vide (VP) des dattes implique généralement l'utilisation de films plastiques tels que le polyéthylène (PE), le polyvinylidènechlorure (PVDC), le polypropylène (PP), le chlorure de polyvinyle (PVC), le polyester (PET) et le polyamide (PA) comme matériaux d'emballage. Ces matériaux sont sélectionnés en fonction de leur capacité à s'adapter au produit, à résister au vide et à répondre à des exigences spécifiques en matière de chaleur. Le matériau d'emballage doit être à la fois solide pour supporter le vide et flexible pour s'ajuster à la forme du produit. De plus, il doit présenter une sensibilité thermique particulière pour être scellé pendant l'emballage tout en étant compatible avec des températures modérées lors de la cuisson [75].

3.2.5. L'IRRADIATION DES DATTES

L'irradiation, un procédé exposant les substances à des radiations ionisantes, est largement utilisée dans plus de 40 pays pour désinfecter les grains, les fruits et les légumes, prolongeant ainsi leur durée de conservation et améliorant leur sécurité alimentaire en éliminant les organismes de détérioration et les agents pathogènes alimentaires. Les limites réglementaires sont fixées par les organismes législatifs, mesurées en kilograys (kGy). Bien que les paramètres nutritionnels ne soient généralement pas affectés, des doses élevées peuvent entraîner la perte de certains micronutriments. L'irradiation a des effets similaires sur la valeur nutritive des aliments par rapport aux techniques de traitement alimentaire conventionnelles. [60].

L'étude menée par Zarbakhsh & Rastegar [76], a montré que l'irradiation gamma réduisait significativement la contamination microbienne des dattes et améliorait leur activité antioxydante, prolongeant ainsi leur durée de conservation. Une autre étude de El-Beltagi et al. [77], a observé une augmentation des sucres réducteurs et des sucres solubles totaux, ainsi qu'une augmentation de la teneur totale en phénols dans les dattes après irradiation gamma. Ces résultats soulignent les avantages potentiels de l'irradiation gamma pour améliorer les propriétés biochimiques des dattes.

Pour l'irradiation alimentaire, des matériaux d'emballage tels que le polyéthylène, le polyvinylidènechlorure, le polypropylène, le polyester et le polyamide peuvent être utilisés pour des doses allant de 0,5 à 10 kGy [78].

4. L'EMBALLAGE ACTIF

L'emballage actif est une technologie novatrice utilisée dans la préservation et le stockage des aliments, qui contient des agents actifs tels que des antioxydants et des composants antimicrobiens dans le matériau d'emballage. Les agents actifs utilisés dans l'emballage alimentaire peuvent être des agents antimicrobiens ou des piégeurs d'oxygène, qui sont incorporés dans le matériau d'emballage pour maintenir la qualité du produit pendant le stockage. Les développements récents dans le domaine de l'emballage alimentaire se sont concentrés sur l'utilisation et la promotion d'emballages actifs ou biodégradables, en raison de leurs avantages environnementaux. L'emballage actif régule l'environnement à l'intérieur du matériau emballé et protège contre les pertes causées par des forces externes telles que les facteurs physiques, chimiques et biologiques. Certains emballages peuvent même contribuer à maintenir les nutriments dans les produits alimentaires intacts pendant une période plus longue [79].

4.1. TYPES D'EMBALLAGES ACTIFS

L'emballage actif fait référence à des systèmes d'emballage qui vont au-delà du rôle traditionnel de fournir une barrière passive aux facteurs externes. Ces systèmes interagissent activement avec les aliments emballés pour améliorer leur sécurité, leur qualité et leur durée de conservation. Selon Vilela et *al*. [80], il existe plusieurs types d'emballages actifs (fig. 16), chacun ayant des fonctions et des avantages spécifiques :

- Emballage antimicrobien : contient des agents qui inhibent ou réduisent la croissance des microorganismes, prolongeant ainsi la durée de conservation des produits alimentaires en prévenant la perte et les maladies d'origine alimentaire.
- Emballage piégeur d'oxygène : élimine l'oxygène de l'emballage pour ralentir les réactions d'oxydation, qui peuvent causer la détérioration des aliments. Ce type d'emballage est particulièrement utile pour les produits sensibles à l'exposition à l'oxygène, tels que les graisses et les huiles.
- Emballage piégeur d'éthylène : l'éthylène est une hormone végétale naturelle qui accélère le mûrissement et la décomposition des fruits et légumes. Les pièges à éthylène dans l'emballage aident à absorber ce gaz, prolongeant la fraîcheur et la durée de conservation des produits.

- Emballage émetteur de dioxyde de carbone : libère du dioxyde de carbone dans l'emballage pour créer une atmosphère modifiée qui inhibe la croissance des microorganismes de l'altération et prolonge la durée de conservation de certains produits.
- Emballage absorbant l'humidité : aide à contrôler la teneur en humidité dans l'emballage, prévenant les problèmes liés à l'humidité tels que la croissance de moisissures et les changements de texture des produits alimentaires.
- Emballage émetteur de saveurs et d'arômes : libère des saveurs ou des arômes spécifiques dans l'emballage pour améliorer l'expérience sensorielle du consommateur ou masquer les odeurs indésirables.
- Emballage intelligent : intègre des capteurs ou des indicateurs pour surveiller l'état des aliments emballés, fournissant des informations en temps réel sur la fraîcheur, la température et d'autres paramètres de qualité.
- Emballage comestible : fabriqué à partir de matériaux comestibles, tels que des polysaccharides et des protéines, pouvant être consommés avec les aliments, réduisant ainsi les déchets et l'impact environnemental.

Ces types de systèmes d'emballage actif offrent des solutions innovantes pour relever les défis de la sécurité alimentaire, de la qualité et de la durabilité dans l'industrie alimentaire.

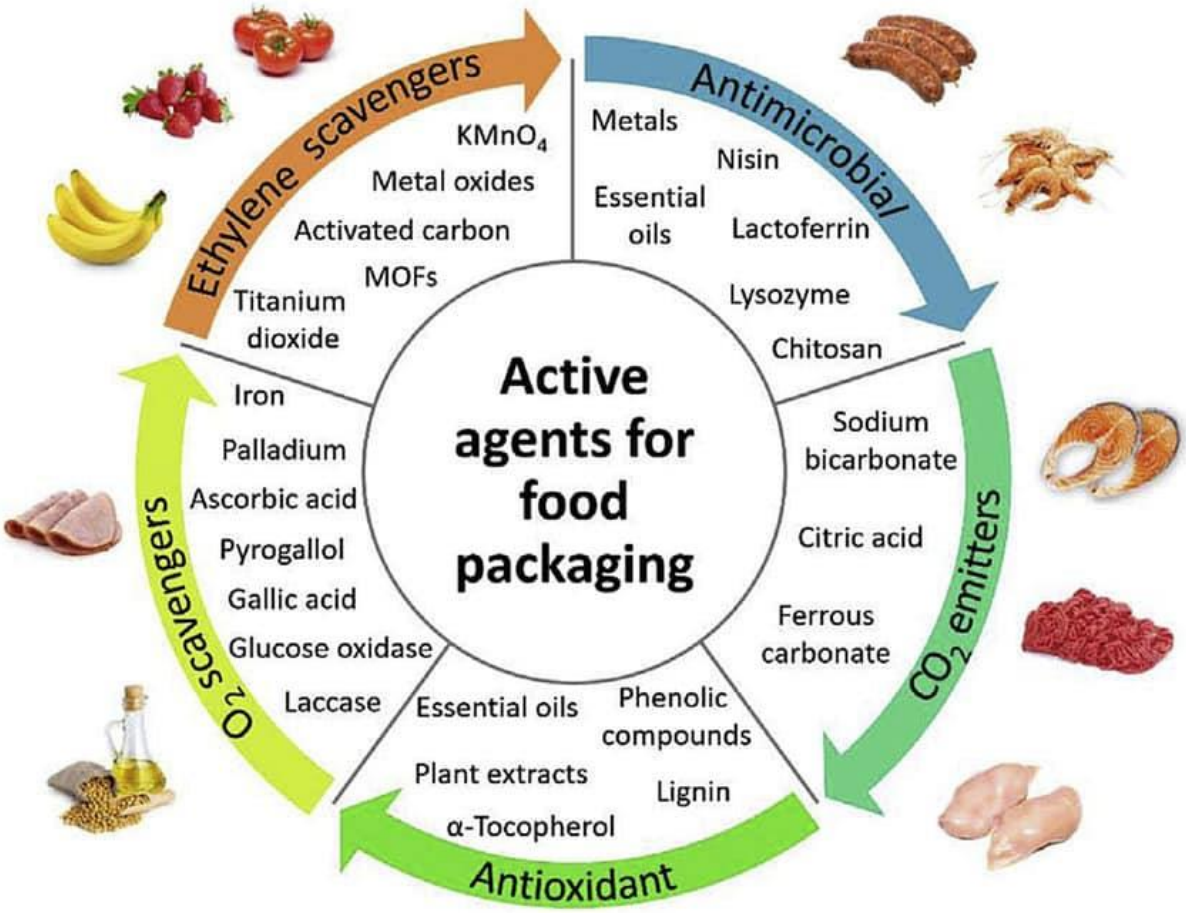


***Fig. 16**: Agents actifs pour emballages alimentaires actifs [80]*

4.2. FILMS COMESTIBLES

Un film comestible désigne une mince couche de matériau enveloppant ou enduisant un produit alimentaire afin de le protéger de l'environnement extérieur. Fabriqué à partir de biopolymères tels que des polysaccharides, des protéines et des lipides, il est issu de sources diversifiées comme les algues, les déchets et les nanofibres de protéines.

Les deux principales méthodes de préparation de films actifs sont les suivantes (fig.17) [81]:

- Enrobage : cette technique implique de plonger le produit alimentaire dans un liquide contenant des biopolymères. Elle est généralement utilisée pour créer une couche protectrice autour des produits alimentaires en les trempant dans une solution contenant le matériau de revêtement.
- Films coulés : les films sont fabriqués sous forme de feuilles puis utilisés pour envelopper ou recouvrir les produits alimentaires. Ces films sont appliqués

comme une fine couche transparente recouvrant le produit alimentaire, offrant ainsi une protection contre les facteurs externes tels que l'humidité et les gaz.

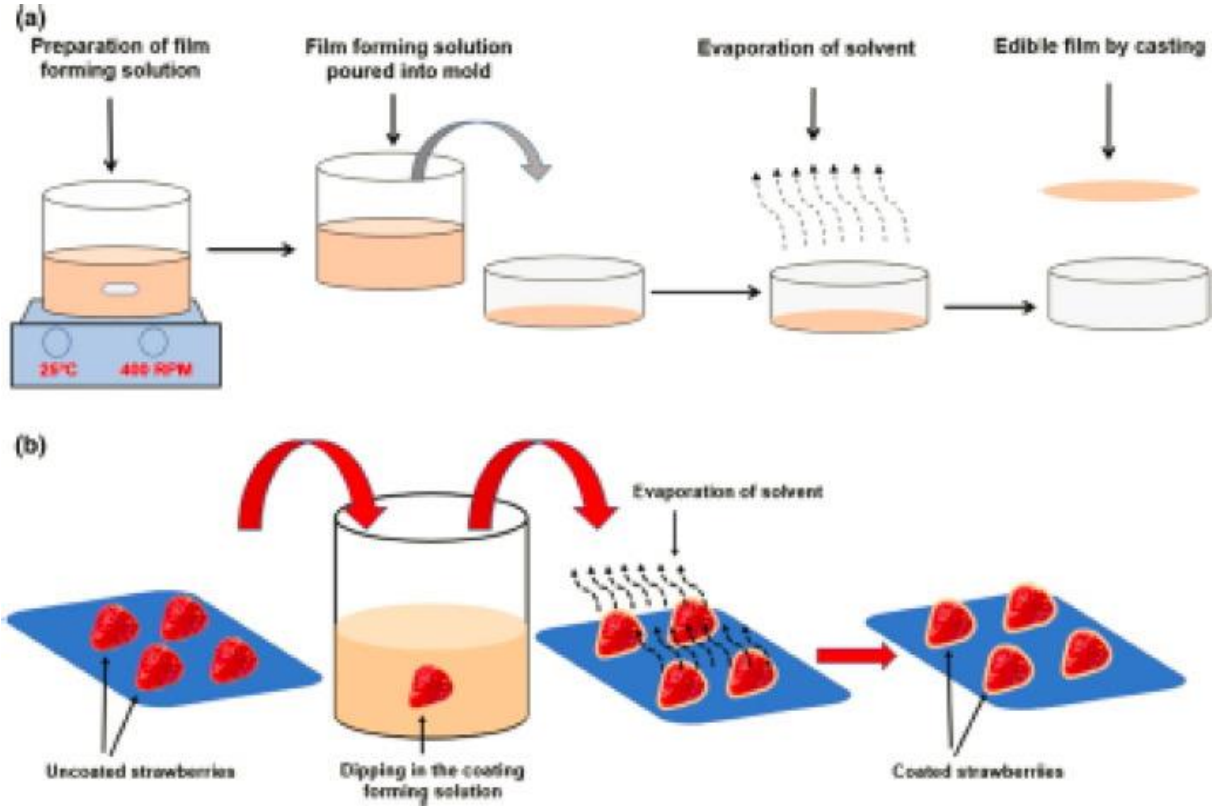


***Fig. 17**: Méthodes de préparation du film actif ; (a) film coulée, (b) film enrobé [81]*

4.3. DIFFÉRENTS MATÉRIAUX UTILISÉS POUR LA FORMATION DE FILMS COMESTIBLES

Dans le contexte des films d'emballage comestibles, différents types de polymères sont utilisés pour créer différentes formulations. Voici quelques types de polymères clés couramment utilisés dans la formation de films comestibles selon [82]:

- **Polymères à base de protéines :**

Les protéines végétales ou animales comme la zéine de maïs, le gluten de blé, les protéines de soja et la gélatine sont utilisées pour produire des films comestibles. Elles ont de bonnes propriétés mécaniques et de barrière aux gaz, bien que moins efficaces contre l'humidité. Ces films peuvent aussi avoir une valeur nutritionnelle ajoutée.

- **Polymères à base de polysaccharides :**

Des polymères comme la cellulose, l'amidon, la pectine, la chitine et la chitosane sont couramment utilisés dans les films comestibles. Ils sont efficaces pour bloquer l'oxygène grâce à leur réseau de liaisons hydrogène, mais sont moins performants contre l'humidité à cause de leur nature hydrophile. Ils aident à prolonger la durée de conservation des produits sans créer de conditions anaérobies.

- **Polymères à base de lipides :**

Les lipides, tels que la lanoline ou les cires (d'abeille, de paraffine ou de carnauba), sont utilisés pour augmenter la résistance à l'humidité dans les films comestibles. Associés à des polysaccharides ou des protéines, ils créent des films composites aux propriétés améliorées.

Ces polymères peuvent être utilisés seuls ou combinés pour créer des films comestibles aux propriétés variées, adaptés à différentes applications d'emballage alimentaire.

4.4. UTILISATION DES HUILES ESSENTIELLES DANS LA FORMULATION DE FILMS COMESTIBLES.

Les huiles essentielles sont couramment utilisées dans les films de revêtement comestibles pour la préservation des aliments. Ces huiles, telles que l'huile de clou de girofle, l'huile de citron, l'huile de cannelle, l'huile d'arbre à thé, l'huile de lavande, l'huile d'origan et l'huile de menthe poivrée, sont incorporées dans les films comestibles pour améliorer leurs propriétés antimicrobiennes et prolonger la durée de conservation des produits alimentaires. Des études ont montré que les huiles essentielles peuvent réduire la charge microbienne, maintenir les paramètres post-récolte tels que l'activité antioxydante et prolonger la durée de conservation des fruits et légumes lorsqu'elles sont utilisées dans des revêtements comestibles [83].

Les avantages de l'utilisation des huiles essentielles dans les films de revêtement comestibles comprennent :

- **Activité antimicrobienne :**

Les huiles essentielles ont démontré une excellente activité antibactérienne, antifongique et antioxydante lorsqu'elles sont incorporées dans des films et des revêtements comestibles. Cela aide à réduire notamment la charge microbienne, à maintenir les paramètres post-

récolte tels que l'activité antioxydante et à prolonger la durée de conservation des fruits et légumes [81].

- **Libération progressive et stabilité :**

L'incorporation d'huiles essentielles dans des films comestibles peut également aider au processus d'émulsification, améliorant ainsi leur dispersion dans la solution du film, ce qui assure une couverture totale de la surface de l'aliment [79].

- **Solution durable :**

Les films et revêtements comestibles sont souvent fabriqués à partir de matériaux biodégradables, comestibles et de qualité alimentaire, ce qui en fait une option durable pour la préservation des aliments [81].

5. L'HUILE ESSENTIELLE DU THYM

Le thym est choisi en raison de la réputation de ses extraits pour leurs propriétés antimicrobiennes, ainsi que de sa disponibilité abondante en Algérie.

Le *Thymus vulgaris*, connu sous le nom de thym commun, est une plante à fleurs de la famille des Lamiacées, originaire du sud de l'Europe. Il est célèbre pour son parfum intense et ses effets antimicrobiens et anti-inflammatoires notables. L'huile essentielle extraite du *Thymus vulgaris* est largement étudiée pour sa composition chimique et ses propriétés biologiques. Cette huile est habituellement obtenue par distillation à la vapeur des parties aériennes de la plante et sa composition peut varier en fonction de divers facteurs environnementaux et de culture. Elle renferme différents composants chimiques tels que le p-cymène, le γ-terpinène et le thymol, qui contribuent à ses propriétés antimicrobiennes. Des études ont démontré son efficacité contre diverses bactéries et champignons liés aux aliments, suggérant qu'elle pourrait être une source prometteuse d'antiseptiques naturels pour l'industrie pharmaceutique et alimentaire. De plus, différentes variétés de thym, caractérisées par leur composition en huile essentielle, présentent des activités antifongiques variables. Outre ses propriétés antimicrobiennes, l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* possède également des propriétés antioxydantes, ce qui la rend précieuse pour la préservation des aliments et des produits pharmaceutiques [84].

5.1. COMPOSITION DE L'HUILE ESSENTIELLE DU THYM

La composition de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* (tableau 10) peut varier selon la région et les pratiques culturales. Parmi ses principaux constituants figurent le p-cymène, le γ-terpinène et le thymol. Une étude a révélé que l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* récoltée dans l'état de Rio De Janeiro, au brésil, contenait du limonène (22,3 %), du γ-terpinène (22,9 %) et de l'éther méthylthymol (25,5 %). Dans une autre étude, l'huile essentielle de thym récoltée dans la région de timișoara, en Roumanie, présentait une composition différente, avec du p-cymène (8,41 %), du γ-terpinène (30,90 %) et du thymol (47,59 %) [85].

***Tableau 10**: Détails des composés bioactifs trouvés dans l'huile de thym après analyse par GC-MS, avec leur formule, leur poids moléculaire et l'activité rapportée de chaque composé bioactif [55]*

Composé	*Formule moléculaire*	*Masse moléculaire*	*Activité rapporté*
A-pinène	C10h16	136.24	Antioxydant, anti-inflammatoire, chondroprotecteur
Camphène	C10h16	136.24	Hypolipidémiant, hépatoprotecteur
B-myrcène	C10h16	136.24	Antioxydant, antiulcéreux, anticancéreux
Carène	C10h16	136.24	Antioxydant, anti-inflammatoire
P-cymène	C10h14	134.21	Antioxydant, antimicrobien
G-terpinène	C10h16	136.24	Antimicrobien, antioxydant
A-terpinéol	C10h18o	154.25	Antimicrobien
Thymol	C10h14o	150.22	Antimicrobien, antioxydant
Caryophyllène	C15h24	204.36	Anesthésie locale, antimicrobien
Humulène	C15h24	204.36	Larvicide, anticancéreux

5.2. PROPRIÉTÉS DE L'HUILE ESSENTIELLE DU THYM

L'huile essentielle de *Thymus vulgaris* présente une activité antifongique notable, attribuée à sa richesse en monoterpènes oxygénés, en particulier le thymol. Cette activité a été mise en évidence contre diverses espèces fongiques telles que *Candida tropicalis* et *Candida*

albicans. Elle se manifeste par l'inhibition de la formation de biofilms et une interaction synergique avec des agents antifongiques, notamment contre les souches résistantes de candida. L'emploi de l'huile essentielle sous forme de nano-émulsion a également révélé une forte activité antimicrobienne contre un éventail de champignons. Cette substance inhibe également la croissance de différents organismes fongiques, tels qu'*Aspergillus niger* et *Penicillium expansum*, par sa capacité à perturber la membrane cellulaire des cellules fongiques, induisant ainsi leur mort. Parallèlement à son action antifongique, l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* démontre une activité antibactérienne notable, s'attaquant à des souches bactériennes variées telles que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. Son utilisation réduit la formation de biofilms bactériens et agit en synergie avec certains antibiotiques contre les souches bactériennes résistantes [85], [86], [87].

de plus, l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* a démontré des propriétés antioxydantes significatives. Son activité antioxydante a été évaluée à 85,2 ± 0,2 % en utilisant le radical DPPH, exprimée en équivalent de 479,34 ± 1,1 TEAC. Cette huile essentielle est également capable d'inhiber l'oxydation des lipides dans les produits alimentaires, ce qui pourrait potentiellement prolonger leur durée de conservation. Les mécanismes responsables de son activité antioxydante incluent la capacité à neutraliser les radicaux libres, à chélater les ions métalliques et à inhiber la peroxydation lipidique. De plus, elle présente une forte activité de piégeage des radicaux, non seulement avec le radical DPPH mais aussi avec l'ABTS, ainsi qu'une capacité de chélation du fer. En outre, elle contient une quantité significative de composés phénoliques totaux, principalement attribuables à ses terpènes, avec un contenu de 177,3 mg GAE g-1, démontrant des activités de piégeage des radicaux DPPH et ABTS respectivement de 149,8 µmol de te g-1 et 192,4 µmol de TE g-1 [88], [89].

5.3. SÉCURITÉ DE L'HUILE ESSENTIELLE DU THYM

Dans une étude réalisée par Domaracký [90], l'impact de certaines huiles essentielles, notamment la sauge, le thym, le clou de girofle et la cannelle, sur la croissance et le développement des embryons de souris préimplantatoires in vivo a été examiné. Pour ce faire, les huiles essentielles ont été administrées aux souris via leur alimentation à une concentration de 0,25 %. Les résultats obtenus ont révélé que seule l'huile essentielle de thym n'entraîne aucun effet négatif détectable sur le développement embryonnaire.

S'agissant de la toxicité, Kalyvianak [91] a mené une étude visant à évaluer le risque potentiel associé à un mélange d'huiles essentielles de thym et de sauge grecque, utilisé dans le cadre d'un traitement antiviral contre le rhume et la grippe. Les conclusions de cette recherche indiquent que ce mélange est sans danger.

Par ailleurs, Rojas-Armas [92] a étudié la toxicité aiguë et la toxicité liée à une administration orale répétée sur 28 jours de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris* L. chez le rat. Les résultats ont mis en évidence une toxicité orale modérée, suggérant une dose sans effet nocif observable (NOAEL) supérieure à 250 mg/kg/jour.

CHAPITRE III : METHODOLOGIE

1. MATERIEL

1.1. CONSOMMABLES

La plupart des produits chimiques proviennent de Sigma-Aldrich Ltd. (MO, États-Unis). De plus, CARLO ERBA LLC (Milan, Italie) a fourni l'acide sulfurique et le carbonate de sodium, tandis que VWR LLC (PA, États-Unis) a fourni le bouillon de sel de tryptone, le molybdate d'ammonium et la phénolphtaléine. Condalab LLC (Madrid, Espagne) a fourni le PCA, tandis que Liofilchem LLC (Teramo, Italie) a fourni le PDA. L'huile essentielle de *Thymus vulgaris*, extraite par distillation à la vapeur, a été obtenue auprès d'un extracteur local, vie bio (Blida, Algérie).

1.2. ÉCHANTILLONNAGE

Les dattes Deglet Nour ont été cueillies à un stade de maturité appelé Rutab dans la région de Biskra, en Algérie, en décembre 2021. Après la récolte, elles ont été soigneusement lavées à l'eau distillée, puis laissées à égoutter à température ambiante avant toute autre manipulation. Les techniques étudiées sont appliquées immédiatement après cette étape.

1.3. CHOIX DE L'HUILE ESSENTIELLE

Avant de choisir l'huile essentielle de thym pour cette étude, une analyse antimicrobienne préliminaire a été réalisée sur plusieurs concentrations d'huiles essentielles, notamment le thym, le laurier, le pamplemousse et le romarin utilisée traditionnellement dans les Btana. Pour évaluer l'effet antifongique, la méthode d'empoisonnement alimentaire a été utilisée contre *A. Niger* et *A. Flavus*, tandis que la méthode d'antibiogramme a été utilisée pour évaluer l'activité antibactérienne contre *E. Coli* et *Enterobacter cloacae*, comparativement à l'antibiotique céfixime (Fig. 18). Des disques blancs ont été imprégnés d'émulsions contenant les huiles essentielles. Les résultats ont montré une supériorité de l'huile essentielle de thym par rapport aux autres huiles essentielles.

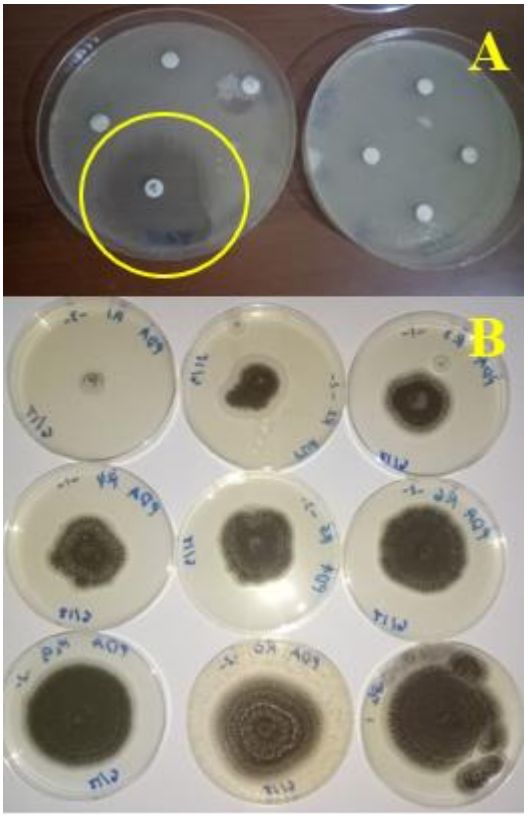


***Fig. 18**: Evaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles : (A) la méthode antibiogramme, (B) la méthode d'empoisonnement alimentaire*

2. ETUDES COMPARATIVE DES TECHNIQUES DE CONSERVATION

2.1. APPLICATION DES TECHNIQUES DE CONSERVATION

2.1.1. APPLICATION DU FILM ACTIF

Le film actif a été élaboré selon un processus en trois couches, basé sur les travaux de Coelho et al. [93] avec des modifications.

Dans la première et la troisième étape, de l'amidon (8 g) a été mélangé avec de l'eau distillée (300 ml) en utilisant un agitateur magnétique pendant 24 heures continues. Des composants supplémentaires, comprenant 2 g d'acide ascorbique (uniquement dans la première couche), 0,6 g de glycérine et 2 g de carboxyméthylcellulose (CMC) dans 100 mL d'eau distillée, ont été mélangés et chauffés à 70 °C pendant 30 minutes, suivis de 20 minutes dans un bain à ultrasons à 46 kHz.

Pour la deuxième couche, 3 g de tween 80 et 95 g d'eau distillée ont été mélangés dans un bain-marie à 70 °C jusqu'à dissolution complète du tween 80. Après refroidissement, 2 g d'huile essentielle de thym ont été ajoutés pour créer une émulsion, suivie de 5 minutes dans un bain à ultrasons à 46 kHz.

Les dattes ont été ensuite immergées séquentiellement dans chaque couche : d'abord dans la première couche, puis dans la deuxième, et enfin dans la troisième. Chaque immersion a duré 5 minutes, suivie d'un séchage à l'air pendant 24 heures.

Enfin, les dattes enrobées et les dattes témoins ont été conditionnées dans des sacs de congélation aseptiques en polyéthylène.

2.1.2. APPLICATION DE L'EMBALLAGE SOUS-VIDE

Les dates, nettoyées et séchées, ont été placées dans des sacs en plastique de dimensions 22 × 20 cm fournis par Electrodomésticos Taurus, S.L. (Lleida, Espagne). Ces sacs ont été scellés sous vide à l'aide d'une machine d'emballage alimentaire fournie par Zhejiang Qunhai Electronic Technology Co., Ltd. (Zhejiang, Chine), capable d'atteindre un degré de vide maximal de 430 mmHg. Ils sont constitués de polyamide et de polyéthylène.

2.2. ANALYSES MORPHOLOGIQUES DES DATTES

Le poids du fruit entier, de la pulpe et du noyau a été mesuré à l'aide d'une balance analytique, tandis que les mesures de longueur et de diamètre ont été prises à l'aide d'un pied à coulisse numérique. La dureté a été mesurée à l'aide d'un duromètre alimentaire équipé d'une tête de pression de 8 mm.

2.3. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DES DATTES

2.3.1. PRÉPARATION DE L'EXTRAIT DE DATTE

Pour évaluer les paramètres tels que l'acidité, l'indice de brunissement, les sucres totaux, les sucres réducteurs, la teneur totale en composés phénoliques, les tanins totaux, les flavonoïdes et l'activité antioxydante totale, un extrait de datte est préparé.

La préparation de l'extrait de datte a été réalisé selon la méthode décrite par Al-Asmari et *al*. [55] avec quelques ajustements. Une quantité de 1 g de datte fraîchement hachée a été homogénéisée avec 20 mL de méthanol. Cette solution a été soumise à un traitement par

ultrasons dans un bain fonctionnant à 46 kHz pendant 20 minutes, puis centrifugée à 4000 tr/min pendant 10 minutes. Le surnageant a ensuite été récupéré.

2.3.2. HUMIDITÉ

Le taux d'humidité des dattes a été mesuré en adaptant la méthode décrite dans AOAC [94]. 3 g de pulpe de datte finement hachée ont été placés dans une étuve à 105 °C pendant 3 heures. Ensuite, les échantillons ont été laissés refroidir dans un dessiccateur pendant environ 1 heure avant de mesurer leur teneur en humidité (H%) selon l'équation (1). Cette étape a été réalisée à l'aide d'une étuve M200 de Memmert Gmbh + Co. Kg (Schwabach, Allemagne).

$$\mathrm{H}\ (\%) = \frac{\mathrm{M1} - \mathrm{m2}}{\mathrm{p}} x\ 100 \qquad (1)$$

- H : teneur en humidité (%)
- M1 : poids du récipient avec la pulpe fraîche (mg)
- M2 : poids du récipient avec la pulpe sèche (mg)
- P : poids de la pulpe fraîche (mg)

2.3.3. ACIDITÉ TITRABLE

L'acidité titrable a été évaluée par titrage colorimétrique en utilisant la phénolphtaléine comme indicateur de couleur, conformément à la méthode décrite par Nielsen [95], avec quelques adaptations. En résumé, un extrait de datte dilué à 1 % v/v dans de l'eau distillée a été mélangé avec 50 µl d'indicateur de phénolphtaléine, puis titré avec une solution d'hydroxyde de sodium 0,1 n jusqu'à l'obtention d'une couleur rose, tout en agitant continuellement. L'acidité est ensuite calculée selon l'équation (2).

$$\mathrm{A}\ (\%) = \frac{N\ x\ V1\ x\ Eq\ P}{V2\ x\ 10} \qquad (2)$$

- N : normalité de NaOH (mEq/ml)
- V1 : volume de NaOH (ml)
- V2 : volume d'échantillon (ml)
- Eq p. : poids équivalent de l'acide citrique (mg/mEq)

2.3.4. pH

Le ph a été déterminé selon la méthode de Reynes [96]. Au début, 5 g de pulpe de datte ont été mélangés avec 10 mL d'eau distillée, puis des ajouts successifs de 10 mL d'eau distillée ont été effectués, tout en mesurant le ph à chaque étape à l'aide d'un pH-mètre PHS-25 de Yantai Stark Instrument Co., Ltd. (Yantai, Chine). Ensuite, une équation de tendance a été déduite du graphique selon l'équation (3), où v représente le volume d'eau distillée ajouté. La valeur du ph a été calculée à v = 0 pour obtenir une estimation du ph initial.

$$pH = f\,(v \text{ eau distillée}) \qquad (3)$$

2.3.5. Indice de brunissement

Pour évaluer l'indice de brunissement, la mesure de l'absorbance de 3 mL de l'extrait de datte a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre modèle ME-721 (Mesu Lab Instruments Ltd., Guangzhou, Chine), réglé à une longueur d'onde de 420 nm, conformément à la méthode décrite par Peterson et *al*. [97].

2.3.6. Activité antioxydante

L'activité antioxydante totale (TAA) a été évaluée en utilisant la méthode du phosphomolybdate telle qu'exposée dans l'étude d'Afsar et *al*. [98]. Le réactif a été préparé en mélangeant 0,6 mm d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate de sodium et 4 mM de molybdate d'ammonium dans un ratio de 1:1:1. Ensuite, 3 mL du mélange ont été ajoutés à 0,3 mL d'extrait de datte et incubés pendant 30 minutes à 90 °C. Par la suite, l'absorbance a été mesurée à 695 nm. La TAA a été exprimée en équivalents d'acide ascorbique.

2.3.7. Polyphénols totaux

L'analyse a été effectuée en suivant le protocole décrit par Ali-Rachedi et *al*. [99], avec quelques ajustements mineurs. Plus précisément, 400 µl d'extrait de datte ont été mélangés avec 2 mL de réactif de Folin-Ciocalteu (10% v/v) et 1,6 mL de carbonate de sodium (7,5% p/v). Après un repos de 30 minutes à température ambiante, l'absorbance du mélange a été mesurée à 765 nm. Une courbe d'étalonnage a été établie en utilisant des dilutions d'acide gallique.

