

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DE BATNA 2
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE ET DE BIOCHIMIE



THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière

SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité

BIOCHIMIE

Par

DAAS AMIOUR SALIHA

THEME

**Mise en évidence et inhibition du brunissement
enzymatique post récolte des dattes Deglet Nour
et Ghars**

Soutenue publiquement le 01/03/2017 devant le jury composé de :

<i>PRÉSIDENT</i>	YAHIA Mouloud	Prof., Université de Batna 2
<i>RAPPORTEUR</i>	HAMBABA Leila	Prof., Université de Batna 2
<i>EXAMINATEURS</i>	AMEDDAH Souad	Prof., Université de Constantine 1
	ARRAR Lekhmici	Prof., Université de Sétif 1
	BAGHIANI Abderrahmane	Prof., Université de Sétif 1
	LAROUÏ Salah	Prof., Université de Batna 2

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DE BATNA 2
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE ET DE BIOCHIMIE

THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière

SCIENCES BIOLOGIQUES

Spécialité

BIOCHIMIE

Par

DAAS AMIOUR SALIHA

THEME

**Mise en évidence et inhibition du brunissement
enzymatique post récolte des dattes Deglet Nour
et Ghars**

Soutenue publiquement le 01/03/ 2017 devant le jury composé de :

<i>PRÉSIDENT</i>	YAHIA Mouloud	Prof., Université de Batna 2
<i>RAPPORTEUR</i>	HAMBABA Leila	Prof., Université de Batna 2
<i>EXAMINATEURS</i>	AMEDDAH Souad	Prof., Université de Constantine 1
	ARRAR Lekhmici	Prof., Université de Sétif 1
	BAGHIANI Abderrahmane	Prof., Université de Sétif 1
	LAROUÏ Salah	Prof., Université de Batna 2

Remerciements

Si une thèse représente un investissement personnel, c'est aussi avant tout un travail d'équipe. C'est pourquoi, je tiens à remercier chaleureusement...

Mme HAMBABA Leila, professeur au Département de Microbiologie et de Biochimie, Université de Batna 2, qui m'a accordé sa confiance en acceptant de m'encadrer ; pour sa disponibilité et pour ses encouragements.

Je remercie infiniment :

Mr YAHIA Mouloud, professeur à l'université de Batna 2 pour l'honneur qu'il m'a accordé en présidant le jury

Et

Mme AMEDDAH Souad, professeur à l'université de Constantine 1 ; Mr ARRAR Lekhmici, professeur à l'université de Sétif 1, Mr BAGHIANI Abderrahmane, professeur à l'université de Sétif 1 et Mr LAROUUI Salah, professeur à l'université de Batna 2 de s'être intéressés à ce travail et d'avoir accepté d'en être les examinateurs.

Mes remerciements vont aussi à :

Mr Mellah, le Directeur Général du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA), Mr Loualhi et Mr Mansouri de la même institution pour leur collaboration.

En témoignage de ma reconnaissance et respectueuse gratitude, je

tiens à remercier :

Tous les membres de ma famille : mon mari, mes enfants, ma sœur et mes frères pour leurs encouragements, leur soutien et leur aide précieuse.

Dédicace

C'est avec plein d'amour et de fierté que je dédie ce travail

À :

La mémoire de mes chers parents

الحفاظ على نوعية تمر دقلة نور و غرس محدود بسبب الإسوداد الإنزيمي الذي يؤدي الى إحداث فقدان للجودة الغذائية والخصائص الحسية نتيجة لغياب عمليات المعالجة وعدم وجود صيانة بعد موعد القطف. هذه الاطروحة تدرس إظهار عملية الإسوداد الإنزيمي الذي يصيب الفاكهتين مع اختبار فعالية بعض الأساليب الفيزيائية والكيميائية لتنشيط هذه الظاهرة وتحسين المحافظة على هذه الثمار الثمينة. في الواقع، تم إجراء دراسة أولية عن تأثير درجة الحموضة ودرجة الحرارة و بعض المواد الكيميائية على أنشطة الإنزيمات المسؤولين على اسوداد التمر (الفينول أو أكسيداز والبيروكسيداز). وتمثلت الدراسة الثانية في تجربة مفعول أشعة جاما من خلال ثلاث جرعات مختلفة (0.6، 1.3 و 2 كيلو جرای) على عدة خصائص و مكونات لعينات التمر (درجة الحموضة، الحموضة المعاييرة، فيتامين ج، اللون، المحتوى الإجمالي من الفينولات والفلافونيدات، النشاط المضاد للجذور الحرة ونشاط إنزيمي الفينول أو أكسيداز والبيروكسيداز) لمدة عشرة أشهر من التخزين في درجتي حرارة مختلفتين (محيطة ومنخفضة). وأسفرت الدراسة الأولى في تحديد درجات الحموضة و الحرارة المثلى لكلتي الإنزيمات بجانب مفعول المواد الكيميائية، بما في ذلك تأثير كايح بشكل رئيسي من حامض الاسكوربيك. هذه الأنشطة معرضة للتنشيط عند درجات الحموضة ودرجات الحرارة القصوى ولكن تبقى معتبرة على نطاق واسع. علاوة على ذلك، كشفت دراسة تأثير أشعة جاما المحافظة على درجة الحموضة في جميع عينات دقلة نور المخزنة في درجة حرارة منخفضة، وعينة غرس المعرضة للإشعاع عند 0.6 كيلو جرای و المخزنة في درجة حرارة الغرفة، بالإضافة إلى زيادات كبيرة في فيتامين (ج) بالنسبة لغالبية العينات. وعلاوة على ذلك، كشفت دراسة تأثير أشعة جاما على التباطؤ في إسوداد غالبية العينات المعرضة للإشعاع مما أدى إلى ضعف تكثيف لون عينات تمر دقلة نور التي تم تخزينها في درجة حرارة الغرفة، و تحديدا العينات المعرضة للإشعاع بالدرجات 0.6 و 2 كيلو جرای مقارنة مع العينة الغير متعرضة للإشعاع. ما هو نفسه في حالة العينات المعرضة للإشعاع بالدرجات 1.3 و 2 كيلو جرای من تمر الغرس التي تم تخزينها في درجة حرارة الغرفة وتلك المعرضة للإشعاع بالدرجات 0.6، 1.3 و 2 كيلو جرای التي تم تخزينها في درجة حرارة منخفضة. يبدو ان هذا الإشعاع قد خفض بشكل كبير من نشاط أكسيداز متعدد الفينول و ذلك في حالة عينات تمر الغرس خاصة عند 1.3 كيلو جرای المخزنة في درجة الحرارة المنخفضة. من خلال أعلى جرعة (2 كيلو جرای)، ساعد الإشعاع على إبطاء زيادة نشاط البيروكسيداز في عينات دقلة نور لمدة تصل إلى 5 أشهر من التخزين في كلتي درجتي الحرارة كما ساعدت جرعة 1.3 كيلو جرای في إبطاء نشاط البيروكسيداز من تمر غرس المخزنة في درجة حرارة الغرفة. في حين أن الجرعات 0.6 و 2 كيلو جرای هي التي سمحت بهذا في عينات نفس نوعية التمر عند تخزينها في درجة حرارة منخفضة. انعكس هذا أيضا على الحفاظ على المحتوى الفينولي في عينات دقلة نور مقابل زيادات معتبرة في عينات الغرس. بالتالي تم ايضا الحصول على النشاط المضاد للجذور الحرة بمستويات مهمة جدا مع العينات المعرضة للإشعاع من كلا نوعي التمر المدروسة. في الواقع هناك علاقة خطية جد ملموسة بين معدلات هذا النشاط ومحتوى هذه العينات من إجمالي متعدد الفينول والفلافونويد. تفادي الإسوداد الإنزيمي والحفاظ على الجودة الغذائية للنوعيتين المدروستين من التمر، يتطلب عند تخزينها في درجة حرارة الغرفة، الإشعاع بجرعة 0.6 كيلو جرای لدقلة نور و 2 كيلو جرای لغرس. عند التخزين بدرجات الحرارة المنخفضة (10 درجة مئوية)، 2 كيلو جرای هو الأكثر ملاءمة لدقلة نور و 0.6 كيلو جرای لغرس.

الكلمات المفتاحية: دقلة نور، غرس، الاسوداد الأنزيمي، أشعة جاما، الفينولات.