2.3.8. TANNINS

Les tanins totaux (TT) ont été évalués selon le protocole décrit par Bajaj & Devsharma [100], avec quelques ajustements mineurs. En résumé, 1,4 mL d'extrait de datte ont été mélangés avec 2,1 mL d'HCl (37%) et 0,7 mL d'eau distillée. Le mélange a été chauffé à 100 °C pendant 30 minutes, puis refroidi à température ambiante. L'absorbance a été mesurée à 550 nm, et une courbe d'étalonnage a été établie à l'aide de dilutions de solution d'acide tannique.

2.3.9. FLAVONOÏDES

Selon Ali-Rachedi et *al*. [99], les flavonoïdes ont été quantifiés en mélangeant 1 mL d'extrait de datte avec 0,3 mL de NaNO2 (5% p/v). Après 5 minutes, 0,3 mL d'AlCl3 (10% p/v) ont été ajoutés, suivis de l'ajout de 2 mL de NaOH 2 m après 6 minutes supplémentaires. L'absorbance a été mesurée à 510 nm par rapport à la courbe d'étalonnage de quercétine.

2.3.10. SUCRES TOTAUX

Le taux des sucres totaux a été évalué en utilisant la méthode de phénol – acide sulfurique décrite par Nielsen [101], avec de légères adaptations. Initialement, 0,5 mL d'une dilution de 1% v/v d'extrait de datte dans de l'eau distillée ont été mélangés avec 0,4 mL de phénol à 5% p/v dans de l'eau distillée et 2,5 mL d'acide sulfurique à 96%, suivis d'une période de refroidissement de 10 minutes à température ambiante. Après agitation dans le vortex, l'absorbance à 530 nm a été mesurée. Une courbe d'étalonnage a été établie en utilisant la même procédure, mais avec une solution de glucose.

2.3.11. SUCRES RÉDUCTEURS

Les sucres réducteurs ont été évalués par la méthode de titrage de Fehling, adaptée de l'AOAC [94]. La solution de Fehling se compose de deux solutions, A et B. Pour préparer la solution A, 34,639 g de sulfate de cuivre sont dissous dans 500 mL d'eau distillée. La solution B est obtenue en mélangeant 173 g de tartrate de sodium-potassium et 50 g de NaOH dans 500 mL d'eau distillée. Le titrage est effectué immédiatement après la combinaison des solutions A et B dans un rapport de 1:1. Pendant le titrage, la solution de Fehling est chauffée puis titrée avec l'extrait de datte tout en agitant jusqu'à l'apparition d'une couleur brun-rougeâtre. La quantification des sucres réducteurs a été réalisée en termes d'équivalents de glucose à l'aide d'une solution concentrée de glucose de 5 mg/ml, selon la formule 4 :

$$C1(mg/mL) = \frac{\mathrm{C2} - \mathrm{v2}}{V1} \quad (4)$$

- C1 : concentration en sucres réducteurs (mg/ml)
- V1 : volume des sucres réducteurs (ml)
- C2 : concentration en glucose (mg/ml)
- V2 : volume de glucose (ml)

2.3.12. PROTÉINES

L'estimation de la teneur en protéines a été réalisée selon la méthode du dosage au biuret décrite par Jain [102]. Cette méthode implique le mélange de 5 mL de réactif de biuret avec 1 mL d'extrait de dattes, suivi d'une incubation de 30 minutes à température ambiante, puis de la mesure de l'absorbance à 540 nm. Si nécessaire, une centrifugation a été effectuée. Une courbe étalon de concentration par rapport à l'absorbance a été établie en utilisant le sérum de l'albumine humaine.

2.4. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES DATTES

Les méthodes décrites par Al-Asmari et *al*. [55] et Roberts & Greenwood [103] ont été suivies pour préparer une suspension initiale d'échantillon de pulpe de datte. Cette procédure impliquait de broyer aseptiquement 10 g de pulpe de datte avec 90 mL de bouillon de sel de tryptone pour créer la solution mère, suivie de dilutions décimales successives. À partir de chaque dilution, des aliquotes ont été réparties et ensemencées en triplicata.

Pour compter les bactéries mésophiles totales, l'agar nutritif pour dénombrement (PCA) a été utilisé comme milieu de culture. Les échantillons ont ensuite été incubés à 30 °C pendant 72 heures dans un incubateur UM200 de Memmert Gmbh + Co. Kg (Schwabach, Allemagne).

Dans le cas des champignons, l'agar de pomme de terre et de dextrose (PDA) supplémenté en acide tartrique a été utilisé, et les cultures ont été laissées à croître pendant 5 jours à 25 °C. L'énumération des colonies a été effectuée en tant que log UFC/g.

2.5. ANALYSE STATISTIQUE

Les données statistiques descriptives ont été présentées sous forme de moyennes des valeurs obtenues en trois répétitions, accompagnées de l'erreur standard. Pour comparer les

différentes techniques de conservation et les températures de stockage à chaque niveau de temps, une analyse de variance factorielle (ANOVA) a été effectuée. Ensuite, le test de Sidak a été utilisé pour détecter les différences spécifiques entre les groupes. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS version 25 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, États-Unis), avec un seuil de signification fixé à $p < 0,05$.

CHAPITRE IV : RESULTATS

1. ANALYSES MORPHOLOGIQUES DES DATTES

***Tableau 11**: Étude comparative de la conservation des dattes emballées sous vide, enrobées au film actif et témoins à des températures de 4°C et ambiante après 6 mois de stockage*

	4°C	T° AMBIANTE
FILM ACTIF		
EMBALLAGE SOUS VIDE		

CONTROL

Les images prises des dattes après 6 mois de conservation (Tabeau 11) montrent une fermentation avancée des dattes conservées à température ambiante, les rendant impropres à la consommation. L'emballage sous vide s'est gonflé en raison de la production de gaz résultant de la fermentation.

***Tableau 12**: Moyennes et SE des mesures des paramètres morphologiques selon la durée de stockage, la température et la technique de conservation chez Phoenix dactylifera*

		Temps			*Température*		*Technique*		
		2M	4M	6M	T°F	T°A	Tech.1	Tech.2	Tech.3
Longueur (mm)	Moy.	42,498	43,083	41,948	42,817	42,203	42,21	42,884	42,436
	SE	0.506			0.413		0.506		
Diamètre (mm)	Moy.	20,778	20,593	20,849	20,856	20,624	20,582b	19,812b	21,827a
	SE	0.476			0.275		0.476		
Poids de la datte (g)	Moy.	11,678a	11,471ab	10,75b	11,544	11,056	10,836	11,542	11,521
	SE	0.356			0.290		0.356		
Poids du noyau (g)	Moy.	0,869	0,873	0,764	0,836	0,834	0,807	0,824	0,875
	SE	0.50			0.41		0.50		
	Moy.	10,536a	10,29ab	9,754b	10,446	9,941	9,798	10,504	10,278

Poids de la pulpe (g)	SE	0.317			0.258		0.317		
Dureté (kg/cm2)	Moy.	1,378b	1,633b	1,95a	1,867a	0,595b	1,728	1,733	1,5
	SE	0.110			0.090		0.110		

Note : Les différences entre les moyennes des groupes ont été déterminées à l'aide de la correction de Sidak pour les comparaisons multiples. Les lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes (p < 0,05, n=3). Tech 1, 2, 3, correspondent respectivement : contrôle, film actif et emballage sous vide.

1.1. LONGUEUR

***Tableau 13**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur la longueur des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	54,190[a]	17	3,188	1,383	,202	,395
Constante	97582,555	1	97582,555	42338,260	,000	,999
Temps	11,586	2	5,793	2,513	,095	,123
Technique	4,236	2	2,118	,919	,408	,049
Température	5,085	1	5,085	2,206	,146	,058
Temps * Technique	28,594	4	7,148	3,101	**,027**	,256
Temps * Température	,747	2	,374	,162	,851	,009
Technique * Température	,299	2	,150	,065	,937	,004
Temps * Technique * Température	3,644	4	,911	,395	,811	,042
Erreur	82,974	36	2,305			
Total	97719,719	54				
Total corrigé	137,164	53				

a. R-deux = ,395 (R-deux ajusté = ,109)

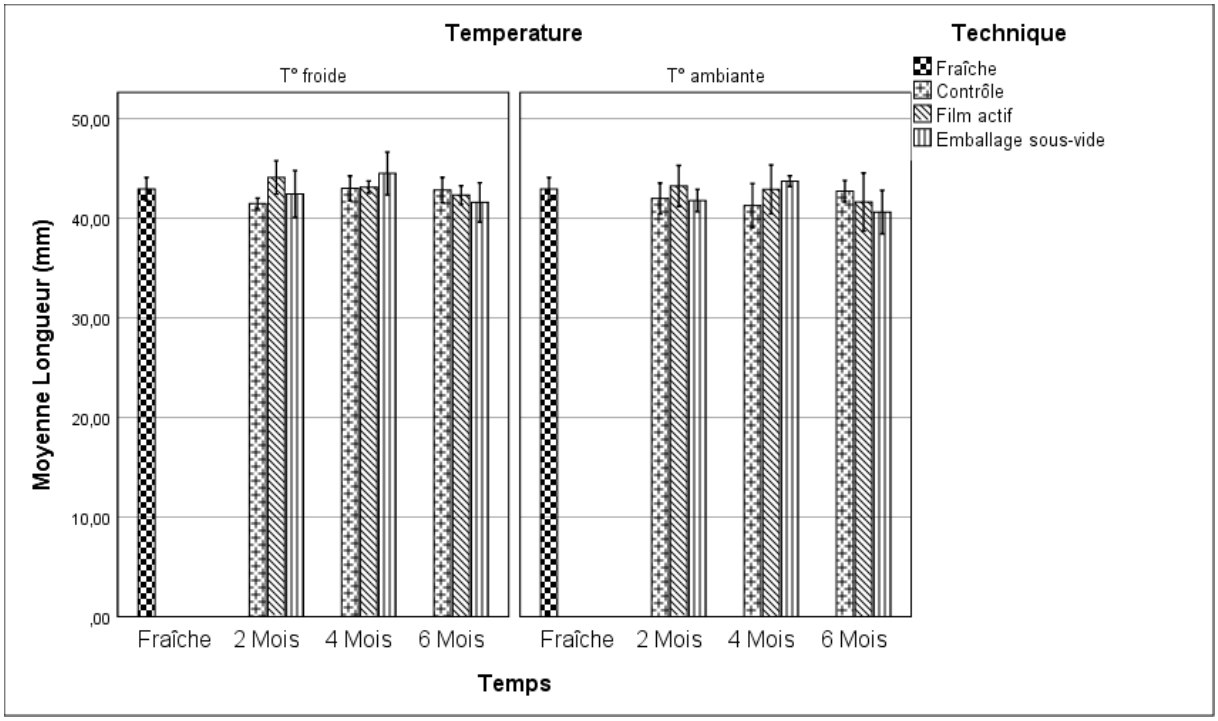


***Fig. 19**: Évolution de la Longueur (mm) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 13 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 12 :

- Les effets principaux n'ont pas un effet statistiquement significatif sur la longueur de la datte.

Interactions :

- **Temps * Technique :** c'est la seule interaction significative sur la longueur des dattes (F = 3,101, p = 0,027). Cela signifie que l'effet du temps sur la longueur des dattes dépend légèrement de la technique de conservation utilisée. On peut observer la différence entre les dattes témoins et les dattes enrobées du film actif après deux mois de conservation à température froide.

Les valeurs de la longueur sont présentées dans la figure 19.

1.2. DIAMÈTRE

***Tableau 14**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'humidité des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	83,640[a]	17	4,920	2,411	,013	,532
Constante	23228,385	1	23228,385	11384,314	,000	,997
Temps	,632	2	,316	,155	,857	,009
Technique	37,241	2	18,620	9,126	**,001**	,336
Température	,728	1	,728	,357	,554	,010
Temps * Technique	7,440	4	1,860	,912	,468	,092
Temps * Température	13,514	2	6,757	3,312	**,048**	,155
Technique * Température	1,900	2	,950	,466	,631	,025
Temps * Technique * Température	22,185	4	5,546	2,718	**,045**	,232
Erreur	73,454	36	2,040			
Total	23385,479	54				
Total corrigé	157,093	53				

a. R-deux = ,532 (R-deux ajusté = ,312)

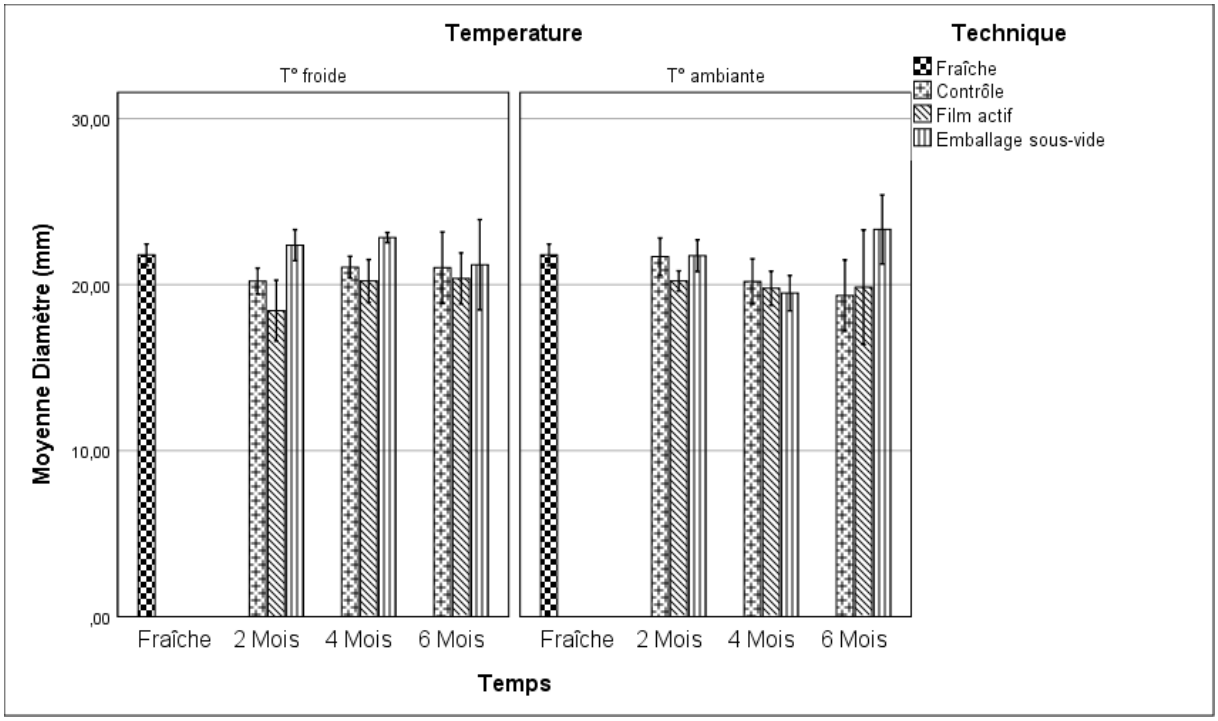


***Fig. 20**: Évolution du Diamètre (mm) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 14 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 12 :

- **Temps :** Le facteur temps n'a pas d'effet significatif sur le diamètre moyen des dattes (F = 0,155, p = 0,857). Cela signifie que le diamètre des dattes ne varie pas significativement en fonction de la durée de stockage.

- **Technique :** Le facteur technique a un effet significatif sur le diamètre moyen des dattes (F = 9,126, p = 0,001). En effet, en moyenne, les dattes emballées sous-vide ont tendance à avoir un diamètre plus important que les autres dattes. Cette observation peut être attribuée à la pression exercée par l'emballage lors de l'extraction de l'air, caractéristique de la technique sous vide.

- **Température :** Le facteur température n'a pas d'effet significatif sur le diamètre moyen des dattes (F = 0,357, p = 0,554). Cela signifie que la température de stockage n'a pas d'effet important sur le diamètre des dattes.

Interactions :

- **Temps * Technique :** L'interaction entre le temps et la technique n'a pas d'effet significatif sur la longueur des dattes (F = 0,912, p = 0,468). Cela signifie que l'effet de la technique de conservation sur la longueur des dattes ne dépend pas de la température de stockage.

- **Temps * Température :** L'interaction entre le temps et la température a un effet significatif sur le diamètre moyen des dattes (F = 3,312, p = 0,048). Cela signifie que l'effet du temps sur le diamètre des dattes dépend légèrement de la température de stockage. Par exemple, le diamètre des dattes stockées à une température basse peut évoluer différemment au fil du temps que le diamètre des dattes stockées à une température ambiante.

- **Technique * Température :** L'interaction entre la technique et la température n'a pas d'effet significatif sur e diamètre des dattes (F = 0,466, p = 0,631). Cela signifie que l'effet de la technique de conservation sur la longueur des dattes ne dépend pas de la température de stockage.

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction est significative (p = 0,045) Cela signifie que l'effet de l'interaction entre Temps et Technique dépend de la température. En d'autres termes, l'effet de la durée de conservation sur le diamètre n'est pas constant pour toutes les techniques et pour toutes les valeurs de température. La fig. 20 peut aider à mieux comprendre cette interaction.

1.3. POIDS DE LA DATTE

***Tableau 15**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur le poids des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	24,414[a]	17	1,436	1,261	,271	,373

Constante	6894,785	1	6894,785	6054,945	,000	,994
Temps	8,527	2	4,263	3,744	**,033**	,172
Technique	5,800	2	2,900	2,547	,092	,124
Température	3,212	1	3,212	2,820	,102	,073
Temps * Technique	1,790	4	,448	,393	,812	,042
Temps * Température	2,338	2	1,169	1,027	,368	,054
Technique * Température	,453	2	,227	,199	,820	,011
Temps * Technique * Température	2,294	4	,573	,504	,733	,053
Erreur	40,993	36	1,139			
Total	6960,193	54				
Total corrigé	65,408	53				

a. R-deux = ,373 (R-deux ajusté = ,077)

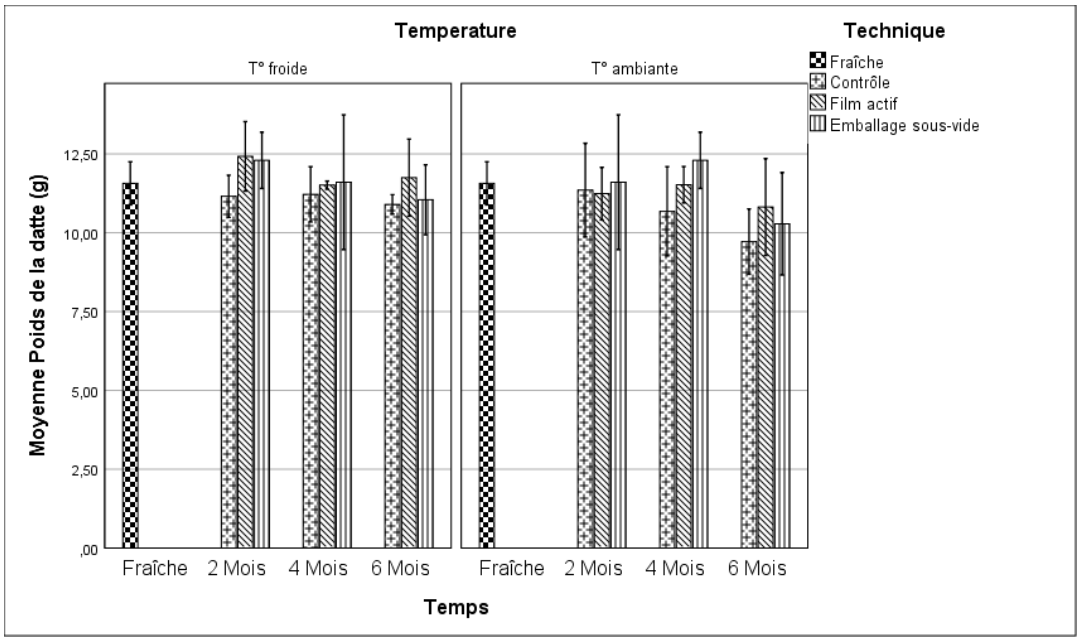


***Fig. 21**: Évolution du poids (g) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats selon l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 15 :

Seule la durée de conservation exerce un effet significatif sur le poids des dattes. La moyenne générale des poids des dattes après 6 mois de conservation est significativement inférieure à celle des mois précédents (tableau 12). L'évolution du poids des dattes est représentée dans la fig. 21.

1.4. DURETÉ

***Tableau 16**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur la dureté des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	11,481[a]	17	,675	6,181	,000	,745
Constante	147,676	1	147,676	1351,608	,000	,974
Temps	2,958	2	1,479	13,537	,000	,429
Technique	,638	2	,319	2,920	,067	,140
Température	2,449	1	2,449	22,415	,000	,384
Temps * Technique	1,053	4	,263	2,409	,067	,211
Temps * Température	2,534	2	1,267	11,595	,000	,392
Technique * Température	,036	2	,018	,164	,849	,009
Temps * Technique * Température	1,813	4	,453	4,148	,007	,316
Erreur	3,933	36	,109			
Total	163,090	54				
Total corrigé	15,414	53				

a. R-deux = ,745 (R-deux ajusté = ,624)

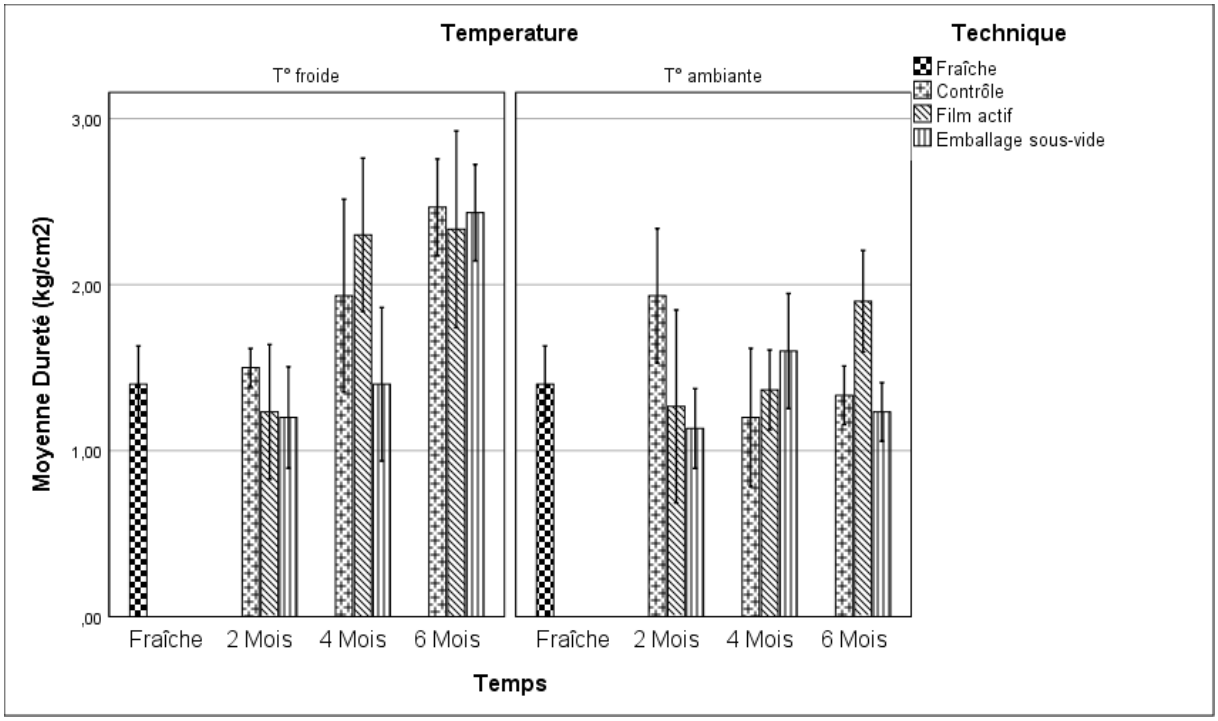


***Fig. 22**: Évolution de la Dureté (kg/cm^2) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 16 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 12 :

- **Temps :** Ces résultats indiquent que le temps a un effet statistiquement significatif sur la dureté des dattes ($p < 0,05$). Cela signifie que la dureté des dattes varie avec le temps de stockage. En effet, la moyenne de la dureté de l'ensemble des dattes après 2 mois de conservation est significativement inférieure à celle après 6 mois de conservation

- **Température :** Ces résultats indiquent que la température a un effet statistiquement significatif sur la dureté des films ($p < 0,05$). Où s'est révélé que la dureté des dattes est plus élevée à des températures froides qu'à des températures ambiantes.

- **Technique :** Ce facteur n'a pas d'effet significatif sur la dureté des dattes ($p = 0.067$).

Interactions :

- **Temps * Température :** Ces résultats indiquent que l'interaction temps-température a un effet statistiquement significatif sur la dureté des films ($p < 0,001$). Cela signifie que l'effet du temps sur la dureté des dattes dépend de la température de stockage. En effet, il est observable que les changements au fil du temps sont plus discernables à une température froide (fig. 22).

- Les interactions entre la technique et le temps, ainsi qu'entre la technique et la température, ne sont pas significatives ($p = 0.067$ et $p = 0.866$ respectivement). Cela signifie que l'effet des facteurs temps ou température sur la dureté des dattes ne dépend pas de la technique utilisée.

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction est statistiquement significative ($p = 0,007$). Cela implique que l'effet de l'interaction entre le Temps et la Technique varie en fonction de la température. En d'autres termes, l'effet de la durée de conservation sur la dureté n'est pas uniforme pour toutes les techniques et pour toutes les valeurs de température (fig. 22).

2. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DES DATTES

***Tableau 17**: Moyennes et SE des mesures physico-chimiques selon la durée de stockage, la température et la technique de conservation chez Phoenix dactylifera*

		Temps			*Température*		*Technique*		
		2M	4M	6M	T°F	T°A	Tech.1	Tech.2	Tech.3
Humidité (%)	Moy.	30,928b	32,383a	19,956c	28,148a	27,363	25,433b	29,228a	28,606a
	SE		0.443		0.362			0.443	
Acidité (%)	Moy.	0,352a	0,263b	0,325a	0,299b	0,328a	0,338a	0,273b	0,329a
	SE		0.015		0.013			0.015	
pH	Moy.	5,755c	6,106b	6,544a	6,204	6,066	6,081	6,071	6,253
	SE		0.086		0.071			0.086	
Indice de brunissement	Moy.	0,132	0,134	0,126	0,139a	0,123b	0,135a	0,118b	0,139a
	SE		0.004		0.003			0.004	
	Moy.	128,867b	164,18a	89,669c	129,524a	125,62b	123,521b	126,487b	132,709a

Activité antioxydante (µg/mL)	SE		1.906		1.556			1.906	
Polyphénols totaux (µg/mL)	Moy.	56,55b	59,285b	89,297a	67,675	69,079	65,181b	64,627b	75,323a
	SE		1,406		1.148			1.406	
Tannins (mg/mL)	Moy.	69,098a	48,472c	51,552b	56,905	55,843	54,633b	56,14b	58,35a
	SE		0.732		0.598			0.732	
Flavonoïdes (µg/mL)	Moy.	124,064a	65,306b	64,807b	84,665	84,786	73,557b	92,78a	87,84a
	SE		3.237		2.643			3.237	
Sucres totaux (mg/mL)	Moy.	32,772a	26,822b	31,294a	29,7	30,893	26,856b	31,444a	32,589a
	SE		1.544		1.261			1.544	
Sucres réducteurs (mg/mL)	Moy.	20,096b	34,117a	23,063b	22,213b	29,304a	24,926	24,621	27,729
	SE		1.495		1.221			1.495	
Protéines (µg/mL)	Moy.	4,174b	/	9,932a	6,32b	7,786a	6,451b	6,839b	7,869a
	SE		0.259		0.259			0.318	

Note : Les différences entre les moyennes des groupes ont été déterminées à l'aide de la correction de Sidak pour les comparaisons multiples. Les lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes (p < 0,05, n=3). Tech 1, 2, 3, correspondent respectivement : contrôle, film actif et emballage sous vide.

2.1. HUMIDITÉ

***Tableau 18**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'humidité des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	2048,180[a]	17	120,481	68,247	,000	,970
Constante	41600,027	1	41600,027	23564,475	,000	,998
Temps	1661,748	2	830,874	470,651	,000	,963
Technique	149,088	2	74,544	42,226	,000	,701
Température	8,323	1	8,323	4,715	,037	,116
Temps * Technique	21,361	4	5,340	3,025	,030	,252

Temps * Température		110,843	2	55,421	31,394	,000	,636
Technique * Température		33,911	2	16,956	9,605	,000	,348
Temps * Technique * Température		62,906	4	15,727	8,908	,000	,497
Erreur		63,553	36	1,765			
Total		43711,760	54				
Total corrigé		2111,733	53				

a. R-deux = ,970 (R-deux ajusté = ,956)

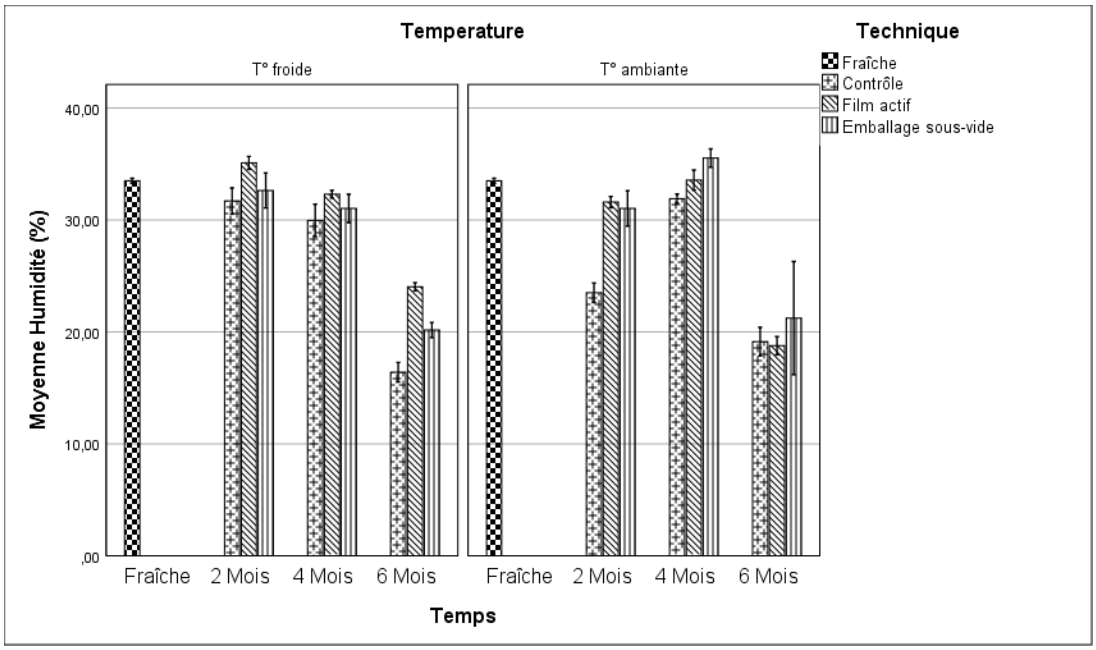


***Fig. 23**: Évolution de l'Humidité (%) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 18 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps :** Le facteur temps a un effet significatif sur l'humidité des dattes ($p < 0,001$). En moyenne, l'humidité des dattes change au cours du temps de conservation, quelle

que soit la technique ou la température. En effet, la moyenne de l'humidité de l'ensemble des dattes après 6 mois de conservation est significativement inférieure à celle après 2 mois de conservation.

- **Technique :** Le facteur technique a un effet significatif sur l'humidité des dattes ($p < 0,001$). Les dattes du groupe contrôle avaient une humidité significativement inférieure à celle des deux autres groupes.

- **Température :** Le facteur température a un effet significatif sur l'humidité des dattes ($p = 0,037$). Les dattes conservées à une température basse avaient une humidité légèrement mais statistiquement significativement plus élevée que celles conservées à une température ambiante.

Interactions :

- **Temps * Technique :** L'interaction entre le temps et la technique est significative ($p = 0,030$). Cela signifie que l'effet de la technique sur l'humidité des dattes dépend du temps de conservation. En effet, il existe une différence significative entre les dattes enrobée au film actif et les témoins après 2 mois de conservation.

- **Temps * Température :** L'interaction entre le temps et la température est significative ($p < 0,001$). Cela signifie que l'effet de la température sur l'humidité des dattes dépend du temps de conservation. Par exemple, la différence d'humidité entre les dattes conservées à froid et à température ambiante est plus importante après 6 mois de conservation qu'après 2 mois.

- **Technique * Température :** L'interaction entre la technique et la température est significative ($p = 0,001$). Cela signifie que l'effet de la technique sur l'humidité des dattes dépend de la température de conservation.

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0,001$) Cela signifie que l'effet de l'interaction entre Temps et Technique dépend de la température. En d'autres termes, l'effet de la durée de conservation sur l'humidité n'est pas constant pour toutes les techniques et pour toutes les valeurs de température. La fig. 23 peut aider à mieux comprendre cette interaction.

Le coefficient de détermination (R^2) est de 0,970, ce qui indique que le modèle explique 97% de la variation de l'humidité des dattes.