Résumé

La conservation des dattes Deglet Nour et Ghars est limitée par le brunissement enzymatique induisant la perte de leur qualité nutritionnelle et leurs propriétés organoleptiques, conséquence du manque accrue de technologies de traitement et conservation post récolte de la datte. Cette thèse étudie la mise en évidence du brunissement enzymatique au sein des deux fruits et le test de l'efficacité de quelques approches physiques et chimiques dans l'inhibition de ce phénomène et l'amélioration de la conservation de ces précieux fruits. En effet, une première étude sur l'effet du pH, de la température et de certains produits chimiques sur les activités des deux enzymes impliquées dans le brunissement, la polyphénoloxydase (PPO) et la peroxidase (POD), a été réalisée. La deuxième consistait à l'étude de l'effet des radiations gamma à trois différentes doses (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) sur le pH ; l'acidité titrable ; la couleur ; les teneurs en vitamine C, en phénols totaux et en flavonoïdes ; l'activité antiradicalaire vis à vis du DPPH ainsi que l'activité enzymatique de la PPO et de la POD des échantillons des deux fruits stockés à deux températures différentes (ambiante et basse) pendant dix mois. La première étude a conduit à la détermination des pH et températures optimaux des deux enzymes à côté de l'action des produits chimiques étudiés, notamment l'effet inhibiteur majeur de l'acide ascorbique. Ces activités sont très inhibées à pH et à températures extrêmes, mais restent importantes sur une large plage. Par ailleurs, l'étude de l'effet des radiations gamma a permis de détecter une préservation du pH de tous les échantillons irradiés de Deglet Nour stockés à basse température et de l'échantillon de Ghars irradié à 0,6 KGy, stocké à température ambiante, en plus de fortes augmentations en vitamine C de la majorité des échantillons. Un ralentissement du brunissement a été mis en évidence, se traduisant par une faible intensification de la coloration des échantillons de la datte Deglet Nour irradiés à 0,6 et 2 KGy et stockés à température ambiante ; il en est de même pour les échantillons de la datte Ghars irradiés à 1,3 et 2 KGy stockés à température ambiante et ceux irradiés à 0,6 ; 1,3 et 2 KGy stockés à basse température. Ce traitement paraît inhiber de manière significative l'activité de la PPO des échantillons irradiés de Ghars et spécialement celui irradié à 1,3 KGy lors du stockage à basse température. A la plus forte dose (2KGy), il a permis de ralentir l'augmentation de l'activité de la POD des échantillons de Deglet Nour jusqu'au 5^{ème} mois de stockage aux deux différentes températures. La dose 1,3 KGy a induit le ralentissement de l'activité de la POD de la datte Ghars stocké à température ambiante ; alors que ce sont les doses 0,6 et 2 KGy qui ont permis cela chez les échantillons de la même variété stockés à basse température. Cela s'est traduit aussi par une préservation de la teneur phénolique des échantillons de Deglet Nour versus une augmentation considérable chez ceux de la datte Ghars et par conséquent de très importants taux d'activité antiradicalaire ont été obtenus avec les échantillons irradiés des deux variétés de dattes. En effet, une corrélation linéaire significative a été obtenue entre ces taux d'activité antioxydante et la teneur des extraits de ces échantillons en polyphénols totaux et flavonoïdes. La prévention du brunissement enzymatique et la préservation de la qualité nutritionnelle des deux variétés de datte étudiées acquiert, lors d'un stockage à température ambiante, la dose d'irradiation de 0,6 KGy pour Deglet Nour et celle de 1,3 ou 2 KGy pour Ghars. Tandis que pour un stockage à basse température (10°C), 2 KGy est la plus convenable pour Deglet Nour et 0,6 KGy pour Ghars.

Mots clés: Deglet Nour, Ghars, brunissement enzymatique, radiations gamma, phénols.

Summary

The conservation of Deglet Nour and Ghars dates is limited by enzymatic browning inducing loss of nutritional quality and organoleptic properties, which is the result of increased lack of processing technologies for post-harvest date preservation. This thesis studies the demonstration of enzymatic browning in both fruits and tests the effectiveness of some physical and chemical approaches for inhibition of this phenomenon and improving the conservation of these precious fruits. Indeed, a first study on the effect of pH and temperature and some chemicals on the activities of two enzymes involved in browning, polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (POD) was performed. The second was devoted for studying the effect of gamma radiation at three different doses (0.6; 1.3 and 2 KGy) on pH; titratable acidity; Colour ; levels of vitamin C, total phenols and flavonoids contents; anti-radical activity against DPPH and PPO and POD activities from samples of both fruits stored at two different temperatures (ambient and low) for ten months. The first study resulted in the determination of the optimal pH and temperatures of both enzymes beside studied the action of chemicals, including the major inhibitory effect of ascorbic acid. These activities are highly inhibited at extreme pH and temperatures, but remain significant over a wide range. Moreover, the study of the gamma radiation effect has detected preservation of the pH of all irradiated samples from Deglet Nour stored at low temperature and the Ghars sample irradiated at 0.6 KGy stored at room temperature , in addition to significant increases in vitamin C for the majority of samples. This study detected a slowdown in the browning of the majority of irradiated samples resulting in a weak intensification of color samples from the date Deglet Nour stored at room temperature, irradiated at 0.6 and 2 KGy comparing with the control; what is the same in the case of irradiated samples at 1.3 and 2 KGy from Ghars stored at room temperature and those irradiated at 0.6, 1.3 and 2 KGy stored at low temperature. This treatment appears to inhibit significantly the PPO activity of Ghars irradiated samples especially that irradiated at 1.3 KGy during low temperature storage. At the highest dose (2KGy), this treatment helped slowing the increase in Deglet Nour POD's activity until the 5th month of storage at two different temperatures. 1.3 KGy dose induced the slowing of POD's activity from Ghars samples stored at room temperature; while these are the doses 0.6 and 2 KGy that allowed it to samples of the same variety stored at low temperature. This also reflected a preservation of the phenolic content of Deglet Nour samples vs an important increase in those of Ghars and therefore very significant radical scavenging activity rates were obtained with the irradiated samples of the two varieties of dates. Indeed, a significant linear correlation was obtained between the rates of this antioxidant activity and the extracts content of these samples in total polyphenols and flavonoids. Prevention of enzymatic browning and preserving the nutritional quality of the two studied varieties of dates acquires, when stored at room temperature, the radiation dose of 0.6 KGy for Deglet Nour and the 2 KGy for Ghars. While for a low temperature storage (10 ° C), 2 KGy is most suitable for Deglet Nour and 0.6 KGy for Ghars.

Keywords: Deglet Nour, Ghars, enzymatic browning, gamma radiation, phenols.

Table des matières

Résumés	V
Table des matières.....	VIII
Liste des abréviations.....	VIII
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des photos.....	VIII
Introduction	1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 1. La datte: Généralités, composition, intérêt et altération

1. Le palmier dattier.....	4
1.1. Historique.....	4
1.2. Taxonomie.....	4
1.3. Morphologie et description.....	4
1.4. Importance et répartition géographique.....	5
2. La datte.....	6
2.1. Production et commercialisation à l'échelle mondiale et nationale.....	6
2.2. Morphologie et diversité	7
2.3. Composition chimique de la datte mure.....	8
2.3.1. Principaux constituants de la pulpe.....	8
2.3.1.1. Eau.....	8
2.3.1.2. Sucres.....	8
2.3.1.3. Fibres.....	9
2.3.1.4. Protéines.....	9
2.3.1.5. Enzymes.....	10
2.3.1.6. Lipides.....	11
2.3.1.7. Vitamines.....	11
2.3.1.8. Minéraux.....	11
2.3.1.9. Composés phénoliques.....	13
2.3.1.10. Caroténoïdes.....	15
2.3.1.11. Phytostérols.....	15
2.3.2. Principaux constituants du noyau.....	15
2.4. Intérêt médical et nutritionnel de la datte.....	16
2.4.1. Intérêt médical.....	16
2.4.2. Intérêt nutritionnel.....	17
2.4.2.1. Pâte de datte.....	17
2.4.2.2. Farine de datte.....	17
2.4.2.3. Sirops, crèmes et confitures de dattes.....	18
2.4.2.4. Aliments de bétail.....	18
2.4.2.5. Valorisation des déchets de dattes.....	18

2.5. Altération et détérioration de la datte post-récolte.....	19
2.5.1. Critères de l'acceptabilité de la datte par le consommateur.....	20
2.5.2. Facteurs impliqués dans la détérioration post récolte de la datte	20
2.5.2.1. Respiration.....	21
2.5.2.2. Production d'éthylène.....	21
2.5.2.3. Transpiration.....	21
2.5.2.4. Désordres physiques et physiologiques.....	21
2.5.2.5. Destruction pathologique.....	22
2.5.2.6. Procédures de traitement post récolte.....	22

Chapitre 2. Le brunissement enzymatique des fruits

1. Définition.....	23
2. Déclenchement, conséquences et catalyse du brunissement enzymatique.....	23
3. Polyphénoloxydase (PPO).....	24
3.1. Nomenclature, distribution et localisation subcellulaire.....	24
3.2. Structure, propriétés et rôle physiologique.....	25
3.3. Mécanisme réactionnel et substrats	26
3.3.1. Acides phénols.....	26
3.3.2. Flavonoïdes.....	28
4. Produits de la réaction du brunissement.....	31
5. Peroxydases (POD)	32
5.1. Nomenclature, distribution et localisation subcellulaire.....	32
5.2. Structure, propriétés et rôle physiologique des peroxydases des plantes.....	33
5.3. Mécanisme réactionnel et substrats.....	33
6. Contrôle et prévention du brunissement enzymatique.....	34

Chapitre 3. Généralités sur l'irradiation des aliments

1. La technologie de l'irradiation des aliments.....	36
2. Technique de l'irradiation aux rayons gamma.....	38

Partie II: Etude expérimentale

Chapitre 1. Matériel et méthodes

1. Matériel végétal.....	40
2. Conduite des expériences.....	46
2.1. Première étude.....	46
2.1.1. Design expérimental et méthodes d'analyse.....	46
2.1.2. Extraction des enzymes polyphénoloxydase (PPO) et peroxydase (POD) et dosage de leurs activités enzymatiques.....	47
2.1.3. Etude de l'effet du pH sur les activités enzymatiques de la PPO et de la POD.....	48
2.1.4. Etude de l'effet de la température sur les activités enzymatiques de la PPO et de la POD.....	48

2.1.5.	Etude de l'effet de produits chimiques sur les activités enzymatiques de la PPO et de la POD.....	48
2.1.6.	Détermination de la teneur phénolique.....	49
2.1.7.	Détermination de l'activité antiradicalaire.....	49
2.1.8.	Analyse statistique.....	50
2.2.	Deuxième étude.....	50
2.2.1.	Design expérimental et méthodes d'analyse.....	50
2.2.1.1.	Traitement des dattes aux radiations gamma.....	50
2.2.1.2.	Détermination du pH et de l'acidité titrable.....	51
2.2.1.3.	Détermination de la teneur en vitamine C.....	53
2.2.1.4.	Extraction de la PPO et de la POD et mesure de leurs activités enzymatiques....	54
2.2.1.5.	Détermination de la teneur en polyphénols extractibles totaux.....	55
2.2.1.6.	Mesure de la teneur en flavonoïdes.....	55
2.2.1.7.	Identification et quantification des phénols par chromatographie liquide à haute performance (HPLC).....	56
2.2.1.8.	Détermination de l'indice de brunissement.....	57
2.2.1.9.	Mesure de l'activité antiradicalaire.....	57
2.2.1.10.	Analyse statistique.....	57