2.2. ACIDITÉ TITRABLE

***Tableau 19**; Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'acidité titrable des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	,333[a]	17	,020	9,255	,000	,814
Constante	5,303	1	5,303	2506,436	,000	,986
Temps	,075	2	,037	17,609	,000	,495
Technique	,045	2	,023	10,657	,000	,372
Température	,012	1	,012	5,531	,024	,133
Temps * Technique	,122	4	,030	14,366	,000	,615
Temps * Température	,035	2	,018	8,367	,001	,317
Technique * Température	,002	2	,001	,532	,592	,029
Temps * Technique * Température	,042	4	,011	5,003	,003	,357
Erreur	,076	36	,002			
Total	5,713	54				
Total corrigé	,409	53				

a. R-deux = ,814 (R-deux ajusté = ,726)

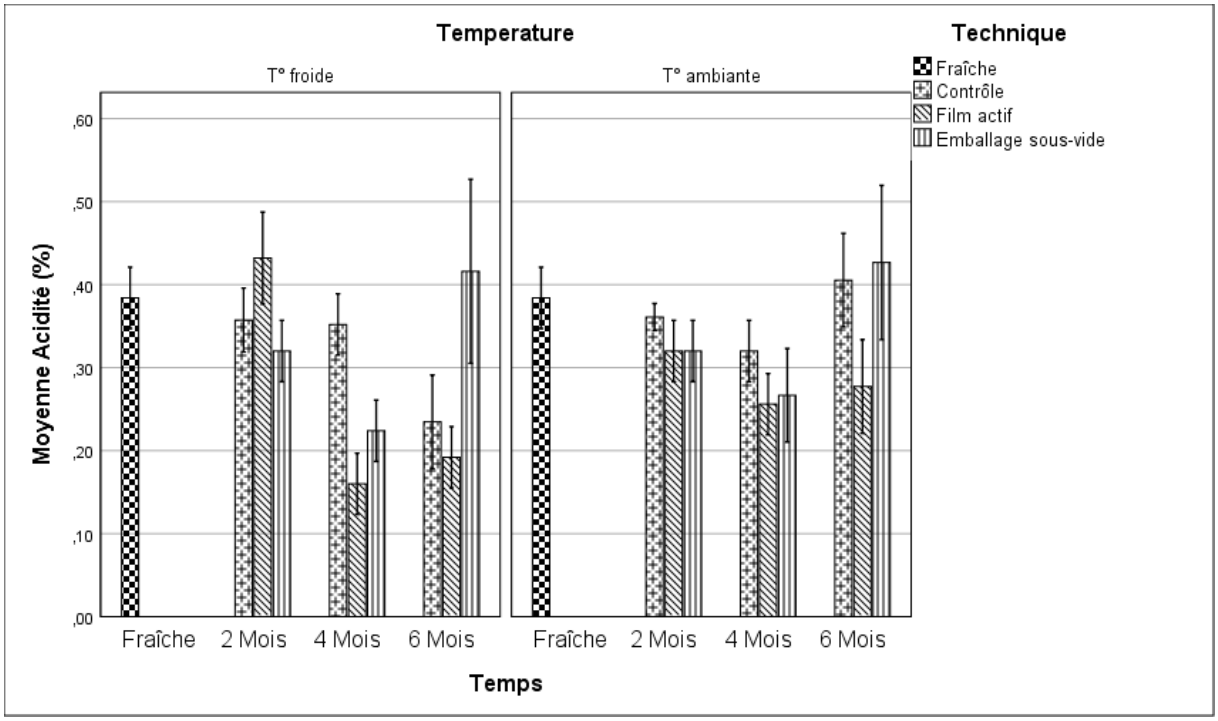


***Fig. 24**: Évolution de l'acidité titrable (%) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 19 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps :** Le facteur temps a un effet significatif sur l'acidité des dattes ($p < 0,001$). L'acidité des dattes varie avec le temps, quelle que soit la technique. En effet, L'acidité titrable après 4 mois était inférieure à celles après 2 ou 6 mois.

- **Technique :** Le facteur technique a un effet significatif sur l'acidité des dattes ($p = 0,005$). Les dattes enrobées avaient une acidité titrable nettement inférieure à celle des dattes emballées sous vide ou des témoins.

- **Température :** facteur technique a un effet significatif sur l'acidité des dattes ($p = 0,024$). L'acidité titrable à température ambiante était plus élevée.

Interactions :

- **Temps * Technique :** L'interaction entre le temps et la technique est significative (p < 0,001). Cela signifie que l'effet du temps sur l'acidité des dattes dépend de la technique de conservation. L'acidité titrable des dattes emballées sous-vide varie d'une manière plus marquante durant la période de stockage par rapport aux autres dattes.

- **Temps * Température :** cette interaction est significative (p = 0.001). Ce qui suggère que l'évolution de l'acidité titrable au cours du stockage est conditionnée par la température d'entreposage des dattes.

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction est significative (p = 0,003) Cela signifie que l'effet de l'interaction entre Temps et Technique dépend de la température (Fig. 24).

2.3. pH

Tableau 20*: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur le pH des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	7,850[a]	17	,462	6,865	,000	,764
Constante	2032,464	1	2032,464	30215,859	,000	,999
Temps	5,632	2	2,816	41,867	,000	,699
Technique	,379	2	,190	2,818	,073	,135
Température	,255	1	,255	3,789	,059	,095
Temps * Technique	,263	4	,066	,979	,431	,098
Temps * Température	,845	2	,423	6,284	,005	,259
Technique * Température	,162	2	,081	1,204	,312	,063
Temps * Technique * Température	,313	4	,078	1,162	,344	,114
Erreur	2,422	36	,067			
Total	2042,735	54				

Total corrigé	10,271	53

a. R-deux = ,764 (R-deux ajusté = ,653)

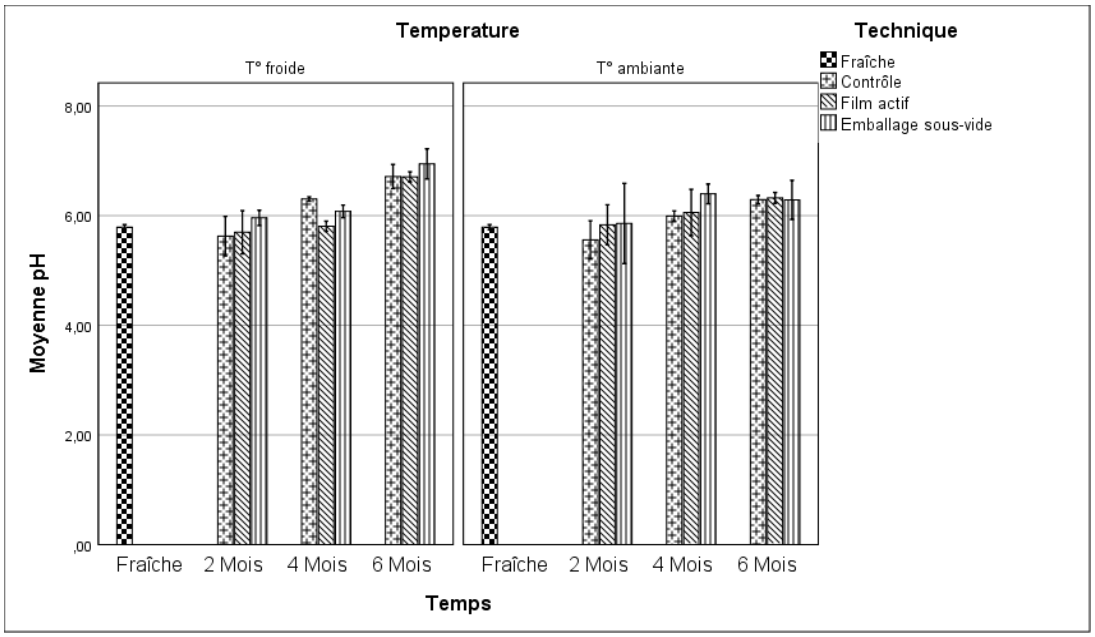


***Fig. 25**: Évolution du pH des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 20 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps :** Le facteur temps a un effet significatif sur l'humidité des dattes ($p < 0,001$). En moyenne, le pH des dattes augmente au cours du temps.

Interactions :

- **Temps * Température :** L'interaction entre le temps et la température est significative ($p = 0,005$). Cela signifie que l'effet de la durée de conservation sur le pH des dattes dépend de la température. En effet, cette tendance à l'augmentation du pH est associée à la réfrigération (fig. 25).

2.4. INDICE DE BRUNISSEMENT

Tableau 21 *: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'indice de brunissement des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	,025[a]	17	,001	10,885	,000	,837
Constante	,921	1	,921	6760,722	,000	,995
Temps	,001	2	,000	1,892	,165	,095
Technique	,005	2	,002	16,543	,000	,479
Température	,003	1	,003	25,357	,000	,413
Temps * Technique	,007	4	,002	13,533	,000	,601
Temps * Température	,007	2	,004	26,027	,000	,591
Technique * Température	,001	2	,001	4,704	,015	,207
Temps * Technique * Température	,001	4	,000	1,808	,149	,167
Erreur	,005	36	,000			
Total	,952	54				
Total corrigé	,030	53				

a. R-deux = ,837 (R-deux ajusté = ,760)

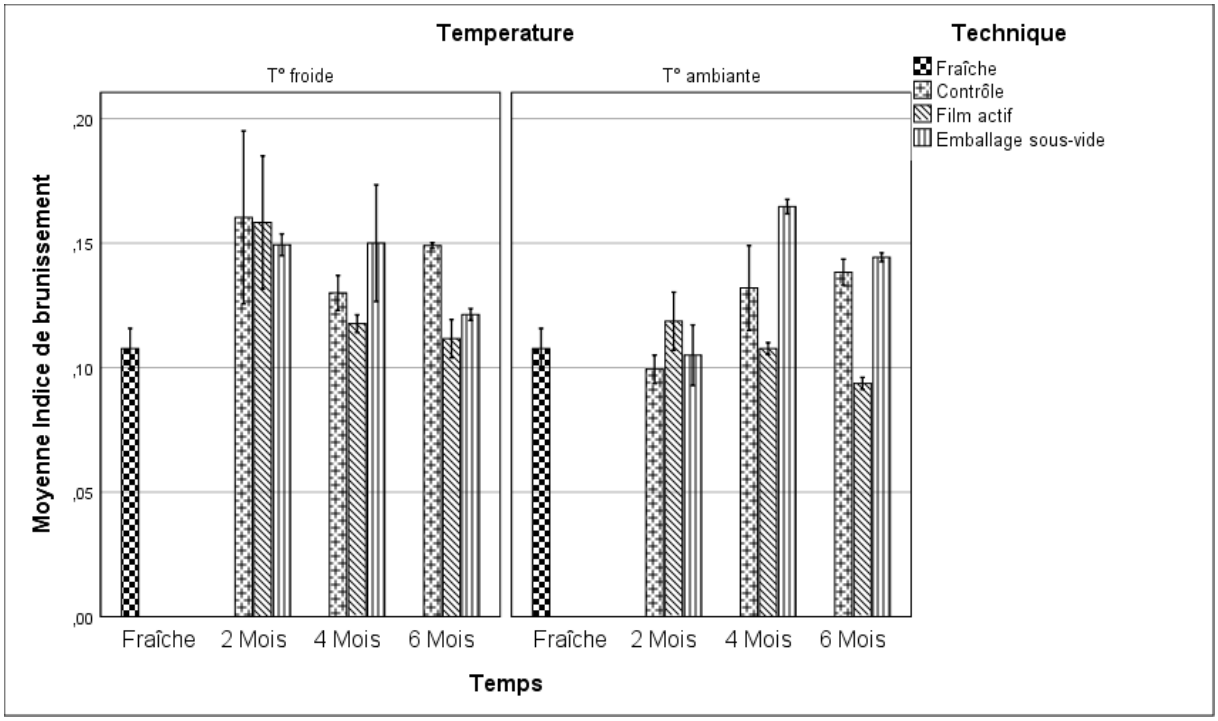


***Fig. 26**: Évolution de l'indice de brunissement des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 21 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps :** Le facteur temps n'a pas d'effet significatif sur le brunissement des dattes ($F = 1,892$, $p = 0,165$). Cela signifie que le brunissement des dattes ne varie pas significativement en fonction de la durée de stockage.

- **Technique :** le facteur technique a un effet significatif sur le brunissement ($p < 0.001$). Les dattes enrobées de film actif ont un indice de brunissement significativement inférieur à celui des autres groupes de dattes (Fig. 26).

- **Température :** le facteur température a un effet significatif sur le brunissement des dattes ($p < 0.001$). Les dattes conservées à une température basse ont un indice de brunissement plus élevé que celles conservées à température ambiante. Comme déjà

mentionné dans la section sur le pH, l'augmentation du pH induite par la température froide favorise l'activité des enzymes responsables du brunissement

Interactions :

- **Temps * Technique :** L'interaction entre le temps et la technique un effet significatif sur le brunissement des dattes ($p < 0,001$). Cela signifie que l'effet du temps sur brunissement des dattes dépend de la température de stockage.

- **Temps * Température :** L'interaction entre le temps et la température a un effet significatif sur brunissement des dattes ($p < 0,001$). Cela signifie que l'effet du temps sur le bruissement des dattes dépend de la température de stockage

- **Technique * Température :** L'interaction entre la technique et la température a un effet significatif sur le brunissement des dattes ($p = 0,015$). Cela signifie que l'effet du temps sur brunissement dattes dépend de la température de stockage

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction n'est pas significative ($p = 0.149$).

2.5. ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

***Tableau 22**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur l'activité antioxydante des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	57817,223[a]	17	3401,013	103,990	,000	,980
Constante	878828,710	1	878828,710	26871,276	,000	,999
Temps	50012,567	2	25006,283	764,598	,000	,977
Technique	791,577	2	395,788	12,102	,000	,402
Température	205,733	1	205,733	6,291	,017	,149
Temps * Technique	2130,618	4	532,655	16,287	,000	,644
Temps * Température	1288,414	2	644,207	19,697	,000	,523
Technique * Température	835,301	2	417,650	12,770	,000	,415

Temps * Technique * Température	2553,013	4	638,253	19,515	,000	,684
Erreur	1177,385	36	32,705			
Total	937823,318	54				
Total corrigé	58994,608	53				

a. R-deux = ,980 (R-deux ajusté = ,971)

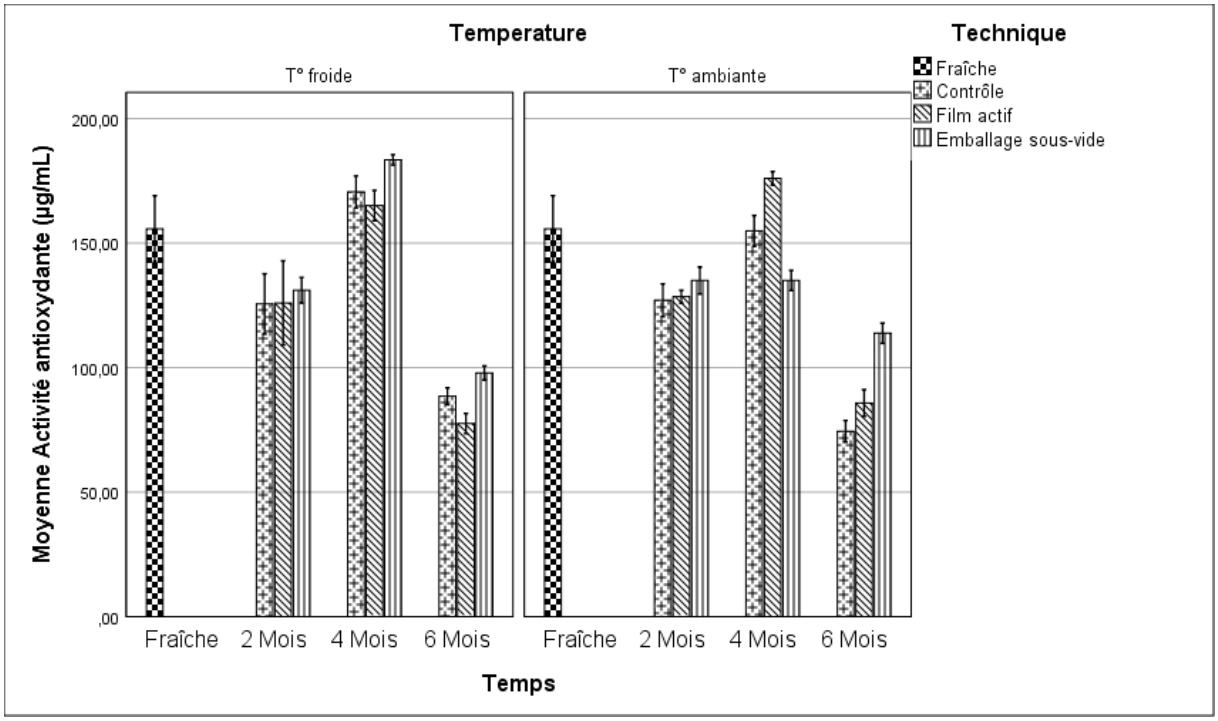


***Fig. 27**: Évolution de l'activité antioxydante (µg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 22 :

Effets principaux :

- **Temps :** L'effet du temps sur l'activité antioxydante est très significatif ($p < 0,001$). Cela indique que l'activité antioxydante des dattes évolue au fil du temps, indépendamment de la technique de conservation ou de la température, avec une valeur plus élevée après 4 mois de conservation, puis plus basse après 6 mois.

- **Technique :** L'effet de la technique de conservation sur l'activité antioxydante est significatif ($p < 0,001$). En effet, les dattes emballées sous-vide ont une valeur encore plus élevée de l'activité antioxydante.

- **Température :** L'effet de la température de conservation sur l'activité antioxydante est significatif ($p = 0,017$). Les dattes conservées à une température froide ont une activité antioxydante plus élevée que les dattes conservées à température ambiante.

Interactions :

- **Temps x Technique :** L'interaction entre le temps et la technique de conservation est très significative ($p < 0,001$). La distinction notable entre les techniques n'est devenue discernable qu'après une période de quatre mois (Fig. 27). À partir de ce seuil, la méthode sous-vide a régulièrement exhibé les valeurs les plus élevées pour les deux dattes de stockage à température froide et à température ambiante, à l'exception du quatrième mois à température ambiante, où l'emballage actif a présenté la valeur la plus élevée.

- **Temps x Température :** L'interaction entre le temps et la température de conservation est très significative ($p < 0,001$). Cela indique que l'effet du temps sur l'activité antioxydante dépend de la température de conservation.

- **Technique x Température :** L'interaction entre la technique de conservation et la température de conservation est significative ($p < 0,001$). Cela indique que l'effet de la technique de conservation sur l'activité antioxydante dépend de la température de conservation.

- **Temps x Technique x Température :** L'interaction entre le temps, la technique de conservation et la température de conservation est très significative ($p < 0,001$), comme le montre la fig. 27.

Le R-carré de 0,980 indique que 98% de la variation de l'activité antioxydante est expliquée par les facteurs et interactions du modèle.

2.6. POLYPHÉNOLS TOTAUX

***Tableau 23**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les polyphénols totaux des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	15763,509[a]	17	927,265	52,105	,000	,961
Constante	252472,500	1	252472,500	14187,072	,000	,997
Temps	11883,511	2	5941,756	333,882	,000	,949
Technique	1305,385	2	652,693	36,676	,000	,671
Température	26,576	1	26,576	1,493	,230	,040
Temps * Technique	1356,146	4	339,036	19,051	,000	,679
Temps * Température	195,028	2	97,514	5,480	,008	,233
Technique * Température	816,610	2	408,305	22,944	,000	,560
Temps * Technique * Température	180,252	4	45,063	2,532	,057	,220
Erreur	640,654	36	17,796			
Total	268876,663	54				
Total corrigé	16404,164	53				

a. R-deux = ,961 (R-deux ajusté = ,943)

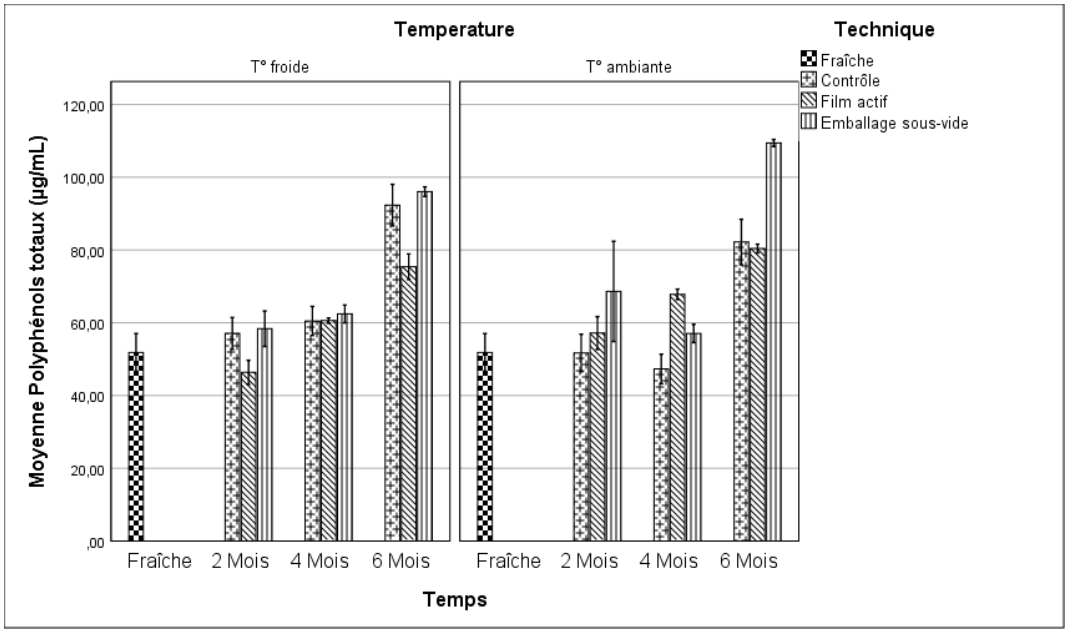


***Fig. 28**: Évolution de la teneur en Polyphénols totaux (µg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 23 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps :** Ces résultats indiquent que le temps a un effet statistiquement significatif sur les polyphénols totaux ($p < 0,001$). En effet, la concentration des composants phénoliques est significativement plus élevée après 6 mois de conservation.

- **Technique :** L'impact de la méthode de conservation est également significatif ($p < 0.001$), ce qui indique que la teneur en composés phénoliques des dattes varie selon la technique utilisée. Plus précisément, les dattes emballées sous vide se distinguent par une concentration notablement plus élevée en polyphénols.

- **Température :** La température ne présente pas d'effet statistiquement significatif sur les polyphénols ($p = 0.230$).

Interactions :

- **Temps * Technique :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$), ce qui signifie que l'évolution du taux des polyphénols dans le temps dépend de la technique de conservation.

- **Temps * Température :** Cette interaction est significative ($p = 0.008$), indiquant que l'évolution dans le temps de la valeur des polyphénols est influencée par la température.

- **Technique * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$), Ce qui signifie que l'évolution du taux des polyphénols varie selon la température dans différentes techniques de conservation (Fig. 28).

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction, n'est pas significative ($p = 0.057$).

2.7. TANNINS

***Tableau 24**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les tannins des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	5200,076[a]	17	305,887	63,360	,000	,968
Constante	171614,746	1	171614,746	35547,562	,000	,999
Temps	4456,764	2	2228,382	461,578	,000	,962
Technique	125,821	2	62,910	13,031	,000	,420
Température	15,218	1	15,218	3,152	,084	,081
Temps * Technique	250,083	4	62,521	12,950	,000	,590
Temps * Température	274,175	2	137,088	28,396	,000	,612
Technique * Température	17,177	2	8,589	1,779	,183	,090
Temps * Technique * Température	60,837	4	15,209	3,150	,026	,259
Erreur	173,799	36	4,828			

Total	176988,621	54
Total corrigé	5373,875	53

a. R-deux = ,968 (R-deux ajusté = ,952)

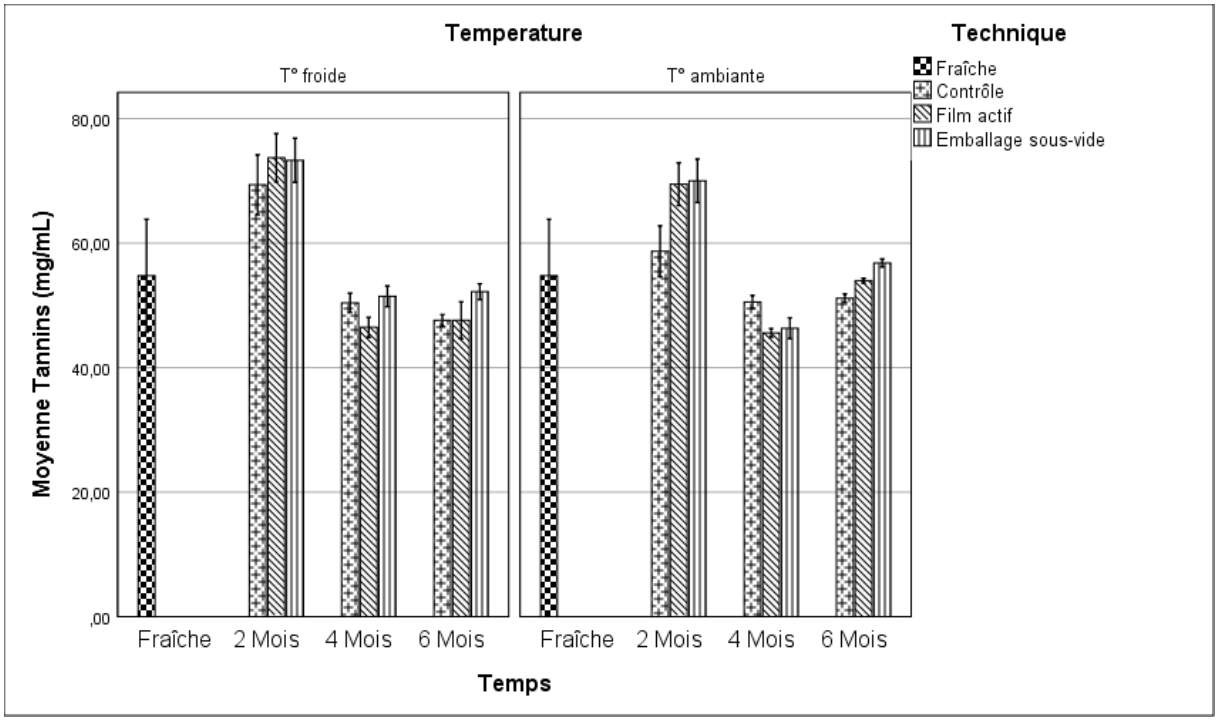


***Fig. 29**: Évolution de la teneur en Tannins (mg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 24 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps :** Le temps a un effet significatif sur les tannins ($p < 0.001$). Toutes les durées étaient significativement différentes les unes des autres, leur valeur étant plus élevée après 2 mois de conservation et plus basse après 4 mois de conservation.

- **Technique :** La technique a un effet significatif sur les tannins ($p < 0.001$), avec une valeur significativement plus élevée pour les dattes emballées sous vide.

- **Température :** La température n'a un effet significatif sur les tannins ($p = 0.084$).

Interactions :

- **Temps * Technique :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$), donc, l'impact de la technique sur le taux des tannins varie selon la durée de conservation.
- **Temps * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$), en effet, à température ambiante il existe une différence significative entre la valeur du 4eme mois et la valeur du 6eme mois.
- **Technique * Température :** Cette interaction n'est pas significative ($p < 0.183$).
- **Temps * Technique * Température : :** Cette interaction est significative ($p = 0.026$), Les différentes variations peuvent être observées sur la fig. 29.

2.8. FLAVONOÏDES

***Tableau 25**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les flavonoïdes des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	61304,840[a]	17	3606,167	38,250	,000	,948
Constante	387635,345	1	387635,345	4111,613	,000	,991
Temps	41784,816	2	20892,408	221,604	,000	,925
Technique	3587,519	2	1793,759	19,026	,000	,514
Température	,198	1	,198	,002	,964	,000
Temps * Technique	10855,590	4	2713,897	28,786	,000	,762
Temps * Température	2369,086	2	1184,543	12,564	,000	,411
Technique * Température	1399,648	2	699,824	7,423	,002	,292
Temps * Technique * Température	1307,982	4	326,996	3,468	,017	,278
Erreur	3394,014	36	94,278			
Total	452334,199	54				
Total corrigé	64698,854	53				

a. R-deux = ,948 (R-deux ajusté = ,923)

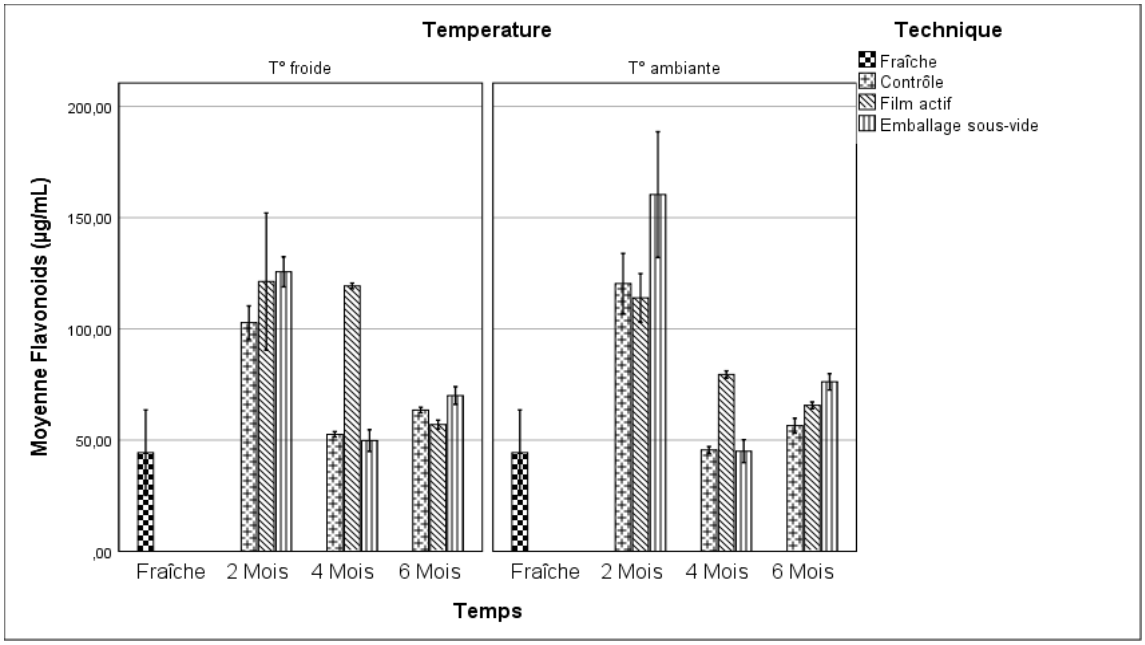


***Fig. 30**: Évolution de la teneur en Flavonoïdes (µg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 25 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps :** Le temps a un effet significatif sur les flavonoïdes ($p < 0.001$). Le taux de flavonoïdes après deux mois de conservation est plus élevé que les mois suivants.
- **Technique :** la technique a un effet significatif sur les flavonoïdes ($p < 0.001$). Les dattes témoins présentent une valeur de flavonoïdes inférieure par rapport aux autres techniques.
- **Température :** la température n'a pas un effet significatif sur les flavonoïdes ($p = 0.964$).

Interactions :

- **Temps * Technique :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). Les fluctuations observées pendant le stockage sont influencées par les méthodes de conservation. Les dattes emballées sous vide ont présenté les variations les plus marquées.

- **Temps * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). La différence entre le deuxième mois et le quatrième mois est plus importante à température ambiante.

- **Technique * Température :** Cette interaction est significative ($p = 0.002$), en effet, l'impact de la technique de conservation dépend de la température de stockage.

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction est significative ($p = 0.017$), Les différentes variations peuvent être observées sur la fig. 30.

2.9. LES SUCRES

***Tableau 26**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les sucres totaux des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	1361,093[a]	17	80,064	3,731	,000	,638
Constante	49564,741	1	49564,741	2309,733	,000	,985
Temps	345,523	2	172,761	8,051	,001	,309
Technique	331,433	2	165,716	7,722	,002	,300
Température	19,201	1	19,201	,895	,350	,024
Temps * Technique	509,981	4	127,495	5,941	,001	,398
Temps * Température	74,123	2	37,061	1,727	,192	,088
Technique * Température	38,975	2	19,487	,908	,412	,048
Temps * Technique * Température	41,859	4	10,465	,488	,745	,051
Erreur	772,527	36	21,459			
Total	51698,360	54				
Total corrigé	2133,619	53				

a. R-deux = ,638 (R-deux ajusté = ,467)

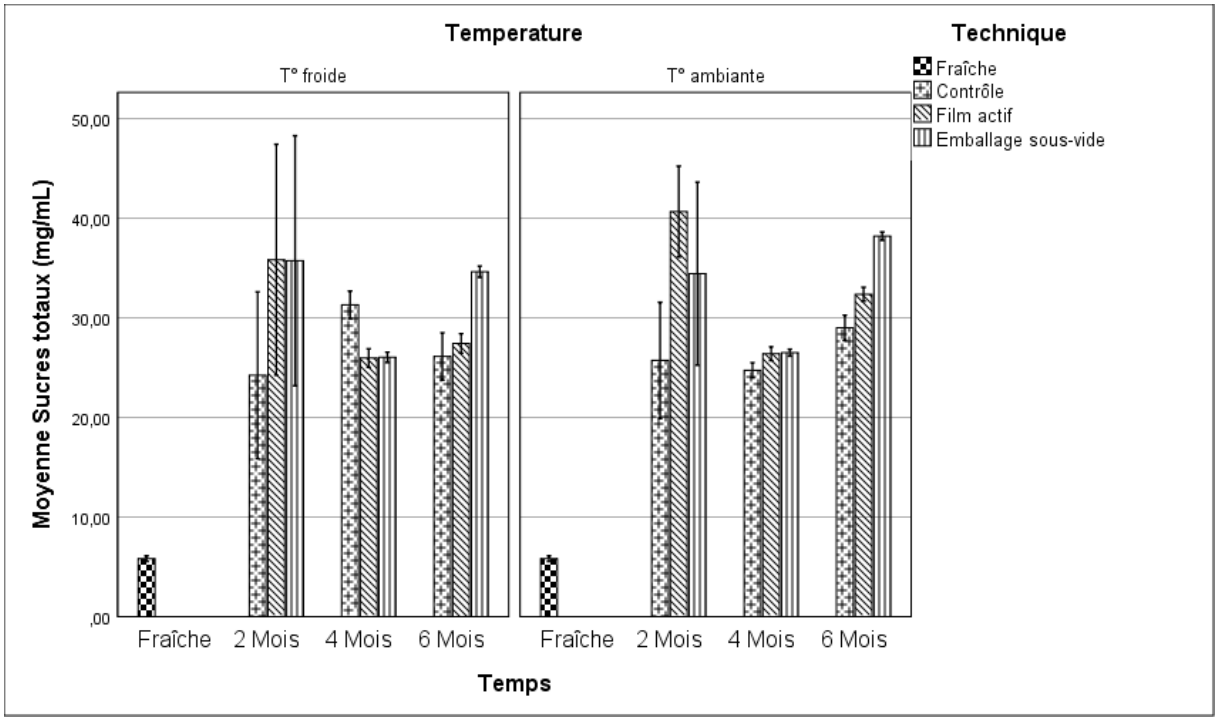


***Fig. 31**: Évolution de la teneur en Sucres totaux (mg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle des sucres totaux présentés dans le tableau 26 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps :** Le temps a un effet significatif sur les sucres totaux (p = 0.001). En effet, la concentration en sucres totaux était au plus bas après 4 mois de conservation par rapport aux autres durées.

- **Technique :** La technique a un effet significatif sur les sucres totaux (p = 0.002). Les dattes témoins avaient une valeur de sucres totaux significativement inférieure aux autres groupes, tandis qu'aucune différence n'était observée entre les dattes enrobées et celles emballées sous vide (Fig. 31).

Interactions :

- **Temps * Technique :** Cette interaction est significative (p = 0.001). Les dattes enrobées et celles emballées sous vide ont montré une variation en fonction de la durée de stockage, avec une valeur des sucres totaux plus basse après 4 mois de conservation.

***Tableau 27**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les sucres réducteurs des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	3334,266[a]	17	196,133	9,751	,000	,822
Constante	35829,584	1	35829,584	1781,256	,000	,980
Temps	1965,339	2	982,670	48,853	,000	,731
Technique	105,697	2	52,849	2,627	,086	,127
Température	678,903	1	678,903	33,751	,000	,484
Temps * Technique	298,642	4	74,660	3,712	,013	,292
Temps * Température	171,156	2	85,578	4,254	,022	,191
Technique * Température	69,483	2	34,742	1,727	,192	,088
Temps * Technique * Température	45,046	4	11,262	,560	,693	,059
Erreur	724,132	36	20,115			
Total	39887,983	54				
Total corrigé	4058,398	53				

a. R-deux = ,822 (R-deux ajusté = ,737)

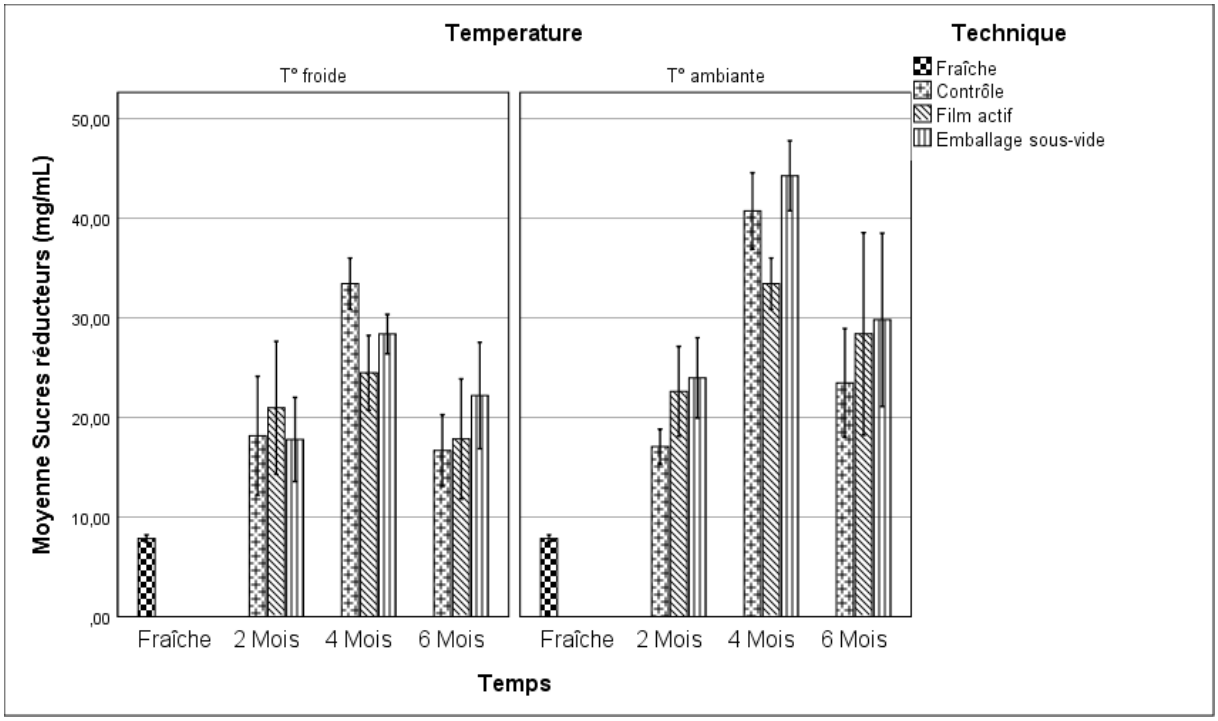


***Fig. 32**: Évolution de la teneur en Sucres réducteurs (mg/mL) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle des sucres réducteurs présentés dans le tableau 27 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps : :** Le temps a un effet significatif sur les sucres réducteurs ($p < 0.001$). En effet, la concentration en sucres réducteurs était au plus haut après 4 mois de conservation par rapport aux autres durées.

- **Température :** La température a un effet significatif sur les sucres totaux ($p < 0.001$). Les dattes conservées à température ambiante présentaient une valeur de sucres réducteurs supérieure à celles conservées à température froide.

Interactions :

- **Temps * Technique :** Cette interaction est significative (p = 0.013). La valeur des sucres réducteurs se distingue après 4 mois de conservation pour les dattes témoins et celles emballées sous vide.

- **Temps * Température :** Cette interaction est significative (p = 0.022). En effet, une supériorité en faveur de la température ambiante est observée après 4 mois de conservation (Fig. 32).

2.10. PROTÉINES

***Tableau 28**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur les protéines des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	367,638[a]	11	33,422	55,221	,000	,962
Constante	1790,841	1	1790,841	2958,918	,000	,992
Temps	298,357	1	298,357	492,960	,000	,954
Technique	12,886	2	6,443	10,645	,000	,470
Température	19,322	1	19,322	31,925	,000	,571
Temps * Technique	6,480	2	3,240	5,353	,012	,308
Temps * Température	9,086	1	9,086	15,013	,001	,385
Technique * Température	20,124	2	10,062	16,625	,000	,581
Temps * Technique * Température	1,384	2	,692	1,144	,335	,087
Erreur	14,526	24	,605			
Total	2173,005	36				
Total corrigé	382,164	35				

a. R-deux = ,962 (R-deux ajusté = ,945)

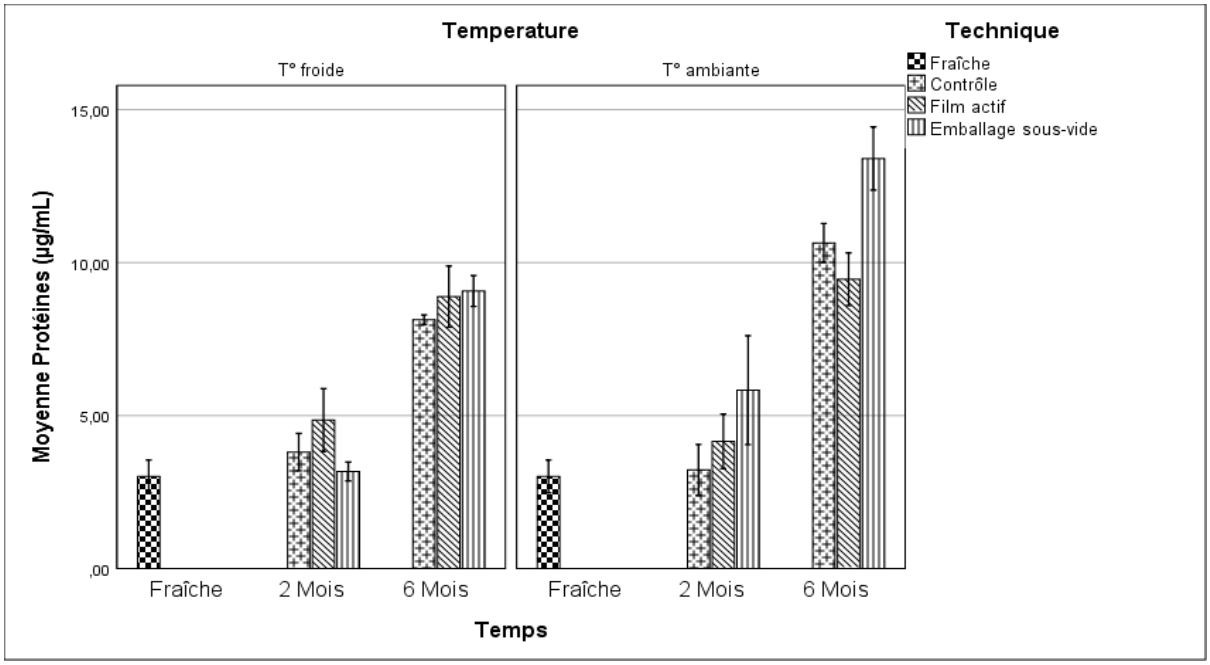


***Fig. 33**: Évolution de la teneur en Protéines (µg/ml) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 28 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 17 :

- **Temps : :** Le temps a un effet significatif sur les protéines ($p < 0.001$). La valeur des protéines est significativement supérieure après 6 mois de conservation qu'après 2 mois (Fig. 33).

- **Technique :** La technique a un effet significatif sur les protéines ($p < 0.001$). La concentration en protéines des dattes emballées sous vide est significativement plus élevée que celle des autres groupes.

- **Température :** La température a un effet significatif sur les protéines ($p < 0.001$). La concentration en protéines à température ambiante est plus élevée.

Interactions :

- **Temps * Technique :** Cette interaction est significative (p = 0.012), La concentration en protéines est plus élevée après 6 mois de stockage pour toutes les dattes, avec une augmentation plus significative chez celles emballées sous vide.

- **Temps * Température :** Cette interaction est significative (p = 0.001). En effet, Après une période de 6 mois de conservation, les dattes stockées à température ambiante présentent un taux de protéines plus élevé, alors que la température de stockage n'affecte pas significativement ce taux après seulement 2 mois de conservation.

- **Technique * Température :** Cette interaction est significative (p < 0.001). Après 2 mois de stockage, en moyenne, les dattes témoins présentent une quantité inférieure de protéines, tandis qu'après 6 mois de conservation, les dattes emballées sous vide affichent une quantité moyenne de protéines supérieure.

3. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES DATTES

***Tableau 29**: Moyennes et SE de la croissance microbiologique selon la durée de stockage, la température et la technique de conservation chez Phoenix dactylifera*

		Temps			*Température*		*Technique*		
		2M	4M	6M	T°F	T°A	Tech.1	Tech.2	Tech.3
Croissance bactérienne Log10 CFU/g	Moy.	4,206c	8,328a	7,814b	6,852a	6,713b	6,737b	6,974a	6,638c
	SE	0.027			0.022		0.027		
Croissance fongique Log10 CFU/g	Moy.	3,077c	4,246b	5,124a	4,119b	4,179a	4,477a	3,774c	4,197b
	SE	0.029			0.023		0.029		

Note : Les différences entre les moyennes des groupes ont été déterminées à l'aide de la correction de Sidak pour les comparaisons multiples. Les lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes (p < 0,05, n=3). Tech 1, 2, 3, correspondent respectivement : contrôle, film actif et emballage sous vide.

3.1. CROISSANCE BACTÉRIENNE

***Tableau 30**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur la croissance bactérienne des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	191,119[a]	17	11,242	1690,573	,000	,999
Constante	2484,328	1	2484,328	373583,160	,000	1,000
Temps	181,713	2	90,856	13662,612	,000	,999
Technique	1,074	2	,537	80,763	,000	,818
Température	,260	1	,260	39,160	,000	,521
Temps * Technique	3,624	4	,906	136,232	,000	,938
Temps * Température	1,090	2	,545	81,921	,000	,820
Technique * Température	,330	2	,165	24,835	,000	,580
Temps * Technique * Température	3,028	4	,757	113,848	,000	,927
Erreur	,239	36	,007			
Total	2675,687	54				
Total corrigé	191,359	53				

a. R-deux = ,999 (R-deux ajusté = ,998)

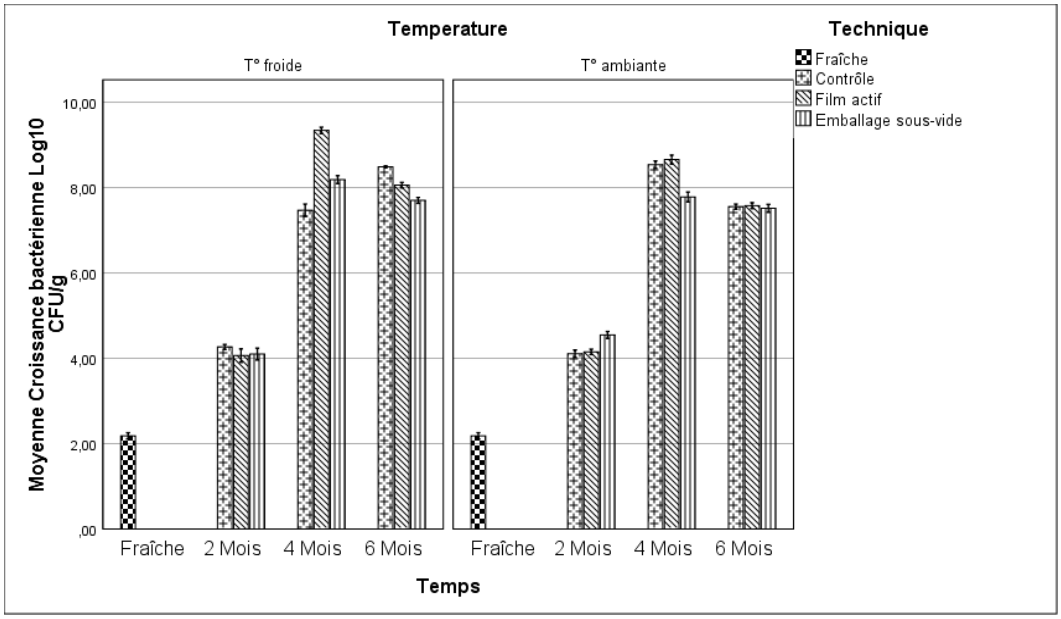


Fig. 34 *: Évolution de la croissance bactérienne (CFU/g) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 30 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 29 :

- **Temps :** Le temps a un effet significatif sur la croissance bactérienne ($p < 0.001$). Le niveau de la croissance bactérienne a atteint son pic après 4 mois de conservation par rapport aux autres périodes.

- **Technique :** La technique a un effet significatif sur la croissance bactérienne ($p < 0.001$). Dans l'ensemble, les trois groupes présentaient des taux de croissance bactérienne significativement différents les uns des autres, les dattes enrobées dans un film actif affichant le taux le plus élevé, suivies par les dattes témoins.

- **Température :** La température a un effet significatif sur la croissance bactérienne ($p < 0.001$). La croissance bactérienne était supérieure chez les dattes conservées à basse température.

Interactions :

- **Temps * Technique :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). Entre le 4ème et le 6ème mois, on observe une baisse chez les dattes enrobées et celles emballées sous vide, contrairement aux témoins où ce changement n'est pas observé.

- **Temps * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). À température ambiante, une différence significative est constatée entre le 4ème et le 6ème mois.

- **Technique * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). Chez les dattes enrobées, une différence significative est observée entre la conservation à température ambiante et la conservation à température froide.

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). Les différentes variations peuvent être observées sur la fig. 34.

3.2. CROISSANCE FONGIQUE

Le tableau 31 présente le pourcentage de boîtes dans lesquelles des mycéliums de moisissures sont apparus dans les dilutions sélectionnées pour le comptage.

***Tableau 31**: Pourcentage d'Apparition des Cellules de Moisissure dans les Boîtes de Pétri*

Durée	Température	Techniques de conservation		
		Enrobage au film actif (%)	Emballage sous vide (%)	Témoin (%)
2 mois	Ambiante	0	66.67	0
	Froide	0	0	100
4 mois	Ambiante	0	0	66.67
	Froide	0	66.67	33.33
6 mois	Ambiante	0	0	0
	Froide	0	0	100

***Tableau 32**: Analyse par ANOVA des effets du temps, de la technique de conservation et de la température sur croissance fongique des dattes*

Source	Somme des carrés corrigée	Degrés de liberté	Carré moyen	F	Signification	Eta-carré partiel
Modèle corrigé	58,972[a]	17	3,469	468,189	,000	,995
Constante	929,683	1	929,683	125475,840	,000	1,000
Temps	37,973	2	18,987	2562,560	,000	,993
Technique	4,507	2	2,254	304,159	,000	,944
Température	,049	1	,049	6,559	,015	,154
Temps * Technique	8,012	4	2,003	270,321	,000	,968
Temps * Température	,113	2	,057	7,631	,002	,298
Technique * Température	5,802	2	2,901	391,512	,000	,956
Temps * Technique * Température	2,516	4	,629	84,910	,000	,904
Erreur	,267	36	,007			
Total	988,922	54				
Total corrigé	59,239	53				

a. R-deux = ,995 (R-deux ajusté = ,993)

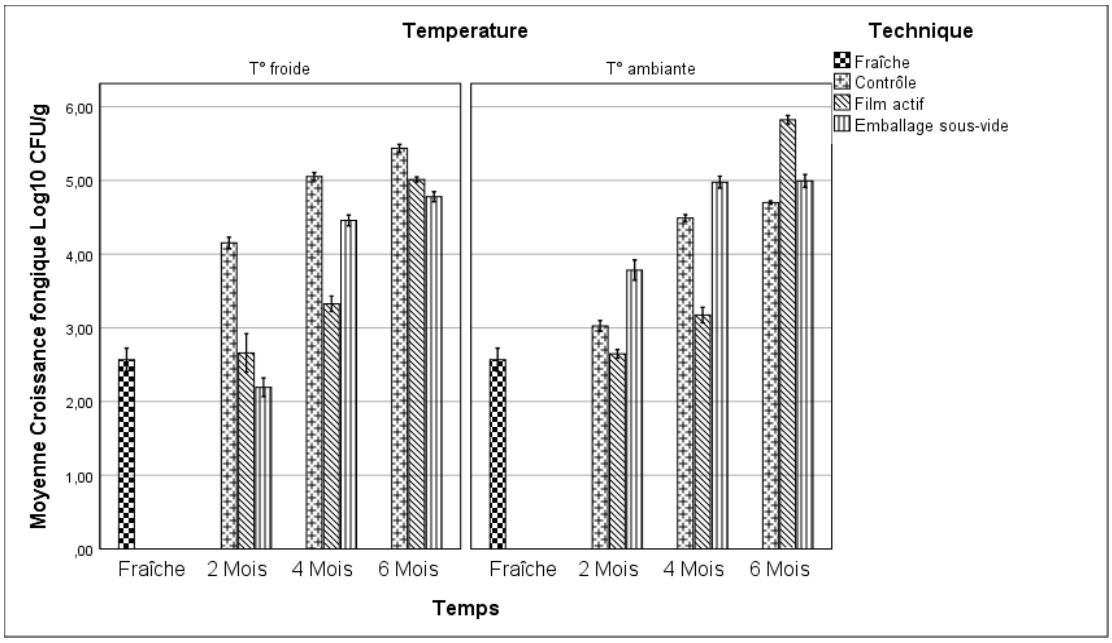


***Fig. 35**: Évolution de la croissance bactérienne (CFU/g) des dattes pour les groupes enrobés, sous-vide et contrôle, stockées à des températures froides et ambiantes pendant 6 mois, présentée sous forme de moyenne ± SEM (n = 3)*

Interprétation des résultats de l'ANOVA factorielle présentés dans le tableau 32 :

Effets principaux :

Les valeurs et les différences des effets principaux sont présentées dans le tableau 29 :

- **Temps :** Le temps a un effet significatif sur la croissance bactérienne ($p < 0.001$). Une augmentation significative est observée pendant la période de stockage, avec la valeur la plus élevée atteinte après 6 mois.

- **Technique :** La technique a un effet significatif sur la croissance bactérienne ($p < 0.001$). Il y a une différence significative entre les trois groupes, avec les dattes témoins présentant la plus grande croissance fongique et les dattes enrobées la plus faible.

- **Température :** La température a un effet significatif sur la croissance bactérienne ($p = 0.015$). La croissance fongique était plus élevée chez les dattes conservées à température ambiante.

Interactions :

- **Temps * Technique :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). Pendant les quatre premiers mois, les dattes enrobées ont montré une croissance fongique moindre, mais après six mois, ce sont les dattes emballées sous vide qui ont présenté une valeur inférieure.

- **Temps * Température :** Cette interaction est significative ($p = 0.002$). Une différence est observée entre la température ambiante et la température froide après 2 mois de conservation, tandis que cette différence est insignifiante pour les autres durées.

- **Technique * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). La croissance fongique est plus élevée chez les témoins à température froide, tandis qu'elle est plus élevée chez les deux autres groupes à température ambiante.

- **Temps * Technique * Température :** Cette interaction est significative ($p < 0.001$). Les différentes variations peuvent être observées sur la fig. 35.

CHAPITRE V : DISCUSSION

1. ANALYSES MORPHOLOGIQUES DES DATTES

1.1. LONGUEUR

D'après les résultats obtenus, il semble que la longueur des dattes soit une caractéristique peu influencée par les diverses méthodes de conservation ce qui est confirmé par la figure 25. Les données recueillies au cours de cette étude (tableau 17) maintiennent une proximité avec la moyenne de 4,34 cm établie par le CRSTRA [104]. Toutefois, les résultats obtenus par Hazbavi et *al.* [105] montrent qu'une durée de conservation de 6 mois dans un Emballage PET à température ambiante peut entraîner une diminution de la longueur des dattes iraniennes de la variété Stamaran jusqu'à 8,31 %. Ces découvertes soulignent l'importance d'approfondir notre compréhension des variations observées dans la longueur des dattes en fonction des méthodes de conservation utilisées.

1.2. DIAMÈTRE

De la même manière que pour la longueur, le diamètre des dattes demeure également stable face aux différentes conditions de conservation. Cependant, il convient de noter que, cette fois-ci, ces données sont en accord avec les résultats de l'étude précédemment mentionnée menée par Hazbavi et *al*. [105] qui n'a également relevé aucune différence significative du diamètre après une période de 6 mois de conservation. Il convient également de noter que le diamètre des dattes dans cette étude semble légèrement supérieur à la valeur déclarée par le CRSTRA [104] qui est de 1,7 cm, confirmant ainsi la forme ovoïdale de la datte de la variété Deglet Nour, comme décrite par le centre lui-même.

1.3. POIDS

Le poids et les dimensions de la datte constituent des paramètres intégraux dans la classification de ce fruit selon la norme internationale pour les dattes, Codex STAN 143-1985 [49]. La perte de poids durant le stockage est un phénomène naturel qui débute dès le stade Rutab, résultant de la perte d'eau [67]. Ce phénomène peut induire un aspect ridé et une diminution de la luminosité. Cette diminution de masse peut influer sur les attributs visuels, gustatifs et nutritionnels des fruits, entraînant en définitive une dégradation de leur couleur, de leur saveur, de leur poids et de leur valeur nutritionnelle [106]. D'après les

résultats obtenus, aucune des conditions de stockage étudiées ne semble pouvoir freiner ce phénomène.

1.4. DURETÉ

La dureté des fruits de dattes évolue pendant le stockage, influencée par des facteurs tels que l'emballage, la température de stockage et les activités enzymatiques. L'augmentation de la dureté observée chez les dattes conservées à une température relativement basse est en accord avec les résultats obtenus par Aleid et al. [107], où le durcissement des dattes a été attribué aux les constituants polysaccharidiques de la paroi cellulaire des plantes qui sont responsable de l'augmentation de la rigidité cellulaire et au renforcement subséquent des liaisons de la paroi cellulaire.

Toutefois, dans le cas des échantillons conservés à température ambiante, la dureté diminue de manière significative après l'emballage [108], le cas des dattes témoins, entre 2 mois et 6 mois de conservation. La perte de la dureté ou le ramollissement des fruits, est causé par la détérioration de la paroi cellulaire qui entraîne une diminution de la qualité. La responsabilité de cette détérioration est attribuée aux enzymes dégradant la paroi cellulaire, telles que la polygalacturonase (PG), la pectine méthylestérase (PME), la cellulase, la β-galactosidase (β-GAL) et l'α-arabinofuranosidase (α-ARF) [109]. Il est donc possible de considérer que la température ambiante est optimale pour l'action des enzymes de ramollissement, tandis qu'une température relativement basse est en corrélation négative avec ces dernières. On peut ainsi déduire que les dattes enrobées d'un film actif préservent mieux la rigidité du fruit (fig. 22). Ces résultats sont en accord avec ceux de Soto-Muñoz et *al*. [110], où l'enrobage des mandarines à base d'amidon de pomme de terre et de benzoate de sodium a permis de conserver la dureté du fruit après 6 semaines de conservation à 5°C et une semaine à 20°C, ainsi que les résultats de [111] qui ont trouvé qu'un enrobage à l'*Aloé vera* peut efficacement réduire le ramollissement des nectarines à 20 ± 1 °C pendant 6 semaines de stockage.

2. ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DES DATTES

2.1. HUMIDITÉ

Après 6 mois de conservation, il est possible de constater que l'avantage des dattes enrobées de film actif en termes d'humidité est plus prononcé que celui observé après 2 mois. En effet, le film actif peut créer une barrière physique protectrice qui peut donc contribuer à prévenir

la perte d'humidité, ralentissant ainsi efficacement la déshydratation et le flétrissement des fruits [112], [113].

La teneur en humidité des dattes a un double rôle : elle contribue d'une part à maintenir leur texture et leur saveur, mais d'autre part, elle constitue également un facteur de risque pour la croissance microbienne. Aux premiers stades, les dattes contiennent généralement environ 35 % d'humidité, ce qui diminue progressivement pendant le stockage en raison de la transpiration, affectant négativement la fraîcheur du fruit et donc sa qualité. Le taux d'équilibre pour les dattes avec leur environnement est d'environ 24 %. Les dattes dépassant ce taux de 24 % sont considérées comme périssables [44], [113], [114]. Ce qui signifie que dans le cas des dattes enrobées au film actif qui ont préservé mieux leur humidité après 6 mois de conservation à température froide et ce sont distingués des autres dattes (fig. 23), elles ont plus de chances de conserver leur texture, mais elles sont également plus vulnérables aux attaques des microorganismes.

2.2. ACIDITÉ TITRABLE

L'étude de l'acidité offre un éclairage sur la manière dont les acides organiques influent sur la perception sensorielle des aliments. En effet, L'acidité titrable mesure la concentration totale des acides présents dans un aliment, tandis que le pH mesure la force ou l'intensité de l'acidité. Les acides organiques présents dans les aliments, tels que les acides citrique, malique, lactique et tartrique, influent directement sur la saveur (acidité) de l'aliment. Plus l'acidité titrable est élevée, plus l'aliment aura un goût acide ou acidulé [115]. Il est à noter que l'acide citrique prédomine parmi les acides organiques présents dans les dattes, accompagné des acides malique et oxalique [44]. Les recherches portant sur l'évolution de l'acidité titrable ont produit des résultats divergents quant à son comportement au fil du temps. En effet, Remberg et *al*. [116] a rapporté une augmentation de l'acidité des pommes après 4 mois de conservation à une température basse (1°C), tandis que Dziedzic & Błaszczyk [117] a observé une diminution de l'acidité des cerises après 2 semaines de stockage à 2°C. Cette discordance dépond des voies métaboliques. Toutefois, une étude menée par Cherif et *al*. [109] sur les dattes de la variété Deglet Nour a révélé que l'acidité peut fluctuer au cours du stockage en fonction de l'année de récolte. En effet, ils ont constaté une augmentation de l'acide citrique dans les dattes récoltées en 2017, suivie d'une diminution dans celles récoltées en 2018. Par ailleurs, même l'influence de la température de

stockage a présenté des variations entre les années 2017 et 2018. Selon Barreveld [44], la détérioration des fruits conduit à une diminution des acides organiques, suivie par le développement d'une seconde génération. Ce qui peut expliquer les variations observées dans notre étude.

2.3. pH

Les résultats de cette étude sont cohérents avec ceux obtenus par Rastegar et *al*. [118], pour la variété Deiry, où le pH a augmenté de manière significative entre les stades Rutab (5,7 ± 0,1) et Tamr (6,6 ± 0,2). De même, l'étude de Mortazavi et *al*. [119] a également observé une augmentation significative de la valeur du pH pendant le stockage. Cependant, contrairement à notre étude, ils ont constaté que la température et la méthode de conservation avaient également un effet significatif. En effet, ils ont démontré que les dattes conservées à 25 °C présentaient un pH significativement plus élevé que celui des dattes conservées à 4 °C. De plus, ils ont noté que les dattes conservées sous atmosphère modifiée avaient un pH inférieur à celui des dattes emballées sous vide ou des dattes témoins.

Il est important de souligner que la valeur du pH constitue un indicateur significatif à la fois de la croissance des micro-organismes et de la qualité commerciale des dattes. Cette corrélation positive avec la qualité commerciale est particulièrement notable pour la variété Deglet Nour [44], [115]. En outre, cette augmentation du pH favorise le brunissement des dattes, car le pH optimal pour l'activation de la polyphénol oxydase, la principale enzyme responsable du brunissement, est d'environ 6.4 chez la variété Deglet Nour [120].

2.4. Indice de brunissement

Lors du stockage des dattes, une des réactions les plus préoccupantes et qui altère leur couleur est le brunissement, un trouble chimique et physiologique majeur ayant un impact sur la qualité globale et le goût des fruits. Le brunissement, qui se caractérise par un assombrissement des dattes au-delà de leur teinte naturelle claire à brune foncée, est causé par divers mécanismes. Il résulte principalement de l'action de la polyphénol oxydase (PPO) et des composés phénoliques, influencés par des facteurs tels que le pH, la température et la disponibilité en oxygène. On peut classer le brunissement en processus enzymatiques et non enzymatiques : le brunissement oxydatif enzymatique survient naturellement en présence d'oxygène sur les composés phénoliques, formant ainsi un composé brun appelé o-Quinones.

Pendant le stockage, les o-Quinones subissent une polymérisation non enzymatique pour produire des polymères sombres hétérogènes appelés mélanine. En outre, le brunissement dans les fruits et légumes est associé à l'enzyme peroxydase (POD). Outre son effet sur la couleur, l'activité des enzymes PPO et POD affecte considérablement la saveur et l'arôme des produits horticoles. Le deuxième mécanisme implique un brunissement oxydatif non enzymatique, principalement associé à l'action de tanins plus complexes. Enfin, le brunissement non oxydatif se produit par la réaction de Maillard, où les sucres réducteurs réagissent avec les protéines à des températures plus élevées [121], [122].

Plusieurs méthodes sont utilisées pour contrôler et minimiser le brunissement enzymatique, notamment le traitement thermique (~50-60°C durant 3 minutes), l'atmosphère modifiée, les agents antioxydants, les agents chélatants et les acidifiants [122], [123].

Ces informations suggèrent que la présence d'acide ascorbique dans le film actif peut expliquer la faible valeur de l'indice de brunissement des dattes enrobées après 6 mois de conservation, que ce soit à température froide ou ambiante. En effet, une étude de Ali et *al*. [124] a montré que des concentrations élevées d'acide ascorbique peuvent restaurer les o-quinones à leur forme phénolique d'origine, tandis qu'une concentration plus faible agit comme un inhibiteur compétitif.

2.5. ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

Les antioxydants sont des composés biologiques qui ont la capacité d'inhiber l'oxydation et d'interrompre ces réactions en chaîne en neutralisant les radicaux libres. Ils peuvent provenir de diverses sources telles que les vitamines, les minéraux, et principalement les phytochimiques tels que les flavonoïdes. Ces composés peuvent jouer différents rôles, notamment en agissant en tant qu'agents chélateurs de métaux ou en facilitant les réactions de réduction, ce qui aide à prévenir les dommages oxydatifs aux molécules cellulaires. Dans l'étude menée par Tavarini et *al*. [125] sur le kiwi, la valeur de l'activité antioxydante a diminué après 2 mois de conservation, ce qui correspond à nos résultats. Ensuite, ils ont constaté une augmentation après 6 mois de conservation à température ambiante. Cependant, dans leur étude, ils ont observé un effet négatif du froid sur l'activité antioxydante, car sa valeur n'a pas augmenté pour les fruits conservés à 0°C. Ce résultat diffère de celui obtenu dans notre étude. L'augmentation observée de l'activité antioxydante sur une période de quatre mois concorde avec les résultats obtenus par Moosavi Dolatabadi et *al*. [126].

Toutefois, le déclin observé après une période de six mois pourrait être attribué à la sensibilité de ces composés à l'oxydation et/ou à l'isomérisation [127]. Bien que l'acide ascorbique présent dans le film actif possède des propriétés antioxydantes, son niveau d'activité antioxydante n'a pas été significativement plus élevé, à l'exception des résultats observés après quatre mois de stockage à température ambiante.

2.6. POLYPHÉNOLS

Les composés phénoliques représentent une famille étendue de substances. Les fruits renferment des niveaux considérables de composés bioactifs qui confèrent des bienfaits pour la santé au-delà de leur valeur nutritionnelle de base. La quantité de composés phénoliques dans les fruits dépend fortement de plusieurs facteurs, notamment le degré de maturité, la variété, le climat, la composition du sol et de la localisation géographique. Ces composés sont principalement classés en fonction du nombre d'anneaux phénoliques qu'ils contiennent, comprenant notamment les acides phénoliques, les stilbènes, les flavonoïdes, les lignanes et les tanins. Toutes ces substances sont caractérisées par la présence d'un ou de plusieurs groupes hydroxyle directement liés à un noyau aromatique, définissant ainsi leur structure phénolique [128].

La quantité de composés phénoliques dans les fruits et légumes peut également varier en fonction des conditions de stockage. Ces niveaux semblent être particulièrement sensibles aux conditions environnementales, à la fois avant et après la récolte [129]. Dans leur recherche, Tavarini et *al*. [125] n'ont pas identifié d'interaction significative entre la période de récolte et le stockage, mais ont constaté que l'effet principal de chaque facteur était significatif sur les composants phénoliques du kiwi. Ils ont remarqué une augmentation notable après une période de conservation de 6 mois, ce qui concorde avec les observations faites dans notre étude.