Chapitre 2. Résultats et discussion

1.	Résultats de la première étude.....	58
1.1.	Effet du pH.....	58
1.1.1.	pH optimal des deux enzymes.....	58
1.1.1.1.	pH optimal de la PPO.....	58
1.1.1.2.	pH optimal de la POD.....	58
1.1.2.	Stabilité à différents pH.....	59
1.1.2.1.	Stabilité de la PPO.....	59
1.1.2.2.	Stabilité de la POD.....	59
1.2.	Effet de la température.....	62
1.2.1.	La température optimale des deux enzymes.....	62
1.2.1.1.	La température optimale de la PPO.....	62
1.2.1.2.	La température optimale de la POD.....	62
1.2.2.	Stabilité à différentes températures.....	64
1.3.	Effets de certains composés chimiques.....	66
1.3.1.	Effet direct sur les activités enzymatiques.....	66
1.3.2.	Effet sur la teneur phénolique.....	69
1.3.3.	Effet sur l'activité antiradicalaire.....	69
1.4.	Conclusion.....	71
2.	Résultats de la deuxième étude.....	71
2.1.	pH.....	71
2.2.	Acidité titrable.....	72
2.3.	Teneur en vitamine C.....	74
2.4.	Activité enzymatique de la PPO.....	77

2.5. Activité enzymatique de la POD.....	78
2.6. Teneur en polyphénols totaux.....	81
2.7. Teneur en flavonoïdes.....	84
2.8. Identification et quantification par chromatographie liquide à haute performance.....	84
2.9. Indice de brunissement.....	104
2.10. Activité de piégeage du radical DPPH.....	104
2.11. Récapitulatif des résultats de la deuxième étude.....	107
2.12. Discussion.....	113
2.13. Conclusion.....	123
Conclusion Générale et perspectives.....	124
Références Bibliographiques.....	127
Annexes.....	155
Publication	

Liste des abréviations

AA	Activité antiradicalaire
AIEA	Agence Internationale de l'Energie Atomique
AOAC	Association of Analytical Communities
AT	Acidité titrable
CPT	Composés phénoliques totaux
CRBt	Centre de Recherche en Biotechnologie
DCIP	2,6-dichloro-indophénol
DHA	Acide déhydro-ascorbique
DN	Deglet Nour
EAG	Équivalent d'acide gallique
EQ	Équivalent quercétine
FRAP	Ferric reducing-antioxidant power
FSAI	Food Safety Authority of Ireland
G	Ghars
Gy	Gray
IB	Indice de brunissement
ICGFI	International Consultative Group on Food Irradiation
IPGRI	International Plant Genetic Resources Institute
ITIS	Integrated Taxonomic Information System
KGy	Kilo Gray
MeV	Méga électron volt
OMS	Organisation mondiale de la santé
Qx	Quintaux
PF	Poids frais
POD	Peroxydase
PPO	Polyphénoloxydase
PPT	Polyphénols totaux
r	Coefficient de régression linéaire
Rdt.	Rendement
ROS	Reactive Oxygen Species
SDS	Sodium dodecyl sulfate
T	Température
UI	Unité internationale

Liste des figures

Figure 1. Morphologie du palmier dattier.....	5
Figure 2. Répartition géographique des palmiers dattiers dans le monde	6
Figure 3. Coupe d'une datte et de son noyau.....	7
Figure 4. Les réactions catalysées par la polyphénoloxydase.....	27
Figure 5. Mécanisme d'action des polyphénoloxydases	27
Figure 6. Structure de quelques composés phénoliques substrats de la polyphénoloxydase... ..	29
Figure 7. Structures chimiques d'acides hydroxybenzoïques et hydroxycinnamiques	30
Figure 8. Structures chimiques des principaux flavonols et flavanols	31
Figure 9. Structures chimiques des anthocyanidines des fruits.....	31
Figure 10. Utilisation mondiale d'irradiation des aliments	37
Figure 11. Le symbole international "Radura" indiquant les aliments irradiés.....	37
Figure 12. L'irradiateur Gamma pour le traitement des aliments	39
Figure 13. pH optimaux de la PPO et de la POD des dattes Deglet Nour et Ghars	60
Figure 14. Effet du pH sur la stabilité de la PPO et de la POD des dattes Deglet Nour et Ghars après incubation des préparations enzymatiques pour 12 h à 10°C avec des solutions tampons de pH variés.....	61
Figure 15. Températures optimales de la PPO et de la POD des dattes Deglet Nour et Ghars à pH 7.....	63
Figure 16. Effet de la température sur la stabilité de la PPO et de la POD des dattes Deglet Nour et Ghars après incubation des préparations enzymatiques pour 1 h à pH 7 et T=10-80°C	65
Figure 17. Variation des valeurs de pH des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.....	73
Figure 18. Changement des taux des acidités titrables des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.....	75
Figure 19. Changement de la teneur en vitamine C des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.....	76
Figure 20. Evolution de l'activité de la PPO des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	79