La hausse de la valeur des polyphénols totaux au fil de la période de stockage prolongée est probablement due à une hydrolyse enzymatique ou à la biodégradation des composés phénoliques liés précédemment non extractibles pendant cette période étendue de conservation [126].

L'encapsulation de l'huile essentielle de thym dans le film de cellulose n'a pas apporté d'avantages notables en termes de polyphénols totaux pour les dattes enrobées. Sa supériorité

significative n'a été observée qu'après quatre et six mois de stockage à température ambiante par rapport aux témoins. Il est important de noter aussi que c'est l'emballage sous vide a démontré une supériorité significative par rapport aux autres groupes.

2.7. TANNINS

Les tanins sont des polyphénols caractérisés par leur astringence et leur amertume. Ils agissent comme un mécanisme de défense naturel contre les infections microbiennes. L'évolution des tanins dans les fruits pendant le stockage implique des changements dans leur concentration et leur composition, que ce soit par oxydation, hydrolyse ou polymérisation. La polymérisation joue un rôle crucial dans cette évolution. À mesure que les fruits mûrissent, les tanins subissent une polymérisation, formant ainsi des molécules de tanin plus grandes et plus complexes. Ce processus implique la liaison de petites unités de tanin pour former des polymères plus grands. La polymérisation des tanins peut conduire à la transformation des formes solubles en formes insolubles, qui sont moins astringentes. Ce changement dans la structure des tanins affecte le goût et la texture des fruits, contribuant ainsi à une diminution de l'astringence à mesure que les fruits mûrissent. De plus, la polymérisation peut influencer l'extractibilité des tanins, ce qui explique la diminution de leur taux au fil du temps pendant le stockage [40], [130], [131].

Une recherche effectuée par Del Bubba et *al*. [132] a démontré que le traitement post-récolte peut également influencer de manière significative le taux de tanins. En effet, l'application de CO2 a été associée à une diminution de ce taux, tandis que le traitement à l'éthylène n'affectait que les tanins solubles.

En ce qui concerne l'influence de la température, nos résultats confirment ceux obtenus par Benmehaia & Atallaoui [133], il n'existe aucune différence significative dans les niveaux de tannins entre les dattes conservées à 4 °C et celles conservées à température ambiante.

2.8. FLAVONOÏDES

Les flavonoïdes sont largement reconnus comme des antioxydants naturels. Ils constituent la majeure partie des couleurs jaunes, rouges et bleues des fruits et ont été identifiés comme des chélateurs de métaux et des pièges efficaces de radicaux libres in vitro [128].

L'étude menée par Al-Najada & Mohamed [134] sur deux variétés de dattes saoudiennes, Khalas et Shishi, a révélé une augmentation du taux de flavonoïdes après 6 et 12 mois de conservation à 4°C. Nos résultats corroborent cette tendance, montrant une augmentation des flavonoïdes par rapport à l'état frais après seulement 2 mois de conservation, suivie d'une diminution dès le 4ème mois. Toutefois, les dattes enveloppées dans un film actif ont maintenu un taux stable de flavonoïdes après 4 mois de conservation à température froide, affichant ainsi le taux le plus élevé par rapport aux autres groupes pour les dattes conservées à température ambiante. Dans une autre étude menée par Cherif et *al*. [109] sur les flavones et les flavonols, il a été observé une augmentation des valeurs de l'isorhamnétine rutinoside et de l'isorhamnétine hexoside après 3 mois de stockage à 4 °C, suivie d'une diminution à partir du 6ème mois pour les dattes récoltées en 2017, ce qui est en accord avec nos résultats. Cependant, pour les dattes récoltées en 2018, les valeurs de ces composants sont restées stables jusqu'au 9ème mois, où elles ont commencé à diminuer

En ce qui concerne l'impacte de la température, nos résultats confirment également ceux obtenus par Benmehaia & Atallaoui [133] aucune différence significative n'a été observée dans les niveaux de flavonoïdes entre les dattes conservées à 4 °C et celles conservées à température ambiante.

Le traitement appliqué aux fruits et légumes peut également influencer le taux de flavonoïdes. En effet, le traitement des champignons à l'hypochlorite de sodium induit une perte de 23 % des flavonoïdes. De même, l'irradiation aux rayons gamma des herbes et épices séchées avec une dose de 8 kGy a un effet négatif sur le taux de flavonoïdes. En revanche, le traitement à l'ozone des ananas, bananes et goyaves entraîne une augmentation des flavonoïdes, un effet similaire à celui observé sur certains fruits après un traitement aux ultraviolets [127].

2.9. SUCRES

Une étude a été entreprise afin d'analyser l'évolution des sucres, notamment le glucose, le fructose et le saccharose, dans des dattes soumises à différentes conditions de conservation. Les résultats ont révélé que pour les dattes entreposées à une température de 4°C, une augmentation notable du fructose a été observée après 3 mois de stockage par rapport à leur état initial, suivie d'une diminution à partir du 6ème mois, ce qui corrobore les conclusions de notre étude concernant les sucres réducteurs. En revanche, chez les dattes conservées à -

18°C, aucune variation significative du taux de fructose n'a été observée après 3 mois, mais une différence notable est apparue après 6 mois, atteignant un pic après 9 mois. Quant au glucose, chez les dattes conservées à 4°C, il est resté stable jusqu'au sixième mois, avant de diminuer puis d'augmenter à nouveau après 9 mois. À -18°C, il a diminué après 3 mois, puis augmenté après 6 mois pour diminuer de nouveau après 9 mois. En ce qui concerne le saccharose, chez les dattes conservées à 4°C, une variation significative a été observée tout au long de la période de conservation, avec une diminution après 3 mois, suivie d'un pic après 6 mois [109]. Un autre élément de concordance entre cette étude et la nôtre est que l'interaction entre le temps et la température était significative pour les sucres réducteurs, comme cela a été observé dans notre propre recherche.

Plusieurs explications peuvent être avancées pour comprendre les variations complexes de la teneur en sucres chez les dattes. Étant donné que la variété Deglet Nour est classée comme une datte à saccharose, l'augmentation des sucres réducteurs pourrait résulter de la dégradation du saccharose en fructose et en glucose. Une autre hypothèse plausible pour expliquer l'augmentation globale des sucres est la transformation des acides organiques et la décomposition de la paroi cellulaire. D'autre part, la diminution des sucres pourrait être attribuée au processus de respiration, au cours duquel le fruit consomme de l'oxygène et libère du dioxyde de carbone, de l'eau et de la chaleur, entraînant ainsi la dégradation des sucres et d'autres composés organiques [47], [135], [136].

2.10. Protéines

La teneur en protéines de la pulpe de datte varie de 1,2 % à 6,5 % du poids frais des dattes. Des recherches ont indiqué que les dattes renferment la plupart des acides aminés essentiels et non essentiels. Parmi ces acides aminés essentiels figurent la méthionine, l'histidine, la tyrosine, l'isoleucine, la sérine, la phénylalanine, la lysine, l'arginine, l'alanine, la glycine, la valine, la leucine et la proline [137].

Une autre étude sur les protéines totales des dattes, extraites en utilisant un protocole à base de phénol, a révélé un total de 189 spots protéiques régulés de manière différentielle. Ces protéines ont été réparties dans 14 catégories fonctionnelles. Les catégories avec le plus grand nombre de protéines étaient celles associées aux "maladies et à la défense" (16,5 %) ainsi qu'au "métabolisme" (15,4 %) [138].

Ahmed et *al*. [139] attribuent l'augmentation des protéines à l'élévation de l'activité de certaines enzymes ayant une relation avec le processus de ramollissement des fruits, telles que la cellulase et la polygalacturonase. Ceci pourrait indiquer une activité enzymatique plus importante chez les dattes emballées sous vide et conservées à température ambiante (Fig. 33). Cette augmentation peut également être un indicateur de la dégradation de la paroi cellulaire, entraînant ainsi la libération des protéines structurelles et une augmentation de leur solubilité dans l'extrait utilisé dans cette analyse [140].

3. ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES DATTES

3.1. CROISSANCE BACTÉRIENNE

L'étude menée par Zamir et *al*. [141] sur différentes variétés de dattes fraîches du Bangladesh a révélé que, à l'exception de deux variétés, la plupart des échantillons analysés présentaient des niveaux de bactéries aérobies dépassant les limites acceptables, allant de 3.3 à 5.65 log CFU/g. Bien que la présence de bactéries pathogènes telles qu'*E. coli* n'ait pas été détectée, le niveau élevé de la flore aérobie dans 92% des échantillons étudiés rendait les dattes impropres à la consommation d'après "Woolworths Quality Assurance Standard". Ces résultats ont été attribués par Zamir et *al*. [141] à un manque d'hygiène lors des manipulations post-récolte.

Le niveau relativement faible de croissance bactérienne observé à la fois à température ambiante et à température froide pour l'ensemble des groupes de dattes après deux mois de stockage, comparativement aux autres durées de conservation, semble être associé au taux de tannins. En effet, une étude menée par Nelson et *al.* [142] a établi une corrélation négative entre la concentration de tannins et la croissance bactérienne. Ce qui confirme cette observation est l'augmentation significative de la croissance bactérienne constatée après 4 mois de conservation, correspondant à une diminution du taux de tanins.

Concernant l'effet de la température, les résultats obtenus dans cette étude indiquent que la croissance microbienne des dattes conservées à 4 °C était plus importante que celle des dattes conservées à température ambiante. En revanche, [143], dans son étude, n'a pas observé de différence significative entre les dattes de la variété Sukari conservées à 26 °C et celles conservées à 4 °C. Cependant, pour d'autres variétés telles que Rezizi et Sefri, il a été

constaté que les dattes stockées à 4 °C présentaient une charge bactérienne mésophile totale inférieure à celles stockées à 26 °C.

Le film actif contenant l'huile essentielle de thym, reconnue pour son efficacité à inhiber la croissance bactérienne [85], n'a pas montré d'effet antimicrobien dans le cas de notre étude. Au contraire, la croissance microbienne des dattes réfrigérées après 4 mois de conservation a été significativement plus élevée chez les dattes enrobées de film actif.

3.3. CROISSANCE FONGIQUE

L'impact de la durée de conservation sur la croissance fongique des dattes emballées sous vide à basse température, tel qu'examiné dans notre étude, est conforme aux résultats rapportés par Hamad [108]. En effet, leur recherche a révélé une augmentation significative de la charge fongique, passant de 2.1 x 102 à 5.6 x 102 UFC/g de levures et de 1.1 x 102 à 2.5 x 102 UFC/g de moisissures au cours d'une période de conservation de 6 mois à environ 3°C. En revanche, nos observations divergent de manière notable concernant la croissance fongique à température ambiante (~24°C) où Il a constaté une diminution de manière significative pendant le stockage à seulement 10 UFC/g pour les levures, tandis qu'aucun changement significatif n'était observé pour les moisissures. Il convient également de noter que, lors du processus d'emballage, les dattes ont été soumises à un lavage suivi d'un séchage à l'air chaud, ce qui a permis de réduire la charge fongique initiale de 2.5 x 102 à 2.1 x 102 UFC/g pour les levures et de 2.0 x 102 à 1.1 x 102 UFC/g pour les moisissures. Cependant, cette différence n'a été statistiquement significative que dans le cas des moisissures.

Un autre aspect où notre étude rejoint celle de Hamad [108], concerne l'évolution de la croissance fongique au cours des trois premiers mois chez les dattes réfrigérées. [108] n'a pas observé de différence significative par rapport à la charge initiale pendant cette période, mais une distinction notable s'est manifestée au cours des trois derniers mois. De manière similaire, concernant les dattes enrobées au film actif, celles emballées sous vide ont initialement présenté une diminution de la charge fongique par rapport à la charge initiale, suivie d'une augmentation significative après quatre mois de stockage. À noter que seules les dattes témoins ont dérogé à cette tendance, en affichant une croissance Importante au cours des deux premiers mois.

Après une période de conservation de 4 mois, les dattes enrobées de film actif et entreposées

soit à température froide ou à température ambiante, ont présenté une croissance fongique notablement moindre par rapport aux autres groupes. Cette observation peut être attribuée aux propriétés antifongiques de l'huile essentielle de thym. En effet, l'huile essentielle de thym démontre un large spectre d'activité fongicide, notamment par le biais de sa phase volatile qui exerce une activité suppressive durable sur les moisissures [87].

CONCLUSION

Dans cette étude, une analyse approfondie des diverses techniques de conservation des dattes a été réalisée, mettant en évidence les aspects morphologiques, physicochimiques et microbiologiques de ces fruits au cours de leur conservation. À travers une approche expérimentale, les effets de l'emballage sous vide traditionnel et de l'enrobage avec un film actif à base d'huile essentielle de thym ont été évalués, en les comparant à un groupe témoin non traité. Cette étude a également pris en compte l'impact de la température et de la durée de conservation sur les paramètres étudiés.

Sur le plan morphologique, il est apparu qu'en ce qui concerne la longueur des dattes, aucune variation significative n'a été observée entre les différentes techniques de conservation. Cependant, le temps et la technique de conservation a montré une légère dépendance, notamment entre les dattes témoins et celles enrobées d'un film actif après deux mois de stockage à basse température.

Concernant le diamètre des dattes, il a été constaté que la technique de conservation sous vide induit un diamètre plus important par rapport aux autres méthodes. Cependant, ni le temps ni la température de stockage n'ont montré d'effet significatif sur le diamètre des dattes.

En ce qui concerne le poids des dattes, seul le facteur temps de conservation a eu un impact significatif, montrant une diminution du poids moyen des dattes avec le temps. Aucune des conditions de stockage n'a semblé freiner cette perte de poids, ce qui est cohérent avec les résultats antérieurs et les observations sur la perte naturelle d'eau pendant le stockage.

Enfin, en ce qui concerne la dureté des dattes, il a été observé que la température de stockage influence significativement ce paramètre, les dattes conservées à basse température étant plus dures que celles stockées à température ambiante. De plus, l'enrobage au film actif semble mieux préserver la rigidité des dattes par rapport aux autres méthodes, ce qui est soutenu par des études antérieures sur d'autres fruits.

Sur le plan physicochimique, Les résultats démontrent que la technique de conservation a un impact significatif sur l'humidité des dattes. Les dattes enrobées de film actif présentent une humidité plus stable, ce qui peut contribuer à préserver leur texture et leur fraîcheur.

Cependant, cette préservation de l'humidité peut également accroître le risque de croissance microbienne, ce qui nécessite une gestion appropriée de la conservation.

L'acidité titrable des dattes varie avec le temps de stockage et la technique de conservation. Les dattes enrobées présentent une acidité titrable inférieure, ce qui peut influencer leur perception sensorielle. Cependant, la relation entre l'évolution de l'acidité titrable et la conservation des dattes est complexe et nécessite une étude approfondie.

Le pH des dattes augmente avec le temps de conservation, ce qui peut influencer leur qualité commerciale et leur propension au brunissement. La température de stockage joue également un rôle dans cette évolution, soulignant l'importance de contrôler les conditions de conservation pour maintenir la qualité des dattes.

Les résultats ont montré que la technique de conservation avait un effet significatif sur l'indice de brunissement, les dattes enrobées de film actif présentant un indice de brunissement significativement inférieur aux autres groupes. De plus, la température de conservation a également influencé l'indice de brunissement, avec des dattes conservées à température froide présentant un indice plus élevé. L'effet du temps sur l'indice de brunissement était dépendant de la technique de conservation et de la température, ce qui souligne l'importance de ces facteurs dans le processus de conservation des dattes.

En ce qui concerne l'activité antioxydante, les résultats ont montré que le temps, la technique de conservation et la température avaient tous un effet significatif. Les dattes emballées sous vide ont présenté une activité antioxydante plus élevée, et cette différence s'est accentuée avec le temps. De plus, les dattes conservées à température froide ont montré une activité antioxydante plus élevée que celles conservées à température ambiante. Les interactions entre le temps, la technique de conservation et la température étaient également significatives, soulignant l'importance de ces facteurs dans la préservation de l'activité antioxydante des dattes.

En ce qui concerne les polyphénols totaux, les résultats ont montré que le temps et la technique de conservation avaient un effet significatif. Les dattes emballées sous vide ont présenté une concentration de polyphénols totaux plus élevée, et cette différence s'est accentuée avec le temps. La température n'a pas eu d'effet significatif sur les polyphénols

totaux, mais il y avait des interactions significatives entre le temps, la technique de conservation et la température.

Pour les tannins, il est important de noter que le temps de conservation et la technique utilisée ont eu un effet significatif sur leur concentration dans les dattes. Plus précisément, la concentration en tannins a varié en fonction du temps de stockage et de la technique de conservation, avec une tendance à la polymérisation des tanins au fil du temps, réduisant ainsi leur taux. De plus, l'interaction entre le temps et la technique de conservation a également influencé les niveaux de tannins.

Concernant les flavonoïdes, notre analyse a montré une variation significative de leur concentration en fonction du temps de stockage et de la technique de conservation. Les flavonoïdes, en tant qu'antioxydants naturels, ont présenté des niveaux plus élevés après une période initiale de conservation, suivie d'une diminution. Cependant, les dattes enrobées dans un film actif ont maintenu des niveaux de flavonoïdes plus élevés par rapport aux autres techniques de conservation, mettant en évidence leur efficacité dans le maintien de la qualité des fruits.

En ce qui concerne les sucres totaux et les sucres réducteurs, nos résultats ont indiqué des variations significatives en fonction du temps de stockage, de la technique de conservation et de leurs interactions. Plus précisément, la concentration en sucres totaux et en sucres réducteurs a varié au fil du temps, avec des niveaux généralement plus élevés après une période initiale de stockage, suivie d'une diminution. De plus, l'interaction entre le temps et la technique de conservation a également influencé les niveaux de sucres, soulignant l'importance de choisir une méthode de conservation adaptée pour maintenir la teneur en sucres des dattes.

Du point de vue microbiologique, nos résultats ont montré que le temps, la technique de conservation et la température avaient tous des effets significatifs. Les dattes enrobées dans un film actif ont affiché les taux de croissance bactérienne les plus élevés parmi les trois groupes, suivies par les dattes témoins, tandis que les dattes emballées sous vide ont présenté les taux les plus faibles. De plus, la croissance bactérienne était plus élevée à température ambiante par rapport à la température froide. L'observation selon laquelle le film actif

contenant de l'huile essentielle de thym n'a pas montré d'effet antibactérien dans notre étude est en contradiction avec les résultats de recherches antérieures.

En ce qui concerne la croissance fongique, les résultats ont également montré des effets significatifs du temps, de la technique de conservation et de la température. Les dattes enrobées dans un film actif ont présenté la croissance fongique la plus faible, suivies par les dattes emballées sous vide et les dattes témoins. De plus, la croissance fongique était plus élevée à température ambiante par rapport à la température froide.

En résumé, cette étude met en évidence l'importance de considérer différents aspects des dattes lors de du choix de techniques appropriées de conservation. Bien que certains paramètres puissent rester relativement stables, d'autres peuvent être significativement affectés par les conditions de stockage. En effet, cette étude démontre l'efficacité de l'emballage sous vide en particulier en ce qui concerne l'activité antioxydante, la teneur en polyphénols totaux et la croissance bactérienne. D’un autre côté, l'enrobage au film actif à base d'huile essentielle de thym en particulier en ce qui concerne le brunissement, et la croissance fongique et de façon générale en jugeant à base de l’aspect des dattes, il est important de les conserver au frais, les dattes enrobées au film actif étaient en meilleur état par rapport aux autres.

Ces résultats fournissent des informations précieuses pour le développement de pratiques de conservation visant à maintenir la qualité des dattes tout au long de la chaîne d'approvisionnement alimentaire et ouvrent la voie à de futures recherches visant à approfondir notre compréhension des techniques de conservation des dattes. Cela implique d'analyser plus en détail les changements subis par les bioactifs et les interactions entre les différents paramètres étudiés. De plus, il est essentiel d'identifier les microorganismes présents dans chaque condition de stockage et de développer des stratégies pour réduire la charge microbienne initiale. En poursuivant ces efforts, nous pourrons continuer à améliorer les pratiques de conservation des dattes et à garantir la qualité des produits tout au long de leur parcours jusqu'aux consommateurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. FAO. FAOSTAT Database. (2022).
2. OEC. Dates (Fresh/Dried) (HS: Dates,) Product Trade, Exporters and Importers. *The Observatory of Economic Complexity* https://oec.world/en/profile/hs/dates-freshdried (2022).
3. MADR. Statistique Agricole : Superficies et Productions - SERIE 'B' 2019. (2021).
4. *Date Palm Genetic Resources and Utilization: Volume 1: Africa and the Americas*. (Springer Netherlands, Dordrecht, 2015). doi:10.1007/978-94-017-9694-1.
5. *The Date Palm Genome, Vol. 1: Phylogeny, Biodiversity and Mapping*. (Springer International Publishing, Cham, 2021). doi:10.1007/978-3-030-73746-7.
6. Amadou, I. Date Fruits. in *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* 215–233 (Elsevier, 2016). doi:10.1016/B978-0-12-408117-8.00010-6.
7. Achour, M., Amara, S. B., Salem, N. B., Jebali, A. & Hamdi, M. Effet de différents conditionnements sous vide ou sous atmosphère modifiée sur la conservation de dattes Deglet Nour en Tunisie. *Fruits* **58**, 205–212 (2003).
8. Kwaasi, A. A. A. DATE PALMS. in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* 1730–1740 (Elsevier, 2003).
9. Lian, H., Shi, J., Zhang, X. & Peng, Y. Effect of the added polysaccharide on the release of thyme essential oil and structure properties of chitosan based film. *Food Packag. Shelf Life* **23**, 100467 (2020).
10. Moghimi, R., Aliahmadi, A. & Rafati, H. Antibacterial hydroxypropyl methyl cellulose edible films containing nanoemulsions of Thymus daenensis essential oil for food packaging. *Carbohydr. Polym.* **175**, 241–248 (2017).
11. Pinto, E. *et al.* Activity of Thymus caespititius essential oil and α-terpineol against yeasts and filamentous fungi. *Ind. Crops Prod.* **62**, 107–112 (2014).
12. Razzaghi-Abyaneh, M. *et al.* Chemical composition and antiaflatoxigenic activity of Carum carvi L., Thymus vulgaris and Citrus aurantifolia essential oils. *Food Control* **20**, 1018–1024 (2009).
13. Gros-Balthazard, M. *et al.* Origines et domestication du palmier dattier (Phoenix dactylifera L.): État de l'art et perspectives d'étude. *Rev. D'ethnoécologie* (2013) doi:10.4000/ethnoecologie.1524.
14. Johnson, D. V., Jain, S. M. & Al-Khayri, J. M. *Date Palm Genetic Resources and Utilization*. (2015).
15. Zohary, D. & Spiegel-Roy, P. Beginnings of Fruit Growing in the Old World: Olive, grape, date, and fig emerge as important Bronze Age additions to grain agriculture in the Near East. *Science* **187**, 319–327 (1975).
16. Pérez-Escobar, O. A. *et al.* Molecular Clocks and Archeogenomics of a Late Period Egyptian Date Palm Leaf Reveal Introgression from Wild Relatives and Add Timestamps on the Domestication. *Mol. Biol. Evol.* **38**, 4475–4492 (2021).

17. Terral, J. *et al.* Insights into the historical biogeography of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.) using geometric morphometry of modern and ancient seeds. *J. Biogeogr.* **39**, 929–941 (2012).
18. Zehdi-Azouzi, S. *et al.* Genetic structure of the date palm (Phoenix dactylifera) in the Old World reveals a strong differentiation between eastern and western populations. *Ann. Bot.* **116**, 101–112 (2015).
19. Gros-Balthazard, M. *et al.* The Discovery of Wild Date Palms in Oman Reveals a Complex Domestication History Involving Centers in the Middle East and Africa. *Curr. Biol.* **27**, 2211-2218.e8 (2017).
20. Battesti, V. Odeur sui generis, Le subterfuge dans la domestication du palmier dattier (Tassili n'Ajjer, Algérie). *Anthropozoologica* **39**, 301–309 (2004).
21. Munier, P. Sur l'origine de la datte Deglet-nour. *Fruits* (1974).
22. Rivera, D. *et al.* Historical evidence of the Spanish introduction of date palm (Phoenix dactylifera L., Arecaceae) into the Americas. *Genet. Resour. Crop Evol.* **60**, 1433–1452 (2013).
23. Margueron, J.-C. De Mari à Délos, un lien : le palmier. *Ktèma* **25**, 55–63 (2000).
24. Popenoe, P. B. & Bennett, C. L. *Date Growing in the Old World and the New*. (Altadena, Cal. : West India Gardens, 1913).
25. Zaid, A., Arias-Jiménez, E. J., & Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Date Palm Cultivation*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2002).
26. Alnaim, M. A., Mohamed, M. S., Mohammed, M. & Munir, M. Effects of Automated Irrigation Systems and Water Regimes on Soil Properties, Water Productivity, Yield and Fruit Quality of Date Palm. *Agriculture* **12**, 343 (2022).
27. Maas, E. V. & Hoffman, G. J. Crop Salt Tolerance—Current Assessment. *J. Irrig. Drain. Div.* **103**, 115–134 (1977).
28. Ghirardo, A. *et al.* Protein expression plasticity contributes to heat and drought tolerance of date palm. *Oecologia* **197**, 903–919 (2021).
29. Mattar, M. A., Soliman, S. S. & Al-Obeed, R. S. Effects of Various Quantities of Three Irrigation Water Types on Yield and Fruit Quality of 'Succary' Date Palm. *Agronomy* **11**, 796 (2021).
30. Alotaibi, K. D. *et al.* Date palm cultivation: A review of soil and environmental conditions and future challenges. *Land Degrad. Dev.* **34**, 2431–2444 (2023).
31. Ghazzawy, H. S., Alqahtani, N., Munir, M., Alghanim, N. S. & Mohammed, M. Combined Impact of Irrigation, Potassium Fertilizer, and Thinning Treatments on Yield, Skin Separation, and Physicochemical Properties of Date Palm Fruits. *Plants* **12**, 1003 (2023).
32. Dialami, H. & Mohebi, A. H. INCREASING YIELD AND FRUIT QUALITY OF 'SAYER' DATE PALM WITH APPLICATION OF OPTIMUM LEVELS OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM. *Acta Hortic.* 353–360 (2010) doi:10.17660/ActaHortic.2010.882.40.

33. Kassem, H. A. & Marzouk, H. A. Improving yield and fruit quality of date palm by organic fertilizer sources. *J. Appl. Hortic.* **12**, 145–150 (2010).
34. El Assar, A. M. Bunch covering impact on the ripening time, marketable yield and fruit quality of Zaghloul dates. *J. Appl. Hortic.* **11**, 132–135 (2009).
35. Harhash, M. M., Mosa, W. F. A., El-Nawam, S. M. & Gattas, H. R. H. Effect of bunch covering on yield and fruit quality of 'Barhee' date palm cultivar. *Middle East J. Agric. Res.* (2020) doi:10.36632/mejar/2020.9.1.4.
36. Siddiq, M. & Greiby, I. Overview of Date Fruit Production, Postharvest handling, Processing, and Nutrition. in *Dates* (eds. Siddiq, M., Aleid, S. M. & Kader, A. A.) 1–28 (John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, 2013).
37. Chao, C. T. & Krueger, R. R. The Date Palm (Phoenix dactylifera L.): Overview of Biology, Uses, and Cultivation. *HortScience* **42**, 1077–1082 (2007).
38. Mathew, L. S. *et al.* A Genome-Wide Survey of Date Palm Cultivars Supports Two Major Subpopulations in Phoenix dactylifera. *G3 Bethesda Md* **5**, 1429–1438 (2015).
39. Hazzouri, K. M. *et al.* Whole genome re-sequencing of date palms yields insights into diversification of a fruit tree crop. *Nat. Commun.* **6**, 8824 (2015).
40. Alam, M. Z. *et al.* Contributing factors to quality of date (*Phoenix dactylifera* L.) fruit. *Sci. Hortic.* **321**, 112256 (2023).
41. Hazzouri, K. M. *et al.* Genome-wide association mapping of date palm fruit traits. *Nat. Commun.* **10**, 4680 (2019).
42. Kordrostami, M., Mafakheri, M. & Al-Khayri, J. M. Date palm (Phoenix dactylifera L.) genetic improvement via biotechnological approaches. *Tree Genet. Genomes* **18**, 26 (2022).
43. GFDE. Global Food Data Explorer. *Our World in Data* https://ourworldindata.org/explorers/global-food (2021).
44. Barreveld, W. H. *Date Palm Products*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1993).
45. Boulal, A. Contribution à l'étude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles (Btana), et valorisation des dattes de faible valeur marchande. (2017).
46. Baliga, M. S., Baliga, B. R. V., Kandathil, S. M., Bhat, H. P. & Vayalil, P. K. A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (Phoenix dactylifera L.). *Food Res. Int.* **44**, 1812–1822 (2011).
47. Farooqui, S., Khan, W., Pandey, S. & Hussain, Z. STUDY OF SUSTENANCE PROPERTIES OF DATES. (2019).
48. Ghnimi, S., Umer, S., Karim, A. & Kamal-Eldin, A. Date fruit (Phoenix dactylifera L.): An underutilized food seeking industrial valorization. *NFS J.* **6**, 1–10 (2017).
49. STAN, N. C. NORME POUR LES DATTES CXS 143-1985. (1985).
50. Al-Farsi, M. A. & Lee, C. Y. Nutritional and functional properties of dates: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **48**, 877–887 (2008).

51. Mahomoodally, M. F. *et al.* Nutritional, medicinal and functional properties of different parts of the date palm and its fruit (Phoenix dactylifera L.) – A systematic review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **0**, 1–56 (2023).
52. Abdelkhalek, F., Said, M., El Nabtity, S. & Darwish, W. Nutritive Value, and Pharmacological Effects of Dates (Phoenix dactylifera L.): A Mini Review. *Zagazig Vet. J.* **50**, 73–86 (2022).
53. Rahmani, A. H. *et al.* Therapeutic effects of date fruits (Phoenix dactylifera) in the prevention of diseases via modulation of anti-inflammatory, anti-oxidant and anti-tumour activity. *Int. J. Clin. Exp. Med.* **7**, 483–491 (2014).
54. Al-Karmadi, A. & Okoh, A. I. An Overview of Date (Phoenix dactylifera) Fruits as an Important Global Food Resource. *Foods* **13**, 1024 (2024).
55. Al-Asmari, F. *et al.* Physico-chemical characteristics and fungal profile of four Saudi fresh date (Phoenix dactylifera L.) cultivars. *Food Chem.* **221**, 644–649 (2017).
56. Amal, A. A. H. *et al.* Postharvest fruit spoilage bacteria and fungi associated with date palm (Phoenix dactylifera L) from Saudi Arabia. *Afr. J. Microbiol. Res.* **8**, 1228–1236 (2014).
57. *Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food*. (CRC Press ; Woodhead Pub, Boca Raton : Cambridge, 2004).
58. Roos, Y. & Karel, M. Plasticizing Effect of Water on Thermal Behavior and Crystallization of Amorphous Food Models. *J. Food Sci.* **56**, 38–43 (1991).
59. Jay, J. M. *Modern Food Microbiology*. (Aspen Publishers, Gaithersburg, Md, 2000).
60. Amit, S. K., Uddin, Md. M., Rahman, R., Islam, S. M. R. & Khan, M. S. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agric. Food Secur.* **6**, 51 (2017).
61. *Food Processing: Principles and Applications*. (Wiley Blackwell, Chichester, West Sussex, UK, 2014).
62. Kamal-Eldin, A. *et al.* Dietary fiber components, microstructure, and texture of date fruits (Phoenix dactylifera, L.). *Sci. Rep.* **10**, 21767 (2020).
63. Hamad, S. H., Saleh, F. A. & Al-Otaibi, M. M. Microbial Contamination of Date *Rutab* Collected from the Markets of Al-Hofuf City in Saudi Arabia. *Sci. World J.* **2012**, e124892 (2012).
64. UNECE. UNECE standard DDP-08 2010. (2010).
65. Sarraf, M. *et al.* Commercial techniques for preserving date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit quality and safety: A review. *Saudi J. Biol. Sci.* **28**, 4408–4420 (2021).
66. Li, J. *et al.* Hot Water Treatment Improves Date Drying and Maintains Phytochemicals and Fruit Quality Characteristics of Date Palm (Phoenix dactylifera). *Foods* **12**, 2405 (2023).
67. Yahia, E. M. & Kader, A. A. Date (Phoenix dactylifera L.). in *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* 41–81e (Elsevier, 2011).
68. El-Mohandes, M. A. METHYL BROMIDE ALTERNATIVES FOR DATES DISINFESTATIONS. *Acta Hortic.* 555–562 (2010) doi:10.17660/ActaHortic.2010.882.62.

69. Benkeblia, N. STORAGE TECHNOLOGIES FOR DATE PALM FRUITS (PHOENIX DACTYLIFERA L.): CURRENT AND POTENTIAL TECHNIQUES. *Acta Hortic.* 151–154 (2013) doi:10.17660/ActaHortic.2013.994.14.
70. Oliveira, M. *et al.* Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables – A review. *Trends Food Sci. Technol.* **46**, 13–26 (2015).
71. Ahmed, A. R., Aleid, S. M. & Mohammed, M. Impact of Modified Atmosphere Packaging Conditions on Quality of Dates: Experimental Study and Predictive Analysis Using Artificial Neural Networks. *Foods* **12**, 3811 (2023).
72. Robertson, G. L. *Food Packaging: Principles and Practice*. (CRC Press, Place of publication not identified, 2016).
73. Moradinezhad, F. & Dorostkar, M. Effect of Vacuum and Modified Atmosphere Packaging on the Quality Attributes and Sensory Evaluation of Fresh Jujube Fruit. *Int. J. Fruit Sci.* **21**, 82–94 (2021).
74. Rana, S. & Siddiqui, S. Comparative effect of different individual wrappings on shelf life of guava (Psidium guajava). *J. Food Sci. Technol.* **55**, 2935–2944 (2018).
75. MRRSE. Vacuum Packaging Material - An Objective Assessment Of The Trajectory Of The Market. https://www.foodonline.com/doc/vacuum-packaging-material-an-objective-assessment-0001 (2016).
76. Zarbakhsh, S. & Rastegar, S. Influence of postharvest gamma irradiation on the antioxidant system, microbial and shelf life quality of three cultivars of date fruits (Phoenix dactylifera L.). *Sci. Hortic.* **247**, 275–286 (2019).
77. El-Beltagi, H. S., Aly, A. A. & El-Desouky, W. Effect of Gamma irradiation on some biochemical properties, antioxidant and antimicrobial activities of Sakouti and Bondoky dry dates fruits genotypes. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* **12**, 437–446 (2019).
78. FDA, C. for F. S. and A. Packaging Materials Listed in 21 CFR 179.45 for Use During Irradiation of Prepackaged Foods. *FDA* (2007).
79. Farousha, K., Tham, P. E., Chew, K. W., Amornraksa, S. & Show, P. L. The Future of Food Preservation: Active Packaging with Controlled Release Systems. *E3S Web Conf.* **428**, 02009 (2023).
80. Vilela, C. *et al.* A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends Food Sci. Technol.* **80**, 212–222 (2018).
81. Jackson-Davis, A. *et al.* A Review of Regulatory Standards and Advances in Essential Oils as Antimicrobials in Foods. *J. Food Prot.* **86**, 100025 (2023).
82. V, A. K. *et al.* Trends in Edible Packaging Films and its Prospective Future in Food: A Review. *Appl. Food Res.* **2**, 100118 (2022).
83. Ju, J. *et al.* Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. *Trends Food Sci. Technol.* **92**, 22–32 (2019).
84. Satyal, P., Murray, B. L., McFeeters, R. L. & Setzer, W. N. Essential Oil Characterization of Thymus vulgaris from Various Geographical Locations. *Foods* **5**, 70 (2016).

85. Borugă, O. *et al.* Thymus vulgaris essential oil: chemical composition and antimicrobial activity. *J. Med. Life* **7**, 56–60 (2014).
86. Moazeni, M. *et al. In vitro* antifungal activity of *Thymus vulgaris* essential oil nanoemulsion. *J. Herb. Med.* **28**, 100452 (2021).
87. Šegvić Klarić, M., Kosalec, I., Mastelić, J., Piecková, E. & Pepeljnak, S. Antifungal activity of thyme (Thymus vulgaris L.) essential oil and thymol against moulds from damp dwellings. *Lett. Appl. Microbiol.* **44**, 36–42 (2007).
88. Aljabeili, H. S., Barakat, H. & Abdel-Rahman, H. A. Chemical Composition, Antibacterial and Antioxidant Activities of Thyme Essential Oil (Thymus vulgaris). *Food Nutr. Sci.* **9**, 433–446 (2018).
89. Galovičová, L. *et al.* Thymus vulgaris Essential Oil and Its Biological Activity. *Plants* **10**, (2021).
90. Domaracky, M., Rehák, P., Juhás, Š. & Koppel, J. Effects of selected plant essential oils on the growth and development of mouse preimplantation embryos in vivo. *Physiol. Res.* (2007).
91. Kalyvianaki, K. *et al.* Toxicity evaluation of an essential oil mixture from the Cretan herbs thyme, Greek sage and Cretan dittany. *Npj Sci. Food* **4**, 20 (2020).
92. Rojas-Armas, J. *et al.* Acute and Repeated 28-Day Oral Dose Toxicity Studies of *Thymus vulgaris* L. Essential Oil in Rats. *Toxicol. Res.* **35**, 225–232 (2019).
93. Coelho, C. C. S. *et al.* Cellulose nanocrystals from grape pomace and their use for the development of starch-based nanocomposite films. *Int. J. Biol. Macromol.* **159**, 1048–1061 (2020).
94. AOAC. *AOAC: Official Methods of Analysis, 1980*. (Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, USA, 1980).
95. *Food Analysis*. (Springer International Publishing, Cham, 2017). doi:10.1007/978-3-319-45776-5.
96. Reynes, M. Influence d'une technique de désinfestation par micro-ondes sur les critères de qualité physico-chimiques et biochimiques de la datte. (Institut National Polytechnique de Lorraine, 1997).
97. Peterson, B. I., Tong, C.-H., Ho, C.-T. & Welt, B. A. Effect of Moisture Content on Maillard Browning Kinetics of a Model System during Microwave Heating. *J. Agric. Food Chem.* **42**, 1884–1887 (1994).
98. Afsar, T., Razak, S., Shabbir, M. & Khan, M. R. Antioxidant activity of polyphenolic compounds isolated from ethyl-acetate fraction of Acacia hydaspica R. Parker. *Chem. Cent. J.* **12**, 5 (2018).
99. Ali-RACHEDI, F., Meraghni, S. & Touaibia, N. Scabiosa Atropurpurea sub. Maritima L. *Bull. Société R. Sci. Liège* **87**, 9 (2018).
100. Bajaj, K. L. & Devsharma, A. K. A colorimetric method for the determination of tannins in tea. *Microchim. Acta* **68**, 249–253 (1977).
101. *Food Analysis Laboratory Manual*. (Springer US, Boston, MA, 2010).
102. JAIN, A. *BASIC TECHNIQUES IN BIOCHEMISTRY, MICROBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY Principles and Techniques.* (HUMANA, S.l., 2019).

103. *Practical Food Microbiology*. (Blackwell Pub, Malden, Mass, 2003).
104. CRSTRA. GUIDE DE BONNES PRATIQUES : ORIENTATIONS POUR UNE MEILLEURE CONSERVATION DES DATTES. (2016).
105. Hazbavi, E., Khoshtaghaza, M. H., Mostaan, A. & Banakar, A. Effect of storage duration on some physical properties of date palm (cv. Stamaran). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* **14**, 140–146 (2015).
106. Klava, D. & Krasnova, I. Evaluation of apple quality during storage in a controlled medium. (2009).
107. Aleid S. M., Elansari A. M., Zhen-Xing T. & Sallam A. A. Effect of Cold Storage and Packing Type on Khalas and Sukkary Dates Quality. *Adv. J. Food Sci. Technol.* **6**, 603–608 (2014).
108. Hamad, S. H. Microbial contamination and some chemical and physical properties of date fruits stored at room and refrigerator temperatures. *Arab Gulf J. Sci. Res.* **ahead-of-print**, (2023).
109. Cherif, S., Le Bourvellec, C., Bureau, S. & Benabda, J. Effect of storage conditions on 'Deglet Nour' date palm fruit organoleptic and nutritional quality. *LWT* **137**, 110343 (2021).
110. Soto-Muñoz, L., Pérez-Gago, M. B., Martínez-Blay, V. & Palou, L. Postharvest Application of Potato Starch Edible Coatings with Sodium Benzoate to Reduce Sour Rot and Preserve Mandarin Fruit Quality. *Coatings* **13**, 296 (2023).
111. Ahmed, M. J., Singh, Z. & Khan, A. S. Postharvest Aloe vera gel-coating modulates fruit ripening and quality of 'Arctic Snow' nectarine kept in ambient and cold storage. *Int. J. Food Sci. Technol.* **44**, 1024–1033 (2009).
112. Chenlo, F., Moreira, R., Chaguri, L. & Torres, M. d. Effects of Storage Conditions on Sugars and Moisture Content of Whole Chestnut Fruits. *J. Food Process. Preserv.* **34**, 609–620 (2010).
113. Rahemi, M., Roustai, F. & Sedaghat, S. Use of Edible Coatings to Preserve Date Fruits (Phoenix Dactylofera L.). *J. Packag. Technol. Res.* **4**, 79–84 (2020).
114. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. (Woodhead Publishing : Elsevier, Duxford, 2019).
115. Tyl, C. & Sadler, G. D. pH and Titratable Acidity. in *Food Analysis* (ed. Nielsen, S. S.) 389–406 (Springer International Publishing, Cham, 2017). doi:10.1007/978-3-319-45776-5_22.
116. Remberg, S. F. *et al.* PHENOLIC COMPOUNDS, ANTIOXIDANT ACTIVITY AND OTHER QUALITY RELATED CRITERIA OF 'SUMMERRED' APPLES AS INFLUENCED BY POSTHARVEST STORAGE CONDITIONS. *Acta Hortic.* 169–176 (2010) doi:10.17660/ActaHortic.2010.875.21.
117. Dziedzic, E. & Błaszczyk, J. Evaluation of sweet cherry fruit quality after short-term storage in relation to the rootstock. *Hortic. Environ. Biotechnol.* **60**, 925–934 (2019).
118. Rastegar, S., Rahemi, M., Baghizadeh, A. & Gholami, M. Enzyme activity and biochemical changes of three date palm cultivars with different softening pattern during ripening. *Food Chem.* **134**, 1279–1286 (2012).

119. Mortazavi, S. M. H., Arzani, K. & Barzegar, M. EFFECT OF VACUUM AND MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING ON THE POSTHARVEST QUALITY AND SHELF LIFE OF DATE FRUITS IN KHALAL STAGE. *Acta Hortic.* 471–477 (2007) doi:10.17660/ActaHortic.2007.736.45.
120. Daas Amiour, S. & Hambaba, L. Effect of pH, temperature and some chemicals on polyphenoloxidase and peroxidase activities in harvested Deglet Nour and Ghars dates. *Postharvest Biol. Technol.* **111**, 77–82 (2016).
121. Al-Amrani, M., Al-Alawi, A. & Al-Marhobi, I. Assessment of Enzymatic Browning and Evaluation of Antibrowning Methods on Dates. *Int. J. Food Sci.* **2020**, e8380461 (2020).
122. Martinez, M. V. & Whitaker, J. R. The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends Food Sci. Technol.* **6**, 195–200 (1995).
123. Moon, K. M., Kwon, E.-B., Lee, B. & Kim, C. Y. Recent Trends in Controlling the Enzymatic Browning of Fruit and Vegetable Products. *Molecules* **25**, 2754 (2020).
124. Ali, H. M., El-Gizawy, A. M., El-Bassiouny, R. E. I. & Saleh, M. A. Browning inhibition mechanisms by cysteine, ascorbic acid and citric acid, and identifying PPO-catechol-cysteine reaction products. *J. Food Sci. Technol.* **52**, 3651–3659 (2015).
125. Tavarini, S., Degl'Innocenti, E., Remorini, D., Massai, R. & Guidi, L. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chem.* **107**, 282–288 (2008).
126. Moosavi Dolatabadi, K. S., Dehghan, G., Hosseini, S. & Jahanban Esfahlan, A. Effect of five year storage on total phenolic content and antioxidant capacity of almond (Amygdalus communisL.) hull and shell from different genotypes. *Avicenna J. Phytomedicine* **5**, 26–33 (2015).
127. Minatel, I. O. *et al.* Phenolic Compounds: Functional Properties, Impact of Processing and Bioavailability. in *Phenolic Compounds - Biological Activity* (eds. Soto-Hernndez, M., Palma-Tenango, M. & Garcia-Mateos, M. D. R.) (InTech, 2017). doi:10.5772/66368.
128. Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V. & Peralta, R. M. Phenolic compounds in fruits - an overview: Phenolic compounds in fruits. *Int. J. Food Sci. Technol.* **47**, 2023–2044 (2012).
129. Kalt, W. Effects of Production and Processing Factors on Major Fruit and Vegetable Antioxidants. *J. Food Sci.* **70**, R11–R19 (2005).
130. Vaclavik, V. & Christian, E. W. *Essentials of Food Science*. (Springer, New York, NY, 2008).
131. Wang, J. *et al.* Evolution of Seed-Soluble and Insoluble Tannins during Grape Berry Maturation. *Molecules* **28**, 3050 (2023).
132. Del Bubba, M. *et al.* Changes in tannins, ascorbic acid and sugar content in astringent persimmons during on-tree growth and ripening and in response to different postharvest treatments. *J. Food Compos. Anal.* **22**, 668–677 (2009).

133. BENMEHAIA, R. & ATALLAOUI, K. ANALYSE DE LA DENSITÉ DE PLANTATION DES PALMERAIES DANS LA WILAYA DE BISKRA À TRAVERS DES DONNÉES EXHAUSTIVES. *Rev. Bioressources* **8**, (2018).
134. Al-Najada, A. R. & Mohamed, S. A. Changes of antioxidant capacity and oxidoreductases of Saudi date cultivars (Phoenix dactylifera L.) during storage. *Sci. Hortic.* **170**, 275–280 (2014).
135. Cordenunsi, B. R. *et al.* Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of three strawberry cultivars. *Food Chem.* **91**, 113–121 (2005).
136. El-Beltagi, H. S. *et al.* Physiological response, phytochemicals, antioxidant, and enzymatic activity of date palm (Phoenix dactylifera L.) cultivated under different storage time, harvesting Stages, and temperatures. *Saudi J. Biol. Sci.* **30**, 103818 (2023).
137. Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Sayas-Barberá, E., Navarro-Rodríguez de Vera, C. & Pérez-Álvarez, J. Á. Biological, Nutritive, Functional and Healthy Potential of Date Palm Fruit (Phoenix dactylifera L.): Current Research and Future Prospects. *Agronomy* **12**, 876 (2022).
138. Marondedze, C., Gehring, C. & Thomas, L. Dynamic changes in the date palm fruit proteome during development and ripening. *Hortic. Res.* **1**, 1–15 (2014).
139. Ahmed, I. S. A., Al-Gharibi, K. N., Daar, A. S. & Kabir, S. The composition and properties of date proteins. *Food Chem.* **53**, 441–446 (1995).
140. Brummell, D. Primary cell wall metabolism during fruit ripening. *N. Z. J. For. Sci.* **36**, 99 (2006).
141. Zamir, R., Islam, A. B. M. N., Rahman, A., Ahmed, S. & Omar Faruque, M. Microbiological Quality Assessment of Popular Fresh Date Samples Available in Local Outlets of Dhaka City, Bangladesh. *Int. J. Food Sci.* **2018**, e7840296 (2018).
142. Nelson, K. E., Pell, A. N., Doane, P. H., Giner-Chavez, B. I. & Schofield, P. Chemical and Biological Assays to Evaluate Bacterial Inhibition by Tannins. *J. Chem. Ecol.* **23**, 1175–1194 (1997).
143. Jasser, M. Effect of storage temperatures on microbial load of some dates palm fruit sold in Saudi Arabia market. *Afr. J. Food Sci. Vol* **4**, 359–363 (2010).

ANNEXES

ANNEXE 1 : COMPOSITION DES DATTES

Composant	*Valeur minimale rapportée*	*Valeur maximale rapportée*	*Deglet Nour*
Humidité (g/100 g)	7,2	50,4	20,5
Matières grasses (g/100 g)	0,1	1,4	0,4
Cendres (g/100 g)	1	1,9	1,6
Protéines (g/100 g)	1,1	2,6	2,5
Glucides (g/100 g)	52,6	88,6	75
Energie (kcal/100 g)	185	344	293
Fructose (g/100 g)	13,6	36,8	19,6
Glucose (g/100 g)	17,6	41,4	19,9
Saccharose (g/100 g)	0,5	33,9	23,8
Minéraux (mg/100 g)			
Mg	31	150	43
Na	1	261	2
Ca	5	206	39
P	35	74	62
K	345	1287	656
Mn	0,01	0,4	3
Fe	0,1	1,5	1
Zn	0,02	0,6	0,3
Cu	0,01	0,8	0,2
Se	0,24	0,4	/
Vitamines (µg/100 g)			
A (Rétinol)	3	44,7	3

B1 (Thiamine)	50	120	52
B2 (Riboflavine)	60	160	66
B3 (Niacine)	1274	1610	1274
B6 (Pyridoxine)	165	249	165
B9 (Folate)	39	65	/
C (Acide ascorbique)	400	16.000	400
Acides aminés (mg/100 g)			
Alanine	30	133	83
Arginine	34	148	136
Acide aspartique	59	309	213
Cystéine	13	67	67
Acide glutamique	100	382	359
Glycine	42	268	101
Histidine	0,1	46	32
Isoleucine	4	55	49
Leucine	41	242	84
Lysine	42	154	66
Méthionine	4	62	22
Phénylalanine	25	67	50
Proline	36	148	130
Sérine	29	128	57
Thréonine	23	95	43
Tryptophane	7	92	12
Tyrosine	15	156	15
Fibres (g/100 g)			
Solubles	0,4	1,3	/
Insolubles	3,03	7,4	/
Totales	3,57	10,9	8
Caroténoïdes (µg/100 g)			

α-Caroténoïdes	3	3	/
β-Caroténoïdes	2,5	146	6,4
Zéaxanthine	33	33	/
β-Zéaxanthine	9	9	/
Lutéine	28	541	156
Néoxanthine	184	381	/
Polyphénols (mg/100g)			
Anthocyanines	0,2	1,5	/
Phénols	3,91	661	661

ANNEXE 2 : APERÇU DES PRINCIPALES MÉTHODES DE CONSERVATION DES ALIMENTS

Méthode	*Description*	*Avantages*	*Inconvénients*	*Applications*
Physiques				
Séchage	Élimine l'eau des aliments pour inhiber la croissance microbienne	Réduit le poids et le volume, facilite le stockage et le transport, améliore la saveur	Perte de saveur et d'arôme, perte de nutriments (vitamine C, thiamine, protéines, lipides)	Fruits, légumes, viandes, poissons, produits laitiers
Pasteurisation	Chauffe les aliments pour détruire les agents pathogènes et	Changements physiques, chimiques ou biologiques minimes	Peut endommager certaines vitamines et minéraux	Lait, jus de fruits, bière, vin, produits laitiers

	prolonger la durée de conservation			
Stérilisation thermique	Utilise une chaleur élevée pour détruire tous les micro-organismes	Durée de conservation plus longue que la pasteurisation	Peut altérer considérablement la qualité des aliments	Conserves de fruits, légumes, viandes, poissons
Retorsion	Stérilisation dans un récipient scellé	Efficace pour les aliments stables à la conservation	Consommation d'énergie élevée	Conserves de viande, poisson, légumes
Emballage aseptique	Stérilise les aliments et les contenants séparément	Durée de conservation plus longue que les autres méthodes	Nécessite un équipement spécialisé	Lait, jus de fruits, desserts lactés
Congélation	Ralentit les réactions biochimiques et inhibe la croissance microbienne	Préserve la fraîcheur et les nutriments	Peut endommager la structure cellulaire et la texture	Fruits, légumes, viandes, poissons, produits laitiers
Refroidissement	Maintient une basse température	Prolonge la durée de conservation	Durée de conservation limitée par	Fruits, légumes, viandes,

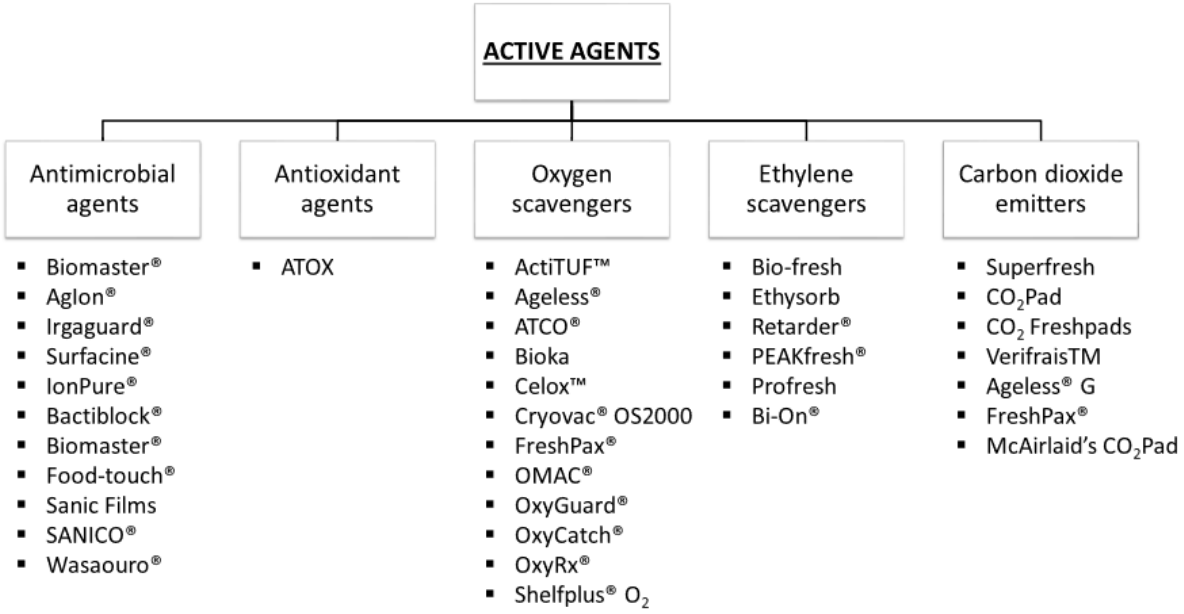
	pour ralentir la détérioration	des aliments frais et transformés	rapport à la congélation	poissons, produits laitiers
Irradiation	Utilise des rayonnements ionisants pour tuer les micro-organismes	Prolonge la durée de conservation et améliore la sécurité alimentaire	Perte potentielle de certains micronutriments	Viandes, épices, fruits, légumes
Traitement à haute pression (HPP)	Utilise une pression élevée pour inactiver les micro-organismes	Conserve la valeur nutritive et les qualités sensorielles	Coût d'investissement élevé, informations limitées disponibles	Jus de fruits, guacamole, produits laitiers
Champ électrique pulsé (PEF)	Utilise un champ électrique pulsé pour perturber les membranes cellulaires microbiennes	Efficace pour les aliments liquides, conserve le goût et la couleur	Non efficace pour les enzymes ou les spores, consommation d'énergie élevée	Jus de fruits, purées de fruits, sauces
Chimiques				
Salage	Ajoute du sel aux aliments pour inhiber la	Augmente la saveur et la	Consommation excessive de sodium peut être	Viandes, poissons, légumes

	croissance microbienne	durée de conservation	un problème de santé	
Sucrage	Ajoute du sucre aux aliments pour inhiber la croissance microbienne et améliorer la saveur	Augmente la saveur et la durée de conservation	Augmente la teneur en calories et peut être un problème de santé	Fruits, confitures, sirops
Saumurage	Conserve les aliments dans une solution de sel et d'eau	Augmente la saveur et la durée de conservation	Consommation excessive de sodium peut être un problème de santé	Viandes, poissons, légumes
Fumage	Expose les aliments à la fumée pour les conserver et leur donner un goût fumé		Contient des substances cancérigènes	Viandes, poissons
Sulfites	Ajoute des sulfites à certains aliments pour inhiber la	Empêche le brunissement des fruits et légumes secs	Peut provoquer des réactions allergiques chez certaines personnes	Fruits secs, vin

	croissance de bactéries et de champignons			
Acide acétique (vinaigre)	Utilise l'acide acétique produit par la fermentation pour inhiber la croissance microbienne	Ajoute une saveur piquante	Peut altérer la texture de certains aliments	Cornichons, vinaigrettes
Acide citrique	Ajoute de l'acide citrique aux aliments pour inhiber la croissance microbienne et acidifier le goût	Peut améliorer la durée de conservation et la saveur	Peut altérer la couleur de certains aliments	Boissons gazeuses, fruits en conserve
Biologiques				
Fermentation	Convertit les sucres en alcools ou en acides organiques par l'action de micro-organismes	Augmente la durée de conservation, crée de nouvelles saveurs et textures, améliore la digestibilité de	Peut produire de l'alcool, nécessite un contrôle strict des conditions de ***fermentation***	***Yaourt, fromage, choucroute, kimchi, vin, bière, pain au levain***

	(bactéries ou levures)	certains aliments		
Microfiltrage	Utilise des membranes pour éliminer les bactéries et autres micro-organismes pathogènes	Conserve la valeur nutritive et les qualités sensorielles des aliments liquides	Nécessite un équipement spécialisé	Jus de fruits, vin, bière

ANNEXE 3 : EXEMPLES D'AGENTS ACTIFS COMMERCIAUX POUR LES EMBALLAGES ALIMENTAIRES ACTIFS.



ANNEXE 4 : ARRÊTÉ INTERMINISTÉRIEL DU 2 MOHARRAM 1438 CORRESPONDANT AU 4 OCTOBRE 2016 FIXANT LES CRITÈRES MICROBIOLOGIQUES DES DENRÉES ALIMENTAIRES : EXTRAIT RELATIF AUX FRUITS ET LÉGUMES.

12- Légumes, fruits, végétaux et produits à base de végétaux (suite)

Catégories des denrées alimentaires	Micro-organismes/ métabolites	Plan d'échantillonnage		Limites microbiologiques (ufc/g)	
		n	c	m	M
Graines germées prêtes à être consommées	*Escherichia coli*	5	2	10^2	10^3
	Bacillus cereus	5	2	10^2	10^3
	Salmonella	5	0	Absence dans 25 g	
	Listeria monocytogenes	5	0	100	
Germes (3)	*Escherichia coli* producteurs de shiga-toxines (STEC) 0157,026, 0111, 0103, 0145 et 0104 : H4	5	0	Absence dans 25 g	
Fruits secs (figues, dattes, pruneaux, raisins secs...)	*Escherichia coli*	5	2	10	10^2
	Moisissures	5	2	10^2	10^3
	Salmonella	5	0	Absence dans 25 g	
Graines oléagineuses (noix, amandes, arachides...)	*Escherichia coli*	5	2	2	20
	Moisissures	5	2	10^2	10^3
	Salmonella	5	0	Absence dans 25 g	
Café et dérivés	Coliformes totaux	5	1	10	10^2
	Levures et moisissures	5	2	10^2	10^3
Préparations de mélange de fruits frais (salade de fruits...)	Levures et moisissures	5	2	10^4	10^5
	Escherichia coli	5	2	10^2	10^3
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10^2	10^3
	Salmonella	5	0	Absence dans 25 g	

(1) Fruits et légumes lavés, épluchés, égouttés, coupés, râpés, emballés sous atmosphère modifiée ou non.

(2) Les *bacillus cereus* sont recherchés, seulement, pour les épices et les mélanges d'épices.

(3) A l'exclusion des germes qui ont subi un traitement thermique efficace pour éliminer *salmonella spp* et STEC.

8 Chaoual 1438
2 juillet 2017 JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 39 27

12- Légumes, fruits, végétaux et produits à base de végétaux (suite)

Catégories des denrées alimentaires	Micro-organismes/ métabolites	Plan d'échantillonnage		Limites microbiologiques (ufc/g)	
		n	c	m	M
Graines germées prêtes à être consommées	*Escherichia coli*	5	2	10^2	10^3
	Bacillus cereus	5	2	10^2	10^3
	Salmonella	5	0	Absence dans 25 g	
	Listeria monocytogenes	5	0	100	
Germes (3)	*Escherichia coli* producteurs de shiga-toxines (STEC) 0157,026, 0111, 0103, 0145 et 0104 : H4	5	0	Absence dans 25 g	
Fruits secs (figues, dattes, pruneaux, raisins secs...)	*Escherichia coli*	5	2	10	10^2
	Moisissures	5	2	10^2	10^3
	Salmonella	5	0	Absence dans 25 g	
Graines oléagineuses (noix, amandes, arachides...)	*Escherichia coli*	5	2	2	20
	Moisissures	5	2	10^2	10^3
	Salmonella	5	0	Absence dans 25 g	
Café et dérivés	Coliformes totaux	5	1	10	10^2
	Levures et moisissures	5	2	10^2	10^3
Préparations de mélange de fruits frais (salade de fruits...)	Levures et moisissures	5	2	10^4	10^5
	Escherichia coli	5	2	10^2	10^3
	Staphylocoques à coagulase +	5	2	10^2	10^3
	Salmonella	5	0	Absence dans 25 g	

(1) Fruits et légumes lavés, épluchés, égouttés, coupés, râpés, emballés sous atmosphère modifiée ou non.

(2) Les *bacillus cereus* sont recherchés, seulement, pour les épices et les mélanges d'épices.

(3) A l'exclusion des germes qui ont subi un traitement thermique efficace pour éliminer *salmonella spp* et STEC.

ANNEXE 5 : ARTICLE "THE IMPACT OF THYME EXTRACT AS A COATING FILM ON THE PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROFILE OF DATE FRUIT (*PHOENIX DACTYLIFERA*)"

Food Control 158 (2024) 110209

Contents lists available at ScienceDirect

Food Control

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodcont

The impact of thyme extract as a coating film on the physicochemical and microbiological profile of date fruit (*Phoenix dactylifera*)

Sarra Meriem Belili [a,*], Tahar Hadj Sadok [c], Smain Megatli [b], Fairouz Saidi [a]

[a] Laboratory of Biotechnology, Environment, and Health, Faculty of Nature and Life Sciences, Blida 1 University, Algeria
[b] Laboratory of Sciences, Food Technology, and Sustainable Development, Faculty of Nature and Life Sciences, Blida 1 University, BP 270, Road of Soumaa, Blida, 09000, Algeria
[c] Faculty of Nature and Life Sciences, Blida 1 University, BP 270, Road of Soumaa, Blida, 09000, Algeria

ARTICLE INFO

Keywords:
Phoenix dactylifera
Storage
Temperature
Coating
thyme
Vacuum

ABSTRACT

The study involves a comparison between two application methods: traditional vacuum packaging and a film coating using thyme essential oil (TEO). The objective is to evaluate how effective these techniques are in preserving the quality and longevity of date fruit for storage periods of up to six months.

The results highlighted that the selection of the preservation technique significantly affected various aspects. Thyme-coated dates (CD) exhibited notably higher moisture retention (35.1%), especially when stored in cold conditions. Additionally, CD showed reduced browning rates, attributed to its ascorbic acid content (0.112 and 0.094) in both cold and room temperature storage after six months. Furthermore, CD generally maintained lower sugar levels compared to the highest value, and after four months of storage, it displayed significantly higher flavonoid levels (119,313 μg/mL).

In terms of microbial growth, CD experienced significantly greater bacterial growth during cold storage (9.34 log10 CFU/g after four months), but lower growth when stored at room temperature (8.66 log10 CFU/g after four months). Interestingly, CD initially demonstrated the least fungal growth at both cold and room temperatures, while vacuum packaging (VP) showed the lowest growth after six months.

This research suggests that thyme coating presents itself as a promising and environmentally friendly solution for extending the shelf life and preserving the quality of date fruit. However, it's essential to carefully consider the choice of storage conditions and duration. These findings hold significance for producers, consumers, and the entire supply chain within the date industry.

1. Introduction

Agricultural production is an essential contributor to the worldwide economy. Dates international market reached 1.9 billion US D in 2020. It's also reported that the area planted with date palm was over 1 million ha in the same year. Algeria contributed 13.8% of it and 7.01% of the market (FAO, 2023; OEC, 2021). Deglet Nour variety, the subject of interest of this study, represented 54% of the Algerian production in 2019 (MADR, 2019).

Besides its economic importance, the date fruit (*Phoenix dactylifera*) holds significant cultural and nutritional value, making it a cherished commodity in various regions. Its appeal stems from its natural sweetness, unique flavor, and abundance of essential nutrients like fibers, vitamins, minerals, amino acids, and others (Al-Khayri et al., 2015; Amadou, 2016). making it a popular choice for both fresh consumption and various processed food products. However, the postharvest challenges associated with date fruit, such as rapid moisture loss, enzymatic browning, and microbial spoilage, have been major concerns for growers, distributors, and consumers alike.

To address these issues, numerous preservation techniques have been explored, notably, chemical treatments by hydrogen phosphide, heat treatment, chilled storage, irradiation, and modified atmosphere packaging (Achour et al., 2003; Kwaasi, 2003). Among these, the application of edible coatings has drawn significant interest because of its ability to extend the shelf life, maintain quality attributes, and minimize the need for synthetic preservatives. Edible coatings provide an additional barrier that reduces gas exchange, limits moisture loss, and protects the fruit from external contaminants while preserving its

* Corresponding author. Blida 1 University, BP 270, Road of Soumaa, Blida, 09000, Algeria.
E-mail addresses: belilisarram@gmail.com, belili.meriem@etu.univ-blida.dz (S.M. Belili).

https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110209
Received 22 May 2023; Received in revised form 9 November 2023; Accepted 12 November 2023
Available online 16 November 2023
0956-7135/© 2023 Elsevier Ltd. All rights reserved.

natural characteristics (Coelho et al., 2017; Janani et al., 2020; Moreno et al., 2017; Noshirvani et al., 2017; Rodríguez et al., 2020).

Thyme (*Thymus vulgaris*) extract has emerged as a promising candidate for developing edible coatings due to its rich bioactive compounds, including phenolic compounds, flavonoids, and essential oils. These natural constituents have demonstrated antioxidant, and antimicrobial properties in various food systems (Lian et al., 2020; Moghimi et al., 2017; Pinto et al., 2014; Razzaghi-Abyaneh et al., 2009), making thyme extract an attractive option for enhancing the preservation of perishable foods like date fruit.

This study contrasts two preservation methods: traditional vacuum packaging and an innovative approach that entails coating dates with a film encapsulating thyme essential oil (TEO) before the packaging process.

Through this comparative analysis, we seek to shed light on the efficacy of these two techniques and their potential to enhance the shelf life and quality of date fruit. By acquiring a more profound comprehension of the impacts of thyme extract coatings on the fruit, our objective is to provide valuable insights for field of postharvest preservation and provide a natural, eco-friendly solution to extend the marketability and enjoyment of date fruit, benefiting consumers, producers, and the entire supply chain.

2. Materials and methods

2.1. Chemical reagents and culture media

The majority of the chemicals were sourced from Sigma-Aldrich Ltd. (MO, USA). Additionally, CARLO ERBA LLC (Milano, Italy) supplied the sulfuric acid and sodium carbonate, while VWR LLC (PA, USA) provided tryptone salt broth, ammonium molybdate, and phenolphthalein. Condalab LLC (Madrid, Spain) furnished PCA, whereas Liofilchem LLC (Teramo, Italy) supplied PDA. The *Thymus vulgaris* Essential Oil, extracted through steam distillation, was obtained from a local extractor Vie Bio (Blida, Algeria).

2.2. Sample collection

Deglet Nour date fruits were harvested at the rutab stage from the Biskra region in Algeria, in December 2021. After harvest, the dates were delicately rinsed with distilled water, and subsequently allowed to drain at room temperature before any further treatments.