Figure 21. Evolution de l'activité de la POD des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	80
Figure 22. Evolution de la teneur en phénols totaux des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	82
Figure 23. Evolution de la teneur en flavonoïdes des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	85
Figure 24. Chromatogrammes de l'acide chlorogénique, gallique, caféique et p-hydroxybenzoïque	95
Figure 25. Chromatogrammes de catéchine, épicatechine et quercétine	96
Figure 26. Chromatogrammes de lutéoline, cyanidine chlorure et procyanidine B2	97
Figure 27. Chromatogrammes de l'extrait de Deglet Nour avant irradiation	98
Figure 28. Chromatogrammes de l'extrait de Ghars avant irradiation	99
Figure 29. Chromatogramme de l'extrait de Deglet Nour (0,6 KGy) à 10 mois de stockage à température ambiante	100
Figure 30. Chromatogramme de l'extrait de Ghars (2 KGy) à 10 mois de stockage à température ambiante	101
Figure 31. Chromatogramme de l'extrait de Deglet Nour (2 KGy) à 10 mois de stockage à température basse	102
Figure 32. Chromatogramme de l'extrait de Ghars (0,6 KGy) à 10 mois de stockage à température basse	103
Figure 33. Evolution de l'indice du brunissement des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars pendant 10 mois de stockage à température ambiante et température basse	105
Figure 34. Evolution du taux de l'activité antiradicalaire des échantillons témoins et irradiés de Deglet Nour et Ghars au cours de 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	106

Liste des tableaux

Tableau 1. Principales variétés de dattes algériennes, leur consistance et leur aire de culture..	8
Tableau 2. Teneur en eau (en % du poids frais) des variétés Deglet et Ghars.....	8
Tableau 3. Teneur en sucres de quelques variétés de dattes	9
Tableau 4. Teneurs en fibres totales, solubles et insolubles de la datte Deglet Nour.....	9
Tableau 5. Composition de la datte Deglet Nour mure en acides gras.....	11
Tableau 6. Composition vitaminique moyenne de la datte sèche	12
Tableau 7. Teneurs en vitamines et minéraux de la pulpe de Deglet Nour	12
Tableau 8. Composition de la datte en minéraux.....	12
Tableau 9. Teneurs des dattes Deglet Nour et Ghars de la région de Ouargla en minéraux....	12
Tableau 10. Teneur en composés phénoliques de variétés de dattes algériennes	13
Tableau 11. Les phytoestrogènes identifiés et quantifiés dans la datte	14
Tableau 12. Composition chimique des dattes en caroténoïdes.....	15
Tableau 13. Effets biologiques des dattes observés par étude in vivo	16
Tableau 14. Effets biologiques des dattes observés par étude in vitro.....	17
Tableau 15. Les produits dérivés des sous-produits des fruits et de déchets de dattes par fermentation microbienne.....	19
Tableau 16. Définition des attributs de la datte de bonne qualité selon les préférences des consommateurs	20
Tableau 17. Caractéristiques des polyphénoloxydases de certaines plantes.....	26
Tableau 18. Substrats des polyphénoloxydases de quelques fruits	28
Tableau 19. Nombre de palmiers dattiers Deglet Nour et Ghars dans les différentes wilayas d'Algérie.....	41
Tableau 20. Production annuelle des variétés Deglet Nour et Ghars algériennes.....	42
Tableau 21. Caractéristiques des dattes Deglet Nour et Ghars	45
Tableau 22. Rapport moyen de poids (Noyau/datte entière) des variétés Deglet Nour et Ghars	42
Tableau 23. Activité relative de la PPO et de la POD de Deglet Nour et Ghars après incubation	68
Tableau 24. Teneurs en phénols totaux et activité antiradicalaire des extraits de Deglet Nour et Ghars additionnés de produits chimiques	70
Tableau 25. Valeurs des coefficients de régression linéaire (r) obtenus par corrélation entre la variation d'activité de la PPO et de la POD versus la variation des teneurs en PPT de Deglet Nour et Ghars.....	83

Tableau 26. Teneurs en acides hydroxybenzoïque, salicylique et gallique des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et après 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	88
Tableau 27. Teneurs en acides hydroxy-cinnamique, trans-cinnamique et caféique des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et après 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	89
Tableau 28. Teneurs en acides chlorogénique, coumarique et tannique des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et après 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	90
Tableau 29. Teneurs en catéchine, épicatechine et quercétine des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et après 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.....	91
Tableau 30. Teneurs en coumarine, 4-méthylcatéchol et lutéoline des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et après 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.....	92
Tableau 31. Teneurs en cyanidine chloride, vanilline et procyanidine B2 des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et après 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse	93
Tableau 32. Récapitulatif des teneurs en flavonoïdes et en polyphénols totaux des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et à 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse (dosage par HPLC	94
Tableau 33. Valeurs des coefficients de régression linéaire (r) obtenus par corrélation entre teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes et en vitamine C versus l'activité antiradicalaire des extraits des échantillons durant le stockage	107
Tableau 34. Récapitulatif des résultats de la 2 ^{ème} étude par comparaison avec les résultats des échantillons témoins.....	108