2.3. Film preparation

The coating film was created following a three-layer process with adaptations from Coelho et al., (2020). In the first and third layers, starch (8 g) was mixed in distilled water (300 mL) using a magnetic stirrer for continuous 24 h. Additional components included 2 g of ascorbic acid (first layer only), 0.6 g glycerin, and 2 g carboxymethyl cellulose in 100 mL distilled water, mixed and heated at 70 °C for 30 min, followed by 20 min in a 46 kHz ultrasonic bath.

For the second layer, 3 g of tween 80 and 95 g of distilled water were mixed in a 70 °C water bath until tween 80 dissolved. After cooling, 2 g of thyme essential oil was added, creating an emulsion, followed by 5 min in a 46 kHz ultrasonic bath.

The dates were immersed in the layers sequentially: first in the first layer, then in the second layer, and finally in the third layer. Each immersion was conducted for 5 min, followed by air-drying for 24 h. Afterward, both the treated and untreated dates were packed into polyethylene aseptic zip lock bags, with each bag containing approximately 200 g. Multiple bags were prepared for each group.

2.4. Vacuum packaging

Clean and dry dates were enclosed in plastic bags (22 × 20 cm) from Electrodomésticos Taurus, S.L. (Lleida, Spain), which were vacuum-sealed using a food packaging machine provided by Zhejiang Qunhai Electronic Technology Co., Ltd. (Zhejiang, China). The machine achieved a maximum vacuum degree of 430 mmHg. These bags are composed of polyamide + polyethylene.

2.5. Study design

The experiment was conducted in accordance with a fully randomized design (CRD). As outlined in Table 1, the date fruits were divided into three groups: the first was coated with the film, the second was vacuum-packed, and the third remained untreated. Subsequently, these three groups were subjected to two storage conditions (4 °C and room temperature) over six months. Analysis was conducted at two-month intervals to assess various parameters.

Descriptive statistics are expressed as the mean of triplicates ± Standard error. Factorial ANOVA was performed after checking its as-sumptions to examine the differences between the conservation tech-niques and storage temperatures throughout each time level of the experimentation. The ANOVA analysis was followed by the Tukey test to point out the differences among the groups. And for that, SPSS version 25 (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA) was used. The alpha level was set at $p < 0.05$.

2.6. Physicochemical properties

2.6.1. Moisture content (MC)

The moisture content of the date fruits was assessed following a modified version of the method outlined in AOAC (1980). Specifically, this involved placing 3 g of finely chopped date pulp into an oven set to 105 °C for a duration of 3 h. Subsequently, the samples were allowed to cool within a desiccator for approximately 1 h, after which the moisture content (MC) was determined using equation (1). This procedure was carried out using a UM200 drying oven from Memmert GmbH + Co. KG (Schwabach, Germany).

$$MC(\%) = \frac{(M1 \quad M2)}{P} x100 \tag{1}$$

MC: moisture content (%)
M1: weight of the container with moist pulp (mg)
M2: weight of the container with dry pulp (mg)
P: weight of the moist pulp (mg)

2.6.2. Preparation of date extracts

The preparation of the date fruit extract was conducted in line with the methodology of Al-Asmari et al. (2017), albeit with certain adjustments. 1 g of finely minced fresh date was homogenized using 20 mL of methanol. This homogenate was then subjected to ultrasonic treatment in a bath operating at 46 kHz for 20 min. Subsequently, centrifugation was performed using a model 800D centrifuge from Foshan Nanhai Feier Electronic Technology Co., Ltd. (Guangdong, China), at a speed of 4000 rpm for 10 min, following which the supernatant was collected. The resulting extract was employed for assessing parameters such as acidity, browning index, total sugars, reducing sugars, total phenolic content, total tannins, flavonoids, and total antioxidant activity.

2.6.3. pH and total acidity (A)

The pH was determined using the pH metric method (Reynes, 1997). Initially, 5 g of date pulp were mixed with 10 mL of distilled water, and the pH was measured utilizing a PHS-25 pH meter from Yantai Stark Instrument Co., Ltd. (Yantai, China). Throughout the pH measurement procedure, distilled water was added in increments of 10 mL each time, with continuous agitation following each addition until the final volume reached 50 mL. Subsequently, a trendline equation was obtained from the graph according to equation (2), where V represents the volume of

Table 1
Range and levels of parameters of the Factorial experimental design.

Factors	Levels			
Time	Fresh	Two months (2M)	Four months (4M)	Six months (6M)
Technique	Coating dates (CD)	Vacuum packaging (VP)	Control (CTR)	
Temperature	4 °C (CT)	Room temperature (RT)		

added distilled water. The pH value was calculated at V = 0 to provide an estimate.

$$pH = f(V_{water}) \quad (2)$$

Total acidity was assessed through colorimetric titration employing phenolphthalein as the color indicator, following a procedure outlined by Nielsen (2017) with some modifications. In summary, a 1% v/v dilution of date extract in distilled water was mixed with 50 µl of phenolphthalein indicator, and titration was carried out using 0.1 N sodium hydroxide solution with continuous stirring until a pink color was attained. The acidity is then calculated according to equation (3).

$$A\,\% = \frac{N\,x\,V1x\,Eq\,wt}{V2x10} \quad (3)$$

N: Normality of NaOH (mEq/mL)
V1: volume of NaOH (mL)
V2: volume of sample (mL)
Eq wt: equivalent weight of citric acid (mg/mEq)

2.6.4. Browning index (BI)

To determine the browning index, the absorbance of 3 mL of the date extract was read using a model ME-721 spectrophotometer (Mesu Lab Instruments Ltd., Guangzhou, China) set at 420 nm (Peterson et al., 1994)..

2.6.5. Total sugars (TS) and reducing sugars (RS)

Total carbohydrate content was determined using the phenol-sulfuric acid method as outlined in Nielsen (2010), with slight modifications. Initially, 0.5 mL of a 1% v/v dilution of date extract in distilled water was combined with 0.4 mL of 5% w/v phenol in distilled water and 2.5 mL of 96% sulfuric acid, followed by a 10 min cooling period at room temperature. After vortex mixing, the absorbance at 530 nm was measured. A standard curve was constructed using the same procedure, utilizing a glucose solution.

Reducing sugars was determined using the Fehling titration method, adapted from AOAC (1980). The Fehling solution comprises two solutions, labeled A and B. To prepare solution A, 34.639 g of copper sulfate is dissolved in 500 mL of distilled water. Solution B is formed by dissolving 173 g of sodium potassium tartrate and 50 g of NaOH in 500 mL of distilled water. Titration is performed promptly after combining solutions A and B in a 1:1 ratio. In the titration process, the Fehling solution is heated and then titrated with the date extract while agitating until a reddish-brown color emerges. The quantification of reducing sugars was conducted in terms of glucose equivalents using a concentrated glucose solution of 5 mg/mL, following the formula:

$$C1(mg/mL) = \frac{c2x\,v2}{v1} \quad (4)$$

C1: RS concentration (mg/mL)
V1: RS volume (mL)
C2: glucose concentration (mg/mL)
V2: glucose volume (mL)

2.6.6. Total phenolic content (TPC)

The analysis was carried out following the method described in Ali-Rachedi et al. (2018), with minor adjustments. Specifically, 400 µl of date extract was combined with 2 mL of Folin-Ciocalteu reagent (10% v/v) and 1.6 mL of sodium carbonate (7.5% w/v). After a 30-min incubation at room temperature, the absorbance of the mixture was measured at 765 nm. A standard curve was generated using gallic acid dilutions.

2.6.7. Total tannins (TT)

Total tannins (TT) were assessed following the method outlined in Bajaj and Devsharma (1977), with slight adjustments. In summary, 1.4 mL of date extract was combined with 2.1 mL of HCl (37%) and 0.7 mL of distilled water. The mixture was heated for 30 min at 100 °C and then allowed to cool to room temperature. The absorbance was measured at 550 nm, and a standard concentration curve was constructed using dilutions of tannic acid solution.

2.6.8. Flavonoids (flv)

According to Ali-Rachedi et al. (2018), flavonoids were estimated by mixing 1 mL of date extract with 0.3 mL of NaNO2 (5% w/v). After 5 min, 0.3 mL of AlCl3 (10% w/v) was added, and then 2 mL of 2 M NaOH was added after another 6 min. The absorbance was read at 510 nm against the standard quercetin curve of concentration.

2.6.9. Total antioxidant activity (TAA)

Total antioxidant activity (TAA) was determined using the phosphomolybdate assay as outlined in Afsar et al. (2018). The reagent was prepared by mixing 0.6 mM of sulfuric acid, 28 mM of sodium phosphate, and 4 mM of ammonium molybdate in a 1:1:1 ratio. To this reagent, 3 mL of the mixture was added to 0.3 mL of date extract and incubated for 30 min at 90 °C. Subsequently, the absorbance was measured at 695 nm. TAA was quantified in terms of equivalents of ascorbic acid.

2.7. Microbiological analyses

The procedures outlined in Al-Asmari et al. (2017), Roberts and Greenwood (2003), and Tournas et al. (2001) were followed to prepare a stock suspension of date flesh sample. This involved aseptically blending 10 g of date flesh with 90 mL of tryptone salt broth to create the stock solution, followed by subsequent serial decimal dilutions. From each dilution, aliquots were spread and plated in triplicate. For enumerating total mesophilic bacteria, Plate Count Agar (PCA) was employed as the growth medium. The samples were then incubated at 30 °C for 72 h using a UM200 incubator by Memmert GmbH + Co. KG (Schwabach, Germany). In the case of fungi, Potato Dextrose Agar (PDA) supplemented with tartaric acid was utilized, and the cultures were allowed to grow for 5 days at 25 °C. The enumeration of colonies was performed as Log CFU/g.

2.8. Statistical analysis

Descriptive statistics were reported as the mean of triplicates ± standard error. To assess differences among preservation techniques and storage temperatures at each time level, a factorial ANOVA was con-ducted after verifying its assumptions. Subsequently, the Tukey test was applied to identify specific group differences. The statistical analysis was performed using SPSS version 25 (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA), with a significance level set at $p < 0.05$. Interaction effects were encoded as per the scheme outlined in Table 2.

3. Results and discussion

3.1. Physicochemical properties

3.1.1. Moisture (MC)

Fig. 1 demonstrates the differences between the three techniques at both temperatures, cold and ambient and the storage period. Time (t) factor explains 96.3% of the variation of the MC, technique (tech) and temperature (T°) had also a significant impact; $F_t(2, 36) = 470.651$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.963$, $F_{tech}(2, 36) = 42.226$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.701$, and $F_{T°}(1, 36) = 4.715$, $p = 0.037$, $\eta^2 = 0.116$ respectively. The interactions between all the factors were significant F_{I1} (4, 36) = 3.025, $p = 0.030$, F_{I2} (2, 36) = 31.394, $p < 0.001$, F_{I3} (2, 36) = 9.605, $p < 0.001$, F_{I4} (4, 36) = 8.908, $p < 0.001$. This means that the effect of one factor on MC varies depending on the other factors.

After 2 M, CD showed significantly higher levels than CTR both at CT (M_{CD} = 35.100 ± 0.289, M_{CTR} = 31.700 ± 0.586 %) and at RT (M_{CD} = 31.600 ± 0.252, M_{CTR} = 23.500 ± 0.436 %). Furthermore, at RT, both CD and VP showed significantly higher levels than CTR (M_{VP} = 31.033 ± 0.788 %). After 4 M, the only significant difference between tech-niques was observed at RT, where VP showed significantly higher levels compared to both CD and CTR (M_{CD} = 33.567 ± 0.448, M_{CTR} = 31.900 ± 0.208, M_{VP} = 35.533 ± 0.410 %). After 6 M, all the techniques demonstrated significant differences from one another at CT. Specif-ically, CD had the highest values, followed by VP, and then CRT (M_{CD} = 24.033 ± 0.186, M_{CTR} = 16.400 ± 0.436, M_{VP} = 20.167 ± 0.338 %). However, at room temperature, no significant differences were observed between the techniques.

Moisture content in dates serves a dual purpose. On one hand, it contributes to maintaining their texture and flavor, but on the other hand, it also becomes a risk factor for microbial growth. At the rutab stage, dates typically contain around 35% moisture content, which will gradually decrease during storage. The equilibrium rate for dates with their surrounding environment is 24%. Dates that exceed this 24% rate are considered perishable (Barreveld, 1993, p. 101; Rahemi et al., 2020). The VP technique is known for its effective preservation of fruit moisture, and coatings can create a protective barrier to prevent moisture loss, delaying dehydration and fruit shrinkage (CHENLO et al., 2009; Rahemi et al., 2020). In agreement with prior studies, VP and CD were found to be the most effective techniques in preserving the highest moisture content across all conditions, ensuring the desirable texture of dates. However, this comes with the drawback of making the dates more susceptible to microbial attacks.

Table 2
Codification of ANOVA factors interactions.

Interaction	Code
Time-technique	I1
Time-temperature	I2
Technique-temperature	I3
Time-technique-temperature	I4

3.1.2. pH and total acidity

The main effect that showed significance for pH was time $F_t(2, 36) = 41.867$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.699$. Although the temperature did not have a direct impact, its interaction with time was significant F_{I2} (2, 36) = 6.284, $p = 0.005$. A significant difference among the techniques was observed only once, after 4 M at CT (M_{CD} = 5.807 ± 0.080, M_{CTR} = 6.303 ± 0.020, M_{VP} = 6077 ± 0,058) as depicted in Fig. 2. The pH values provided in Table 3 for various storage conditions illustrate a consistent rise in pH over time. It is worth noting that the ideal pH for promoting polyphenol oxidase activity in Deglet Nour dates is approx-imately 6.4, which, in turn, enhances the fruit's flavor and increases its potential for browning during storage (Daas Amiour & Hambaba, 2016). Coated dates exhibited their lowest pH value after 4 months of cold storage, indicating their reduced susceptibility to browning, which aligns with the results of the browning test (Fig. 4).

Regarding total acidity, the mean effects of time, technique, and temperature were all found to be significant; F_t (2, 36) = 17.609, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.495$, F_{tech} (2, 36) = 10.657, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.372$, $F_{T°}$(1, 36) = 5.531, $p = 0.024$, $\eta^2 = 0.133$. Additionally, the interactions I1 and I2 were also found to be significant: F_{I1} (4, 36) = 14.366, $p < 0.001$, F_{I2} (2, 36) = 8.367, $p = 0.001$.

A significant difference was observed only in dates stored at cold temperature. Specifically, after 2 M, CD showed significantly higher values than VP, implying that the coated dates had a noticeable sour taste. This realization is based on the fact that the assessment of acidity contributes to the understanding of how organic acids influence the flavor of food (Tyl & Sadler, 2017, pp. 389–406), (M_{CD} = 0,432 ± 0,028, M_{CTR} = 0,357 ± 0,019, M_{VP} = 0,320 ± 0,018%). After 4 M, CTR had significantly higher values than both CD and VP (M_{CD} = 0,160 ± 0,018, M_{CTR} = 0,352 ± 0,018, M_{VP} = 0,224 ± 0,0188%). Lastly, after 6 M, VP demonstrated significantly higher values compared to both CD and CTR (M_{CD} = 0,192 ± 0,018, M_{CTR} = 0,235 ± 0,028, M_{VP} = 0,416 ± 0, 0548%).

During the ripening process, the conversion of stored carbohydrates into sugars can influence the metabolism of organic acids in the fruit, ultimately leading to a reduction in total acidity (Etienne et al., 2013) Subsequently, during this process, a second generation of organic acids may also form (Barreveld, 1993, p. 101). This elucidates the fluctuations in acidity observed during the storage period at room temperature (Fig. 3). Beginning in the fourth month, coated dates exhibited a relatively lower acidity percentage, which could impact their organoleptic characteristics, resulting in a milder, less sour taste.

3.1.3. Browning index (BI)

The main effects of technique and temperature were significant; $F_{tech}(2, 36) = 16.543$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.479$, $F_{T°}(1, 36) = 25.357$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.413$. Time had no significant main effect on browning but still had a strong interaction with technique and temperature F_{I1} (4, 36) = 13.533, $p < 0.001$, F_{I2} (2, 36) = 26.027, $p < 0.001$, F_{I3} (2, 36) = 4.704, $p = 0.015$, which indicates that BI evolution in time was different according to technique and temperature (Fig. 4). Browning began to exhibit a significant difference between techniques only after the fourth

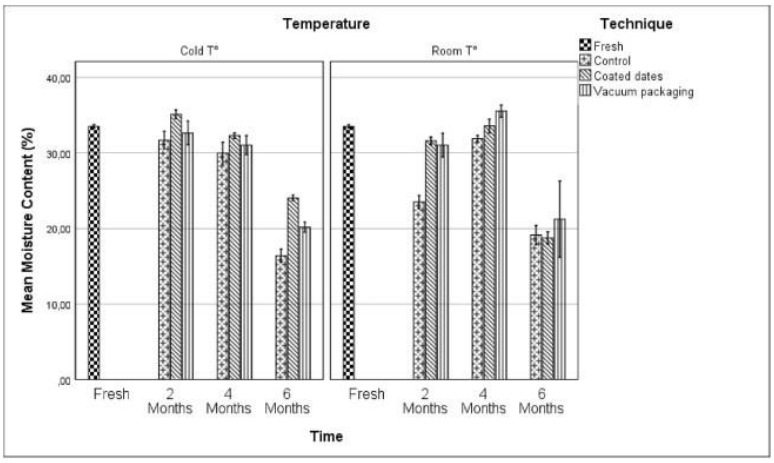


Fig. 1. Changes in moisture content values (%) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

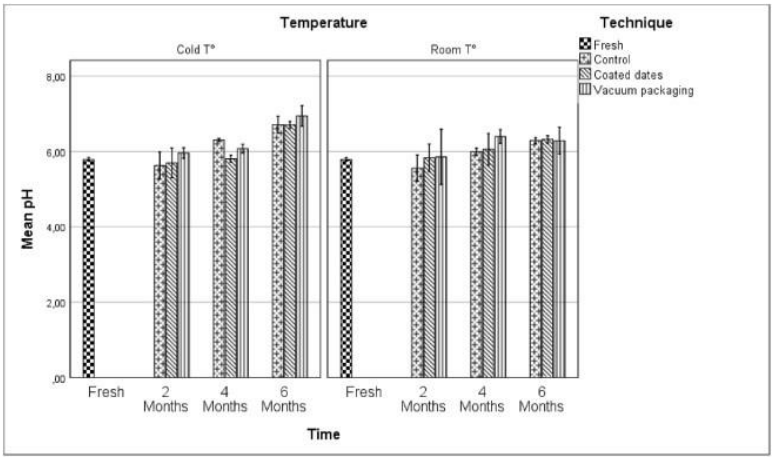


Fig. 2. Changes in pH values in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

month. At that point, VP showed a higher BI than CD at CT (M_{CD} = 0,118 ± 0,002, M_{CTR} = 0,130 ± 0,003, M_{VP} = 0,150 ± 0,012). However, at RT, all the techniques demonstrated significant differences from one another, with VP having the highest BI, followed by CTR, and then CD (M_{CD} = 0,108 ± 0,001, M_{CTR} = 0,132 ± 0,008, M_{VP} = 0,165 ± 0,001). After 6 months, CTR displayed a significantly higher BI than both CD and VP at CT (M_{CD} = 0,112 ± 0,004, M_{CTR} = 0,149 ± 0,001, M_{VP} = 0,121 ± 0,001). Additionally, CD exhibited a significantly lower BI at RT compared to the other techniques (M_{CD} = 0,094 ± 0,001, M_{CTR} = 0,138 ± 0,003, M_{VP} = 0,144 ± 0,009). Browning leads to the deterioration of the sensorial properties of fruits and vegetables. It occurs mostly due to polyphenol oxidase and phenolic compounds, the pH, the temperature, and the oxygen (Martinez & Whitaker, 1995). Ascorbic acid, an anti-browning agent, plays a double role of antioxidant and reducing agent to suppress browning and can also promote bleaching by reducing back o-quinones to *o*-diphenols (Caballero et al., 2003; Moon et al., 2020; Rouet-Mayer et al., 1990), This may account for the observed low rate of BI in CD that contains ascorbic acid in its composition.

3.1.4. Total sugars (TS) and reducing sugars (RS)

Regarding total sugars, significant effects were observed for both time and technique, as well as their interaction; $F_t(2, 36) = 8.051$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.309$, $F_{tech}(2, 36) = 7.722$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.300$. $F_{I1}(4, 36) = 5.941$, $p = 0.001$.

After 4 M, CTR displayed significantly higher levels than both CD and VP at cold temperature but significantly lower levels at room temperature (M_{CD} = 25,967 ± 0,463, M_{CTR} = 31,300 ± 0,693, M_{VP} = 26,033 ± 0,260 mg/mL), (M_{CD} = 26,400 ± 0,346, M_{CTR} = 24,733 ± 0,384, M_{VP} =

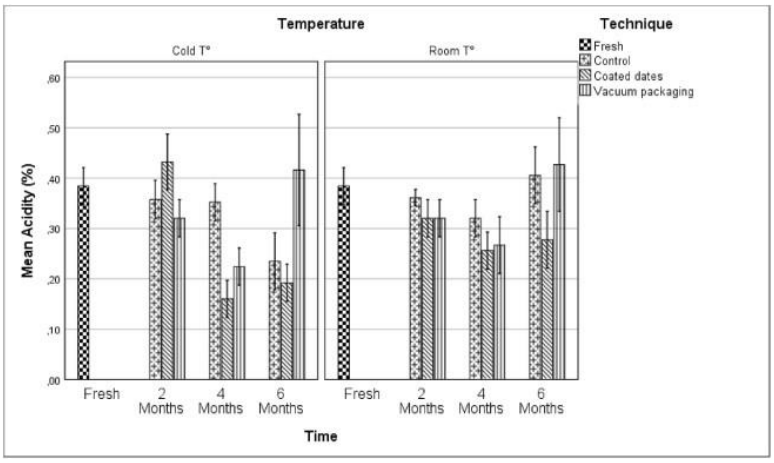


Fig. 3. Changes in acidity values (%) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

26,500 ± 0,173 mg/mL) respectively (Fig. 5). After 6 M, VP exhibited significantly higher levels than CTR and CD at CT (M_{CD} = 27,433 ± 0,491, M_{CTR} = 26,133 ± 1,186, M_{VP} = 34,633 ± 0,285 mg/mL), whereas at RT, all the groups showed significant differences. VP had the highest levels, followed by CD, and then CTR (M_{CD} = 32,367 ± 0,348, M_{CTR} = 29,000 ± 0,635, M_{VP} = 38,200 ± 0,208 mg/mL).

Among the factors analyzed, reducing sugars showed a high correlation with time (73.1%), $F_t(2, 36) = 48.853$, $p < 0.001$, followed by temperature (48.4%), $F_{T'}(1, 36) = 33.751$, $p < 0.001$. Additionally, significant interactions were observed; $F_{I1}(4, 36) = 3.712$, $p = 0.013$, $F_{I1}(2, 36) = 4.254$, $p = 0.022$. The sole significant difference between techniques emerged after 4 M, with CD displaying significantly lower levels than CTR at CT (M_{CD} = 24,483 ± 1,877, M_{CTR} = 33,430 ± 1289 mg/mL), and significantly lower levels than both CTR and VP at RT (M_{CD} = 33,430 ± 1,289, M_{CTR} = 40,730 ± 1,918, M_{VP} = 44,257 ± 1761 mg/mL), (Fig. 6).

As a climacteric fruit, a gradual increase in sugar content can be seen toward fruit maturation. Initially, sucrose holds the primary position among the sugars present in dates. Upon reaching the rutab stage during the sampling of dates, sucrose undergoes a transformation into reducing sugars and protein. Subsequently, as the dates progress to the tamer stage, there is a notable rise in the concentration of reducing sugars, with glucose and fructose taking center stage. This phase marks the pinnacle of sweetness in the fruit's flavor profile while concurrently minimizing its astringency, a change attributed to the heightened levels of reducing sugars. During this stage, the fruit's texture becomes contingent on the proportion of dominant sugars. A higher conversion of sugars into reducing forms leads to a softer consistency in the fruit (Yahia & Kader, 2011). Based on the results, it can be inferred that coated dates might exhibit a firmer texture compared to other dates after a period of four months. During this period, the reduced presence of RS in coated dates can be attributed to the diminished activity of the invertase enzyme, possibly a result of the lower fungal growth rate (Kadowaki et al., 2013).

3.1.5. Total polyphenolic content (TPC)

Time exerted a profound impact on TPC, accounting for 94.9% of its variation $F_t(2, 36) = 333.882$, $p < 0.001$. Additionally, the effect of the technique used was also found to be significant $F_{tech}(2, 36) = 36.676$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.671$. Triple interaction had no significant impact on TPC, same for the simple main effect of temperature. As regards the double interactions; I1, I2, and I3, they were all statistically significant $F_{I1}(4, 36) = 19.051$, $p < 0.001$, $F_{I2}(2, 36) = 5.480$, $p = 0.008$ and $F_{I3}(2, 36) = 22.944$, $p < 0.001$.

For dates stored at cold temperature, CTR exhibited significantly higher values than CD after 2 months and 4 months (M_{CD} = 46,368 ± 1,667, M_{CTR} = 57,071 ± 2198 μg/mL), (M_{CD} = 60,600 ± 0,366, M_{CTR} = 60,483 ± 1996 μg/mL) respectively (Fig. 7). Moreover, after 6 months, both CTR and VP had significantly higher levels than CD (M_{CD} = 75,398 ± 1,758, M_{CTR} = 92,327 ± 2,865, M_{VP} = 96,038 ± 0,655 μg/mL). Conversely, at room temperature, all groups showed significant differ-ences. After 4 months of storage, CD had the highest values, while CTR had the lowest (M_{CD} = 80,401 ± 0,601, M_{CTR} = 82,194 ± 3,128, M_{VP} = 57,062 ± 1259 μg/mL). However, after 6 months, VP displayed signif-icantly higher levels than both CD and CTR (M_{CD} = 27,433 ± 0,491, M_{CTR} = 26,133 ± 1,186, M_{VP} = 109,422 ± 0,481 μg/mL).

Phenolic compounds constitute a category of secondary metabolites, and their classification primarily hinges on the count of phenol rings they encompass. These subdivisions encompass phenolic acids, stilbenes, flavonoids, lignans, and tannins (Haminiuk et al., 2012). Typically, the total polyphenolic content (TPC) tends to decrease during storage. Nevertheless, the use of plastic bags for fruit preservation can inhibit the oxidation of TPC (Rahemi et al., 2020). The documented surge in phenolic compounds aligns with the findings highlighted in the study by Al-Farsi et al. (2005), and Tavarini et al. (2008), wherein a substantial increase in phenols was observed after six months of storage, attributed to heightened levels of phenolic acids. The encapsulated thyme essential oil within the cellulose film did not result in any notable advantage for the coated dates in relation to TPC. The only instance of significant superiority was observed after four months of room temperature storage.

3.1.6. Total tannins (TT)

All the factors and their interactions had a significant impact on TT except for temperature and its interaction with technique; $F_t(2, 36) = 461.578$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.962$, $F_{tech}(2, 36) = 13.031$, $p < 0.001$, $\eta^2 =$

Table 3
Score means and SE of Phoenix dactylifera properties depending on storage duration: two months (2 M), four months (4 M), and six months (6 M). The different letter in each storage condition shows that the values are significantly different ($P < 0.05$), as shown by the Tukey homogeneous Subset ($n = 3$).

Technique	Temperature	Time	Moisture content (%)	pH	Acidity (%)	Browning Index	Total Sugars (mg/mL)	Reducing Sugars (mg/mL)	Total Phenolic Content (µg/mL)	Total Tannins (mg/mL)	Flavonoids (µg/mL)	Total Antioxidant Activity (µg/mL)	Total Bacterial Growth (Log_{10} CFU/g)	Fungal Growth (Log_{10} CFU/g)
Control	Cold T°	2 M	31.700 ± 0.586a	5627 ± 0,180 b	0.357 ± 0.019a	0.160 ± 0.017a	24.233 ± 4.187a	18.167 ± 2.985 b	57.071 ± 2.198 b	69.380 ± 2.407a	102.805 ± 3.774a	125.600 ± 6.050 b	4.265 ± 0.028c	4.153 ± 0.037c
		4 M	29.967 ± 0.726a	6303 ± 0,020a	0.352 ± 0.018a	0.130 ± 0.003a	31.300 ± 0.693a	33.430 ± 1.289a	60.483 ± 1.996 b	50.414 ± 0.775 b	52.604 ± 0.612c	170.562 ± 3.198a	7.470 ± 0.071 b	5.054 ± 0.027 b
		6 M	16.400 ± 0.436 b	6713 ± 0,110a	0.235 ± 0.028 b	0.149 ± 0.001a	26.133 ± 1.186a	16.680 ± 1.797 b	92.327 ± 2.865a	47.594 ± 0.463 b	63.515 ± 0.633 b	88.508 ± 1.703c	8.484 ± 0.011a	5.438 ± 0.027a
	Room T°	2 M	23.500 ± 0.436 b	5557 ± 0,175 b	0.361 ± 0.008a	0.099 ± 0.003 b	25.733 ± 2.917a	17.080 ± 0.876 b	51.701 ± 2.585 b	58.689 ± 2.045a	120.384 ± 6.772a	127.079 ± 3.294a	4.106 ± 0.438c	3.057 ± 0.037c
		4 M	31.900 ± 0.208a	5993 ± 0,046 ab	0.320 ± 0.018a	0.132 ± 0.008a	24.733 ± 0.384a	40.730 ± 1.918a	47.312 ± 2.041 b	50.563 ± 0.519 b	45.562 ± 0.767 b	154.933 ± 3.101 b	8.540 ± 0.043a	4.490 ± 0.024 b
		6 M	19.133 ± 0.639c	6293 ± 0,038a	0.405 ± 0.028a	0.138 ± 0.003a	29.000 ± 0.635a	23.467 ± 2.729 b	82.194 ± 3.128a	51.157 ± 0.340 b	56.474 ± 1.677 b	74.442 ± 2.175c	7.554 ± 0.034 b	4.701 ± 0.012a
Coated dates	Cold T°	2 M	35.100 ± 0.289a	5697 ± 0,197a	0.432 ± 0.028a	0.158 ± 0.013a	35.833 ± 5.798a	20.963 ± 3.337a	46.368 ± 1.667c	73.729 ± 1.935a	121.284 ± 15.401a	125.970 ± 8.471 b	4.062 ± 0.079c	2.663 ± 0.130c
		4 M	32.300 ± 0.173 b	5806 ± 0,046a	0.160 ± 0.018 b	0.118 ± 0.002 b	25.967 ± 0.463a	24.483 ± 1.877a	60.600 ± 0.366 b	46.480 ± 0.803 b	119.313 ± 0.635a	165.092 ± 3.051a	9.338 ± 0.038a	3.329 ± 0.054 b
		6 M	24.033 ± 0.186c	6707 ± 0,046a	0.192 ± 0.018 b	0.112 ± 0.004 b	27.433 ± 0.491a	17.840 ± 3.013a	75.398 ± 1.758a	47.593 ± 1.483 b	57.002 ± 0.983 b	77.568 ± 2.030c	8.057 ± 0.030 b	5.012 ± 0.018a
	Room T°	2 M	31.600 ± 0.252 b	5833 ± 0,182a	0.320 ± 0.018a	0.119 ± 0.006a	40.667 ± 2.281a	22.617 ± 2.560a	57.181 ± 2.261c	69.473 ± 1.719a	113.922 ± 5.465a	128.485 ± 1.283 b	4.150 ± 0.032c	2.648 ± 0.029c
		4 M	33.567 ± 0.448a	6057 ± 0,211a	0.256 ± 0.018a	0.108 ± 0.001 ab	26.400 ± 0.346c	33.430 ± 1.289a	67.81 ± 0.729 b	45.589 ± 0.340c	79.530 ± 0.807 b	176.032 ± 1.353a	8.656 ± 0.052a	3.170 ± 0.051 b
		6 M	18.767 ± 0.405c	6323 ± 0,049a	0.277 ± 0.028a	0.094 ± 0.001 b	32.367 ± 0.348 b	28.393 ± 5.083a	80.401 ± 0.601a	53.977 ± 0.196 b	65.630 ± 0.767 b	85.773 ± 2.707c	7.577 ± 0.036 b	5.822 ± 0.028a
Vacuum packaging	Cold T°	2 M	32.633 ± 0.780a	5960 ± 0,070 b	0.320 ± 0.018 ab	0.149 ± 0.002a	35.733 ± 6.276a	17.783 ± 2.112 b	58.358 ± 2.439 b	73.307 ± 1.770a	125.641 ± 3.383a	131.073 ± 2.572 b	4.100 ± 0.070c	2.195 ± 0.064c
		4 M	31.033 ± 0.633a	6077 ± 0,058 b	0.224 ± 0.018 b	0.150 ± 0.012a	26.033 ± 0.260a	28.370 ± 0.989a	62.438 ± 1.230 ab	51.453 ± 0.836 b	43.790 ± 2.446c	183.456 ± 1.034a	8.189 ± 0.046a	4.459 ± 0.036 b
		6 M	20.167 ± 0.338 b	6943 ± 0,138a	0.416 ± 0.054a	0.121 ± 0.001a	34.633 ± 0.285a	22.200 ± 2.670 ab	96.038 ± 0.655a	52.196 ± 0.634 b	70.033 ± 1.999 b	97.885 ± 1.409c	7.699 ± 0.032 b	4.777 ± 0.035a
	Room T°	2 M	31.033 ± 0.788a	5857 ± 0,366a	0.320 ± 0.018 ab	0.105 ± 0.006c	34.433 ± 4.599 ab	23.967 ± 2.017 b	68.619 ± 6.885 b	70.013 ± 1.748a	160.349 ± 14.149a	134.994 ± 2.716a	4.550 ± 0.0411c	3.783 ± 0.070 b
		4 M	35.533 ± 0.410a	6397 ± 0,090a	0.267 ± 0.028 b	0.165 ± 0.001a	26.500 ± 0.173 b	44.257 ± 1.761a	57.062 ± 1.259 b	46.331 ± 0.836c	45.035 ± 2.593 b	135.005 ± 2.030a	7.778 ± 0.0559a	4.975 ± 0.041a
		6 M	21.233 ± 2.530 b	6287 ± 0,178a	0.427 ± 0.046a	0.144 ± 0.009 b	38.200 ± 0.208a	29.800 ± 4.349 b	109.422 ± 0.481a	56.798 ± 0.324 b	76.191 ± 1.835 b	113.837 ± 2.031 b	7.513 ± 0.047 b	4.996 ± 0.043a

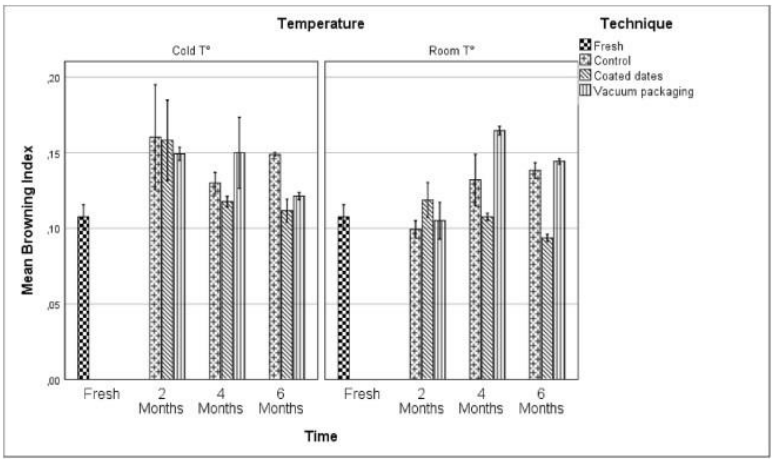


Fig. 4. Changes in browning index values in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

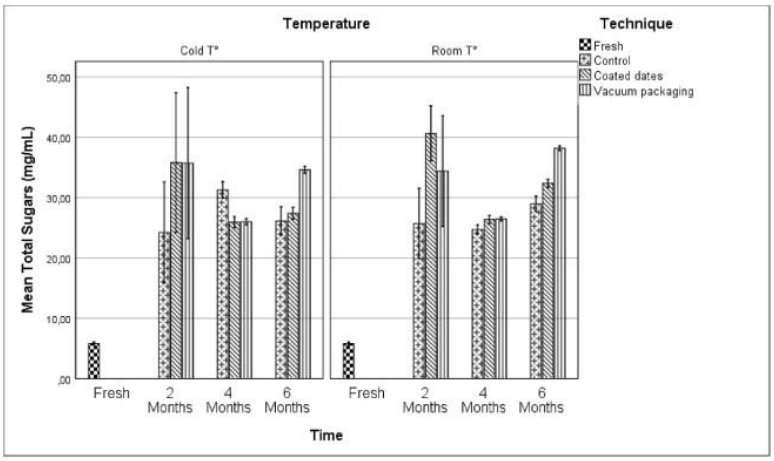


Fig. 5. Changes in total sugar values (mg/mL) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

0.420, F_{I1} (4, 36) = 12.950, $p <$ 0.001, F_{I2} (2, 36) = 28.396, $p <$ 0.001, F_{I4} (4, 36) = 3.150, $p =$ 0.026.