Liste des photos

Photos 1. Deglet Nour algérienne destinée à l'exportation.....	7
Photos 2. Quelques sous-produits de dattes, jus, sirop, pâte, cornichons, barres, beurre et confiture	18
Photo 3. Fraise irradiée en vente aux grandes surfaces	38
Photo 4. La datte Deglet Nour utilisée dans l'étude	41
Photo 5. La datte Ghars utilisée dans l'étude	42
Photo 6. Palmier dattier Deglet Nour utilisé pour l'échantillonnage	43
Photo 7. Palmier dattier Ghars utilisé pour l'échantillonnage	44
Photo 8. L'irradiateur pilote (Cobalt – 60) utilisé dans l'étude	51
Photo 9. Appareil de la chromatographie liquide à haute performance utilisé dans l'étude	56
Photos 10. Echantillons de Deglet Nour avant irradiation et après 7,5 et 10 mois de stockage à température basse.....	109
Photos 11. Echantillons de Deglet Nour avant irradiation et à 7,5 et 10 mois de stockage à température ambiante.....	110
Photos 12. Echantillons de Ghars avant irradiation et à 7,5 et 10 mois de stockage à température ambiante.....	111
Photos 13. Echantillons de Ghars avant irradiation et à 7,5 et 10 mois de stockage à température basse.....	112

Introduction

Introduction

Le palmier dattier, *Phoenix dactylifera* L., est une culture de plantation importante pour de nombreux pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, y compris l'Algérie.

Le palmier dattier est l'arbre fruitier par excellence de la zone saharienne où il joue à la fois un rôle économique, grâce à la production des dattes qui constituent la base de l'alimentation humaine et animale et un rôle écologique (Fernandez *et al.*, 1995 ; Chehma et Longo, 2001 ; Yahia et Kader, 2011).

L'Algérie est comptée parmi les principaux pays producteurs du monde de la datte ; sa production en 2013 a été estimée à 848,199 tonnes (FAOSTAT, 2013).

Selon les rapports de la FAO (2003), l'Algérie était le 2^{ème} pays producteur de la datte Deglet Nour dans le monde avec un million de palmiers dattiers. Notre pays exporte plus des dattes naturelles que des dattes traitées et transformées. Sachant que les dattes traitées sont plus populaires et plus commercialisées que les dattes naturelles (Liu, 2002).

La qualité et la valeur nutritionnelles des fruits de dattes ont été signalées par de nombreux chercheurs (Al-Farsi *et al.*, 2007a ; Barreveld, 1993). Elles sont riches en sucres simples comme le glucose et le fructose, elles constituent une bonne source de fibres et de certains minéraux essentiels et renferment en outre des composés phénoliques à maintes vertus thérapeutiques. En effet, ces molécules attirent récemment une attention accrue dans le domaine de la nutrition et de la médecine en raison de leurs propriétés et avantages potentiels pour la santé.

Cependant, ces derniers sont sujets à l'oxydation enzymatique conduisant à l'installation de brunissement ce qui provoque des changements de couleur des fruits (Lu *et al.*, 2007).

Notant que l'apparence, qui est considérablement influencée par la couleur, est l'un des premiers attributs utilisés par les consommateurs dans l'évaluation de la qualité des aliments. La couleur des fruits peut être influencée par des pigments naturels tels que les chlorophylles, caroténoïdes et anthocyanes ou par des pigments résultant de réactions de brunissement (Lozano, 2006). En effet, l'un des problèmes majeurs de la production et de la commercialisation des fruits est leur brunissement après récolte. Influencé par la manipulation, le traitement et le stockage, ce phénomène est considéré comme probablement la première cause de perte de la qualité post-récolte des fruits, voire même, l'altération profonde de leur saveur et de leur valeur nutritive.

Les réactions de brunissement diminuent de manière significative l'acceptation par le consommateur, la durée de conservation et la valeur des produits végétaux (Yoruk et Marshall, 2003).

Le brunissement enzymatique apparaît suite à l'action d'enzymes appelées polyphénol oxydases et peroxydases ; ce qui peut conduire à la production de mélanines (Šukalović *et al.*, 2010; Slatnar *et al.*, 2010). Les actions de la polyphénoloxydase et la peroxydase pourraient également se traduire par la génération d'un mauvais goût dans les produits alimentaires. Ces deux phénomènes sont d'une importance capitale pour le producteur, car ils nuisent non seulement aux propriétés sensorielles et la valeur marchande d'un produit, mais également réduisent la valeur nutritionnelle des fruits. En effet, L'activité de ces deux enzymes peut réduire de façon significative la qualité des fruits après la récolte.

Ainsi, le contrôle des activités de ces enzymes est très important pour la préservation des qualités nutritionnelles et propriétés organoleptiques des fruits et légumes.

L'objectif principal de ce travail de recherche est donc d'agir dans ce sens pour freiner ce phénomène enzymatique et surmonter la perte et les dégâts qu'il cause au niveau de deux variétés de dattes largement commercialisées et consommées à travers le territoire algérien, à savoir Deglet Nour et Ghars. Pour atteindre cet objectif fondamental, deux études vont être menées, chacune avec son propre but et son propre design.