At RT, CTR shifted from being significantly lower than CD and VP after 2 months (M_{CD} = 69,473 ± 1,719, M_{CTR} = 58,689 ± 2,045, M_{VP} = 70,013 ± 1748 mg/mL), (Fig. 8) to becoming significantly higher after 4 months due to the notable decrease in CD and VP total tannins values (M_{CD} = 45,589 ± 0,340, M_{CTR} = 50,563 ± 0,519, M_{VP} = 46,331 ± 0,836 mg/mL). After 6 months, all the groups exhibited significant differences, with CTR having the lowest values and VP having the highest (M_{CD} = 53,977 ± 0,196, M_{CTR} = 51,157 ± 0,340, M_{VP} = 56,798 ± 0,324 mg/mL). Regarding CT, CD showed significantly lower values than CTR and VP after 4 months (M_{CD} = 46,480 ± 0,803, M_{CTR} = 50,414 ± 0,775, M_{VP} = 51,453 ± 0,836 mg/mL), while both CD and CTR had significantly lower values than VP after 6 months (M_{CD} = 47,593 ± 1,483, M_{CTR} = 47,594 ± 0,463, M_{VP} = 52,196 ± 0,634 mg/mL).

Tannins, like tannic acid, act as a natural defense mechanism against microbial infections. Beyond their impact on color, tannins are polyphenolic compounds that lend an astringent taste to foods. They have also been associated with reduced feed intake and hindered protein digestibility (Minatel et al., 2017; Vaclavik & Christian, 2008). The noticeable decline witnessed between the 2-month and 4-month intervals might be attributed to an enhanced tannin polymerization, which could help explain this trend. Following this observation, it's evident that CD dates are the least affected by tannins in terms of their organoleptic and microbiological properties.

3.1.7. Flavonoids (Flv)

Both time and technique demonstrated significant main effects in addition to their significant interactions with each other and with temperature; F_t(2, 36) = 221.604, $p <$ 0.001, η^2 = 0.925, F_{tech}(2, 36) = 19.026, $p <$ 0.001, η^2 = 0.514, F_{I1} (4, 36) = 28.786, $p <$ 0.001, F_{I2} (2, 36) = 12.564, $p <$ 0.001, F_{I3} (2, 36) = 7.423, $p =$ 0.002, F_{I4} (4, 36) = 3.468, $p =$ 0.017.

After 4 M, CD showed a significantly higher Flv value than CTR or VP, both at CT and RT (M_{CD} = 119,313 ± 0,635, M_{CTR} = 52,604 ± 0,612, M_{VP} = 43,790 ± 2446 μg/mL), (M_{CD} = 79,530 ± 0,807, M_{CTR} =

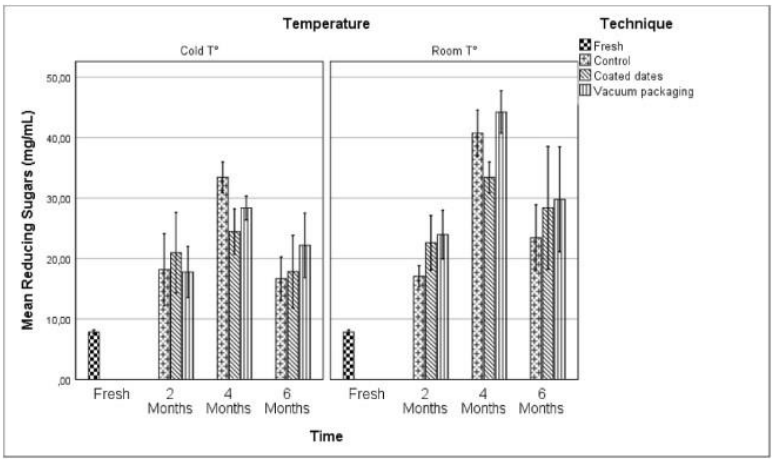


Fig. 6. Changes in reducing sugar values (mg/mL) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

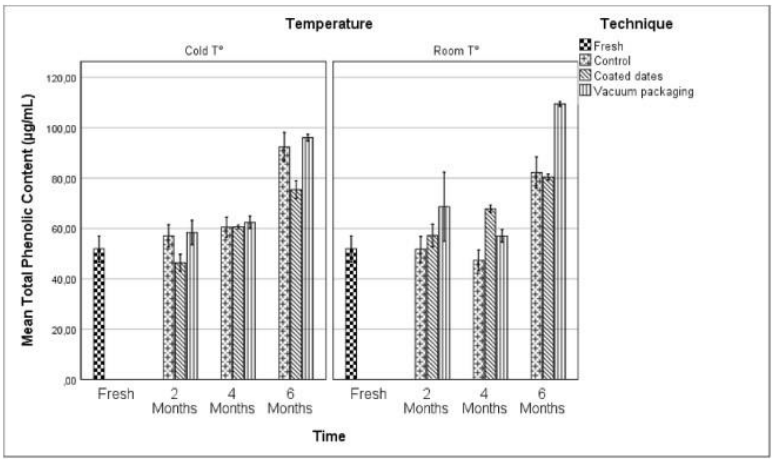


Fig. 7. Changes in total phenolic content values (µg/mL) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

45,562 ± 0,767, M_{VP} = 45,035 ± 2593 µg/mL) respectively. However, after six months, all the techniques showed significant differences from each other, with VP having the highest Flv value for both CT and RT (M_{CD} = 57,002 ± 0,983, M_{CTR} = 63,515 ± 0,633, M_{VP} = 70.033 ± 1999 µg/mL), (M_{CD} = 65,630 ± 0,767, M_{CTR} = 56,474 ± 1,677, M_{VP} = 76,191 ± 1835 µg/mL) respectively (Fig. 9).

Flavonoids are renowned for their potential health benefits, as well as their attributes as antioxidants and antimicrobial agents (Al-Shwyeh, 2019; Garti, 2008). This underscores the importance of preserving their presence for as long as possible. The outcomes of this study align more closely with those documented by Würzbach et al. (2015), where Flv levels increased after three months of storage but decreased by the sixth month. In contrast to the findings of Benmehaia et al. (2022), temperature did not yield any statistically significant impact. Notably, CD managed to sustain a substantial Flv content even after four months of storage, thereby affirming the capacity of cellulose-based films to modulate release (Ranjbaryan et al., 2019).

3.1.8. Total antioxidant activity (TAA)

The time factor displayed an exceptionally strong and significant correlation, explaining 97.7% of the variation in TAA $F_t(2, 36) = 764.598$, $p < 0.001$. Additionally, both the technique and temperature
factors also showed significant effects: $F_{tech}(2, 36) = 12.102$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.402$, $F_{T'}(1, 36) = 6.291$, $p = 0.017$, $\eta^2 = 0.149$. The interactions were significant; F_{I1} (4, 36) = 16.287, $p < 0.001$, F_{I2} (2, 36) = 19.697, $p < 0.001$, F_{I3} (2, 36) = 12.770, $p < 0.001$, F_{I4} (4, 36) = 19.515, $p < 0.001$.

The significant difference between techniques only became apparent after 4 months (Fig. 10). From that point onward, VP consistently showed the highest values for both dates stored at CT and RT, except in the fourth month at RT when CD had the highest value (Table 3).

Antioxidants can be sourced from vitamins, minerals, and primarily phytochemicals like flavonoids. These compounds can serve multiple roles, such as acting as metal chelators or agents for facilitating reduction reactions, thereby preventing oxidative damage to cellular molecules. The observed increase in Total Antioxidant Activity (TAA) over the course of 4 months aligns with the findings of Dolatabadi et al.

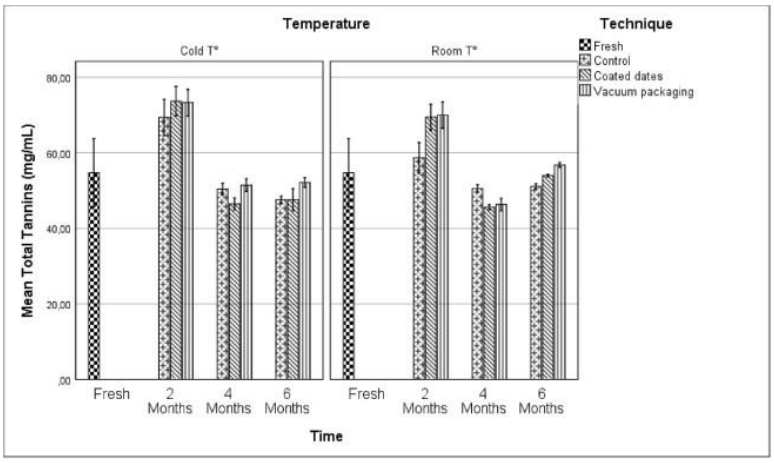


Fig. 8. Changes in total tannins values (mg/mL) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

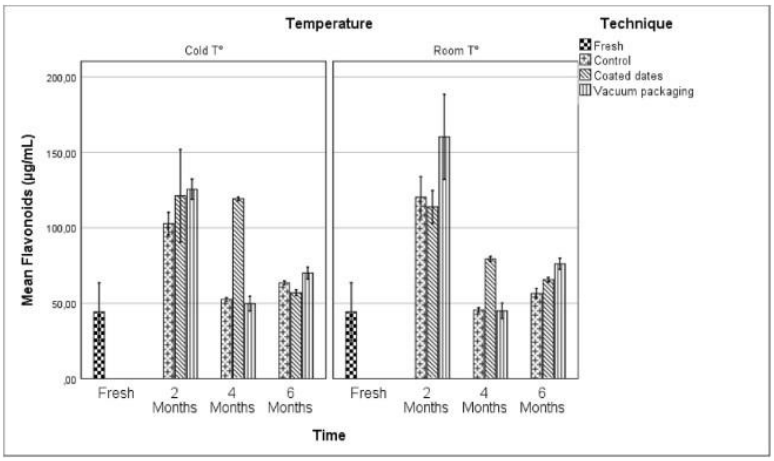


Fig. 9. Changes in flavonoid values (µg/mL) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

(2015). Nevertheless, the decline witnessed after a period of 6 months could be attributed to the compounds' vulnerability to oxidation and/or isomerization (Minatel et al., 2017). Despite the antioxidant attribute of ascorbic acid present in the CD film, CD did not exhibit notably higher TAA levels, except for the outcomes observed after 4 months of storage at room temperature.

3.2. Microbiological analyses

All the main effects of factors were found to be significant for total bacterial growth (TBG). Notably, Time had the most substantial impact on TBG variation among the factors, accounting for 99.9% of the variance. $F_t(2, 36) = 13662.612$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.999$, $F_{tech}(2, 36) = 80.763$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.818$, $F_{T'}(1, 36) = 39.160$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.521$. Additionally, the interactions between factors were also found to be significant: $F_{I1}(4, 36) = 136.232$, $p < 0.001$, $F_{I2}(2, 36) = 81.921$, $p < 0.001$, $F_{I3}(2, 36) = 24.835$, $p < 0.001$, $F_{I4}(4, 36) = 113.848$, $p < 0.001$. TBG values are demonstrated in Fig. 11.

For dates stored in cold conditions, CD showed significantly higher total bacterial growth than CTR and VP after 4 months (M_{CD} = 9338 ± 0,038, M_{CTR} = 7470 ± 0,071, M_{VP} = 8189 ± 0,046 Log_{10} CFU/g), whereas VP exhibited significantly lower TBG than CD and CTR after 6 months (M_{CD} = 8057 ± 0,030, M_{CTR} = 8484 ± 0,011, M_{VP} = 7699 ± 0,032 Log_{10} CFU/g). On the other hand, for dates stored at room tem-perature, VP had significantly higher TBG than CD and CTR initially (M_{CD} = 4062 ± 0,079, M_{CTR} = 4106 ± 0,438, M_{VP} = 4550 ± 0,0411 Log_{10} CFU/g), followed by significantly lower TBG than CD and CTR after 4 months (M_{CD} = 8656 ± 0,052, M_{CTR} = 8540 ± 0,043, M_{VP} = 7778 ± 0,0559 Log_{10} CFU/g).

Regarding fungal growth (FG), all the main effects of factors and their interactions were found to be significant. Notably, Time and technique had the most substantial impact on FG variation among the factors, accounting for 99.3% and 94.4% of the variance, respectively; $F_t(2, 36) = 2562.560$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.993$, $F_{tech}(2, 36) = 304.159$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.994$, $F_{T'}(2, 36) = 6.559$, $p = 0.015$, $\eta^2 = 0.154$, $F_{I1}(4, 36) = 270.321$, $p < 0.001$, $F_{I2}(2, 36) = 7.631$, $p = 0.002$, $F_{I3}(2, 36) =$

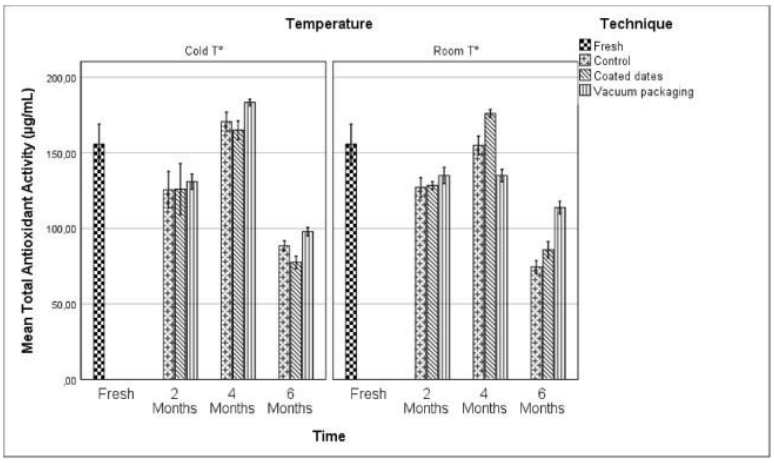


Fig. 10. Changes in antioxidant activity values (µg/mL) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

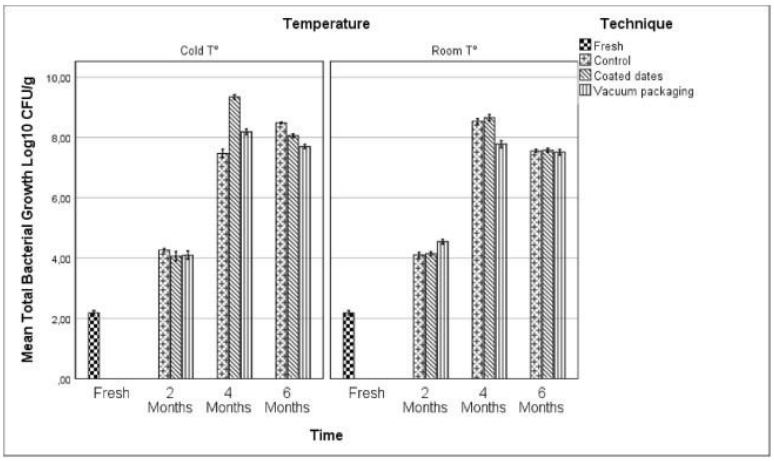


Fig. 11. Changes in total bacterial growth values (Log10 CFU/g) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

391.512, $p < 0.001$, F_{I4} (4, 36) = 84.910, $p < 0.001$.

During the initial four months of storage, CD consistently showed significantly the lowest FG value for both CT and RT, except for the second month at CT when VP exhibited the lowest FG value. However, after the sixth month, VP displayed the lowest FG value at CT, while CTR demonstrated the lowest FG value at RT (Fig. 12).

Numerous factors influence microbial spoilage of microorganisms, including pH, temperature, moisture, and oxygen. These factors not only impact the quantity of microorganisms present but also dictate the specific species present and their interactions. As previously mentioned, when the moisture content of dates exceeds 24%, it fosters the growth of microorganisms. The utilization of polyethylene bags for sample preservation can trap moisture released through date transpiration, creating favorable conditions for the proliferation of epiphytic microorganisms. Moreover, the capacity of microorganisms to thrive in cold temperatures highlights the prevalence of psychrophilic and psychrotrophic microorganisms responsible for date spoilage during storage. This is the reason why, depending on the specific varieties, dates are stored at sub-zero temperatures ranging from 3 °C for certain Iraqi varieties to as low as 18 °C for varieties originating from Bahrain (Alegbeleye et al., 2022; Barreveld, 1993, p. 101; Farhadi et al., 2019).

Although CD demonstrated superior performance over a span of four months, mainly attributed to the presence of thyme essential oil (Lin et al., 2020), the findings of this investigation validate the importance of eliminating the initial microbial load. In line with the recommendations of Siddiq et al. (2013), postharvest date handling should encompass procedures such as sanitizing washes and the elimination of surplus surface moisture from cooled dates before packing. On a related note, Yahia and Kader (2011) mentioned the utilization of ethylene oxide and pasteurization.

4. Conclusion

In conclusion, the study investigated the effects of thyme extract coatings on the physicochemical and microbiological properties of date fruit. The study compared two different preservation techniques:

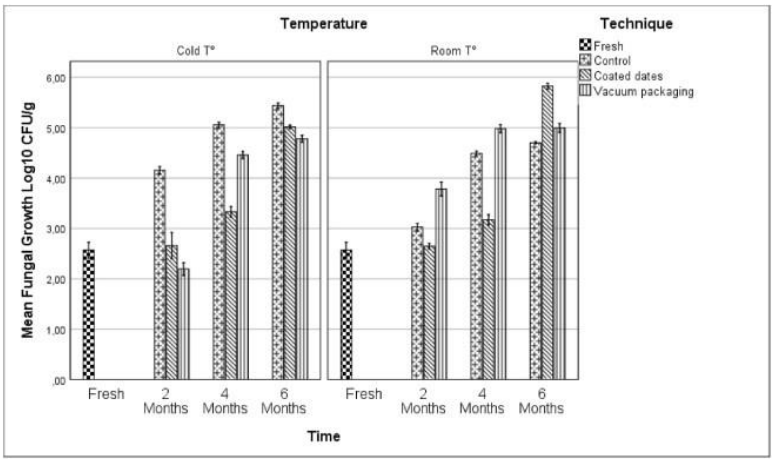


Fig. 12. Changes in fungal growth values (Log10 CFU/g) in date fruits for the coating, vacuum packaging, and control groups stored at cold and room temperatures over 6 months, presented as the mean ± SEM (n = 3).

conventional vacuum packaging and thyme essential oil (TEO) film coating. The thyme extract coating had a significant impact on the physicochemical and microbiological properties of date fruit. It helped preserve moisture content, reduce browning, maintain higher levels of certain bioactive compounds like flavonoids and polyphenols, and inhibit fungal growth. However, it also led to increased acidity and bacterial growth at specific storage conditions and time intervals. These findings suggest that thyme extract coatings can be a promising method for extending the shelf life and enhancing the quality of date fruit, but the choice of storage conditions and duration should be carefully considered. Further research is needed to optimize the coating application and storage parameters for the best results.

CRediT authorship contribution statement

Sarra Meriem Belili: Conceptualization, Methodology, Study design, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Writing – original draft, Writing – review & editing, Visualization. **Tahar Hadj Sadok:** Conceptualization, Methodology, Study design, Validation, Supervision, Project administration. **Smain Megatli:** Conceptualization, Resources, Supervision, Project administration, Funding acquisition. **Fairouz Saidi:** Project administration, Funding acquisition.

Declaration of 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.

Data availability

No data was used for the research described in the article.

References

Achour, M., Amara, S. B., Salem, N. B., Jebali, A., & Hamdi, M. (2003). Effet de différents conditionnements sous vide ou sous atmosphère modifiée sur la conservation de dattes Deglet Nour en Tunisie. *Fruits, 58*(4), 205–212. https://doi.org/10.1051/FRUITS:2003008

Afsar, T., Razak, S., Shabbir, M., & Khan, M. R. (2018). Antioxidant activity of polyphenolic compounds isolated from ethyl-acetate fraction of Acacia hydaspica R. Parker. *Chemistry Central Journal, 12*(1), 5. https://doi.org/10.1186/s13065-018-0373-x

Al-Asmari, F., Nirmal, N., Chaliha, M., Williams, D., Mereddy, R., Shelat, K., & Sultanbawa, Y. (2017). Physico-chemical characteristics and fungal profile of four Saudi fresh date (Phoenix dactylifera L.) cultivars. *Food Chemistry, 221*, 644–649. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.11.125

Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M., & Shahidi, F. (2005). 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. https://doi.org/10.1021/jf050579q

Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., & Johnson, D. V. (2015). In J. M. Al-Khayri, S. M. Jain, & D. V. Johnson (Eds.), *Date palm genetic Resources and utilization* (1st ed., Vol. 1). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9694-1.

Al-Shwyeh, H. (2019). Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit as potential antioxidant and antimicrobial agents. *Journal of Pharmacy and BioAllied Sciences, 11*(1), 1. https://doi.org/10.4103/JPBS.JPBS_168_18

Alegbeleye, O., Odeyemi, O. A., Strateva, M., & Stratev, D. (2022). Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. *Applied Food Research, 2*(1), Article 100122. https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100122

Ali-Rachedi, F., Meraghni, S., Touaibia, N., & Mesbah, S. (2018). Analyse quantitative des composés phènoliques d'une endémique algérienne Scabiosa Atropurpurea sub. Maritima L. *Bulletin de la Sociètè Royale des Sciences de Liège, 13*. https://doi.org/10.25518/0037-9565.7398. – 21.

Amadou, I. (2016). Date fruits: Nutritional composition of dates (balanites aegyptiaca delile and Phoenix dactylifera L.). *Nutritional Composition of Fruit Cultivars*, 215–233. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00010-6

AOAC. (1980). Aoac: Official methods of analysis, 1980. *Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C., 552*(c), 517.

Bajaj, K. L., & Devsharma, A. K. (1977). A colorimetric method for the determination of tannins in tea. *Mikrochimica Acta, 68*(3–4), 249–253. https://doi.org/10.1007/BF01196209

Barreveld, W. H. (1993). *Date palm products*. FAO agricultural services bulletin, 1993 https://www.fao.org/3/t0681E/t0681e00.htm#con.

Benmehaia, R., Simozrag, A., & Zeroual, S. (2022). Relation between storage temperature and phenolic compounds in date fruits (Phoenix dactylifera L.). *South Asian Journal of Experimental Biology, 12*(5), 708–715. https://doi.org/10.38150/sajeb.12(5).p708-715

Caballero, B., Finglas, P., & Toldra, F. (2003). *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (2nd ed.) https://shop.elsevier.com/books/encyclopedia-of-food-sciences-and-nutrition/caballero/978-0-08-091791-7.

Chenlo, F., Moreira, R., Chaguri, L., & Torres, M. D. (2009). Effects of storage conditions on sugars and moisture content of whole chestnut fruits. *Journal of Food Processing and Preservation*. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2008.00361.x

Coelho, C. C. S., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., Pastrana, L. M., Freitas-Silva, O., Vicente, A. A., Cabral, L. M. C., & Teixeira, J. A. (2017). Effect of moderate electric fields in the properties of starch and chitosan films reinforced with microcrystalline cellulose. *Carbohydrate Polymers, 174*, 1181–1191. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.07.007

Coelho, Silva, R. B. S., Carvalho, C. W. P., Rossi, A. L., Teixeira, J. A., Freitas-Silva, O., & Cabral, L. M. C. (2020). Cellulose nanocrystals from grape pomace and their use for the development of starch-based nanocomposite films. *International Journal of Biological Macromolecules, 159*, 1048–1061. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.05.046

Daas Amiour, S., & 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. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.027

Dolatabadi, M., Dehghan, G., Hosseini, S., & Esfahlan, A. J. (2015). Effect of five year storage on total phenolic content and antioxidant capacity of almond (Amygdalus communisL.) hull and shell from different genotypes. *Avicenna Journal of Phytomedicine, 5*(1), 26. /pmc/articles/PMC4352530/.

Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbeguié-A-Mbéguié, D., & Bugaud, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany, 64*(6), 1451–1469. https://doi.org/10.1093/jxb/ert035

FAO. (2023). *Crops and livestock products*. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

Farhadi, F., Khameneh, B., Iranshahi, M., & Iranshahy, M. (2019). Antibacterial activity of flavonoids and their structure–activity relationship: An update review. *Phytotherapy Research, 33*(1), 13–40. https://doi.org/10.1002/ptr.6208

Garti, N. (2008). Delivery and controlled release of bioactives in foods and nutraceuticals. In *Delivery and controlled release of bioactives in foods and nutraceuticals*. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1533/9781845694210.

Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science and Technology, 47*(10), 2023–2044. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x

Janani, N., Zare, E. N., Salimi, F., & Makvandi, P. (2020). Antibacterial tragacanth gum-based nanocomposite films carrying ascorbic acid antioxidant for bioactive food packaging. *Carbohydrate Polymers, 247*, Article 116678. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.116678

Kadowaki, M., Simao, R. de C., Silva, J. L., Osaku, C., & Guimaraes, L. H. (2013). Biotechnological advances in fungal invertases. In *Fungal enzymes*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b15247-2.

Kwaasi, A. A. A. (2003). Date palms. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 1730–1740. https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00321-7

Lian, H., Shi, J., Zhang, X., & Peng, Y. (2020). Effect of the added polysaccharide on the release of thyme essential oil and structure properties of chitosan based film. *Food Packaging and Shelf Life, 23*, Article 100467. https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2020.100467

Lin, D., Zheng, Y., Wang, X., Huang, Y., Ni, L., Chen, X., Wu, Z., Huang, C., Yi, Q., Li, J., Qin, W., Zhang, Q., Chen, H., & Wu, D. (2020). Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. *International Journal of Biological Macromolecules, 165*, 1241–1249. https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.10.005

MADR. (2019). الفلاحية الإحصائيات – *MADR*. *Algerian ministry of agriculture rural development and fisheries*. https://madr.gov.dz/wp-content/uploads/2022/04/SERIE-B-2019.pdf.

Martinez, M. V., & Whitaker, J. R. (1995). The biochemistry and control of enzymatic browning. *Trends in Food Science & Technology, 6*(6), 195–200. https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89054-8

Minatel, I. O., Borges, C. V., Ferreira, M. I., Gomez, H. A. G., Chen, C.-Y. O., & Lima, G. P. P. (2017). Phenolic compounds: Functional properties, impact of processing and bioavailability. In *Phenolic compounds - biological activity*. InTech. https://doi.org/10.5772/66368.

Moghimi, R., Aliahmadi, A., & Rafati, H. (2017). Antibacterial hydroxypropyl methyl cellulose edible films containing nanoemulsions of Thymus daenensis essential oil for food packaging. *Carbohydrate Polymers, 175*, 241–248. https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.07.086

Moon, K. M., Kwon, E.-B., Lee, B., & Kim, C. Y. (2020). Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules, 25*(12), 2754. https://doi.org/10.3390/molecules25122754

Moreno, O., Gil, À., Atarés, L., & Chiralt, A. (2017). Active starch-gelatin films for shelf-life extension of marinated salmon. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie, 84*, 189–195. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.05.005

Nielsen, S. S. (2010). In S. S. Nielsen (Ed.), *Food analysis laboratory manual* (2nd ed.). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1463-7.

Nielsen, S. S. (2017). *Food analysis*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5

Noshirvani, N., Ghanbarzadeh, B., Gardrat, C., Rezaei, M. R., Hashemi, M., Le Coz, C., & Coma, V. (2017). Cinnamon and ginger essential oils to improve antifungal, physical and mechanical properties of chitosan-carboxymethyl cellulose films. *Food Hydrocolloids, 70*, 36–45. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2017.03.015

OEC. (2021). *Dates, fresh or dried | OEC - the observatory of economic complexity*. https://oec.world/en/profile/hs/dates-fresh-or-dried.

Peterson, B. I., Tong, C.-H., Ho, C.-T., & Welt, B. A. (1994). Effect of moisture content on maillard browning kinetics of a model system during microwave heating. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42*(9), 1884–1887. https://doi.org/10.1021/jf00045a010

Pinto, E., Gonçalves, M. J., Oliveira, P., Coelho, J., Cavaleiro, C., & Salgueiro, L. (2014). Activity of Thymus caespititius essential oil and α-terpineol against yeasts and filamentous fungi. *Industrial Crops and Products, 62*, 107–112. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2014.08.004

Rahemi, M., Roustai, F., & Sedaghat, S. (2020). Use of edible coatings to preserve date fruits (Phoenix dactylofera L.). *Journal of Packaging Technology and Research, 4*(1), 79–84. https://doi.org/10.1007/s41783-019-00078-5

Ranjbaryan, S., Pourfathi, B., & Almasi, H. (2019). Reinforcing and release controlling effect of cellulose nanofiber in sodium caseinate films activated by nanoemulsified cinnamon essential oil. *Food Packaging and Shelf Life, 21*, Article 100341. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100341

Razzaghi-Abyaneh, M., Shams-Ghahfarokhi, M., Rezaee, M. B., Jaimand, K., Alinezhad, S., Saberi, R., & Yoshinari, T. (2009). Chemical composition and antiaflatoxigenic activity of Carum carvi L., Thymus vulgaris and Citrus aurantifolia essential oils. *Food Control, 20*(11), 1018–1024. https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2008.12.007

Reynes, M. (1997). *Influence d'une technique de désinfestation par micro-ondes sur les critères de qualité physico-chimiques et biochimiques de la datte [Doctoral dissertation]*. Institut National Polytechnique de Lorraine.

Roberts, D., & Greenwood, M. (2003). In D. Roberts, & M. Greenwood (Eds.), *Practical food microbiology* (3rd ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9780470757512.

Rodríguez, G. M., Sibaja, J. C., Espitia, P. J. P., & Otoni, C. G. (2020). Antioxidant active packaging based on papaya edible films incorporated with Moringa oleifera and ascorbic acid for food preservation. *Food Hydrocolloids, 103*, Article 105630. https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.105630

Rouet-Mayer, M.-A., Ralambosoa, J., & Philippon, J. (1990). Roles of o-quinones and their polymers in the enzymic browning of apples. *Phytochemistry, 29*(2), 435–440. https://doi.org/10.1016/0031-9422(90)85092-T

Siddiq, M., Aleid, S. M., & Kader, A. A. (2013). In M. Siddiq, S. M. Aleid, & A. A. Kader (Eds.), *Dates* (1st ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118292419.

Tavarini, S., Degl'Innocenti, E., Remorini, D., Massai, R., & Guidi, L. (2008). Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry, 107*(1), 282–288. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.015

Tournas, V., Stack, M. E., Mislivec, P. B., Koch, H. A., & Bandler, R. (2001). BAM (Chapter 18): Yeasts, Molds and Mycotoxins | FDA. U.S. Food and Drug Administration. https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-18-yeasts-molds-and-mycotoxins.

Tyl, C., & Sadler, G. D. (2017). *pH and titratable acidity*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_22

Vaclavik, V. A., & Christian, E. W. (2008). *Essentials of food science* (3rd ed.). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-69940-0

Würzbach, M., Lowin, I., & Eckel, B. (2015). Effect of the storage duration on the stability of flavonoids in hops and green tea extract. *Forum Angewandte Forschung, 14*.

Yahia, E. M., & Kader, A. A. (2011). Date (Phoenix dactylifera L.). In *Postharvest biology and Technology of tropical and subtropical fruits: Cocona to mango, 41–81e*. https://doi.org/10.1533/9780857092885.41