La première étude a pour objectif, la mise en évidence des activités enzymatiques polyphénoloxydase et peroxydase au sein des deux variétés de dattes étudiées ; l'influence des différents pH et des différentes températures sur les activités de ces deux enzymes ainsi que la détermination de leurs pH et températures optimaux. L'effet de certains produits chimiques sur la stabilité des deux activités enzymatiques, sur la teneur phénolique et sur l'activité antiradicalaire des deux fruits a été aussi testé. En effet, la compréhension des facteurs principaux qui influencent les activités de la PPO et de la POD est nécessaire pour envisager des moyens d'inhibition et/ou de contrôle de ces dernières au sein des deux fruits.

Le traitement des aliments par radiations est bien établi comme mode physique, non-thermique de conservation appelé pasteurisation à froid, qui traite les aliments à la température ambiante. Le produit irradié est frais et beaucoup plus sécuritaire (Eustice et Bruhn, 2013). En effet, Plus de 50 pays ont donné leur approbation pour l'irradiation de nombreux produits alimentaires (ICGFI, 2005 ; Sommers and Fan, 2006) et l'intérêt pour le processus d'irradiation augmente en raison de la persistance des pertes élevées des denrées alimentaires.

L'objectif de la deuxième étude est de tester l'effet des radiations ionisantes gamma, en tant que moyen physique, sur les activités enzymatiques des polyphénoloxydases et peroxydases des deux variétés de dattes et sur plusieurs paramètres en relation, directe ou indirecte, avec le brunissement enzymatique impliquant essentiellement ces deux enzymes.

[Introduction]

En effet, le rayonnement ionisant peut être utilisé pour l'inhibition de la germination, le contrôle des insectes ou le retard de la maturation de certains fruits et légumes (Lee et Kader, 2000).

Ce manuscrit s'organise en quatre chapitres. Dans un premier temps, nous abordons la synthèse bibliographique qui comporte deux chapitres.

Le 1^{er} s'articule autour des généralités sur les deux fruits étudiés dans ce travail ainsi que leur composition, intérêt et altération.

Le 2^{ème} chapitre est consacré à la description du phénomène du brunissement enzymatique avec les enzymes responsables, la réaction d'oxydation et ses substrats.

La partie expérimentale décrit la méthodologie et les techniques utilisées dans les deux études de ce travail dans un troisième chapitre et dont le quatrième comprend les résultats obtenus et la discussion.

Suivi par une conclusion générale avec les perspectives envisagées pour poursuivre ce travail.

Une liste des références bibliographiques citées figure à la fin du manuscrit suivie des annexes.

Synthèse
Bibliographique

*Chapitre 1. La datte:
Généralités,
composition, intérêt
et altération*

Chapitre1. La datte: Généralités, composition, intérêt et altération

1. Le palmier dattier

1.1. Historique

En raison de la longue histoire de la datte, la culture, la large diffusion et l'échange des cultivars, l'origine exacte de la datte est inconnue, mais il est fort probable qu'elle provenait de l'antique Mésopotamie (zone du sud de l'Irak) ou l'ouest de l'Inde (Wrigley, 1995). À partir de son centre d'origine cette culture progressa vers le Nord du pays et gagna la région côtière du plateau Iranien puis la vallée de l'Indus (Munier, 1973). Depuis l'Egypte, les techniques culturales du dattier gagnèrent la Libye puis se propagèrent d'abord vers les autres pays du Maghreb comme la Tunisie, l'Algérie et le Sud Marocain et arrivèrent ensuite dans l'Adrar Mauritanien (Munier, 1973). En effet, le palmier dattier a longtemps été l'un des plus importantes cultures fruitières dans les régions arides de la péninsule arabe, Afrique du Nord et Moyen-Orient. Au cours des trois derniers siècles, les dattes étaient également introduites dans de nouvelles zones de production ; notamment l'Australie, l'Inde, le Pakistan, le Mexique, l'Afrique du sud, l'Amérique du Sud et aux États-Unis (Chao et Krueger, 2007).

1.2. Taxonomie

Phoenix dactylifera L., ou palmier dattier est une des espèces les plus importantes de la famille des palmiers (Arecaceae), qui englobe environ plus de 2500 espèces (Corner, 1966) et comprend *P.canariensis*, *P. reclinata* et *P. sylvestris* entre autres (El Hadrami et El Hadrami, 2009 ; Jain *et al.*, 2011).

Selon le rapport d'ITIS (2016) (Site 01), le palmier dattier est classé comme suit :

Règne	Plantae – plantes
Sous-règne	Viridaeplantae – plantes vertes
Infra-règne	Streptophyta – plantes terrestres
Super division	Tracheophyta – trachéophytes (plantes vasculaires)
Division	Spermatophytina – spermatophytes (plantes à graines)
Sous -division	Angiospermae – angiospermes (plantes à fruits)
Classe	Magnoliopsida
Superordre	Lilianae – monocotylédones
Ordre	Arecales
Famille	Arecaceae
Genre	Phoenix L. – palmier dattier
Espèce	Phoenix dactylifera L. – palmier dattier

1.3. Morphologie et description

Le palmier dattier est un palmier à feuilles persistantes qui peut atteindre 15-40 m de hauteur. Son système racinaire fasciculé peut atteindre une profondeur de 6 m de fond. La tige, ou

stipe, est cylindrique, droite, allant jusqu'à 1,1 m de diamètre (Zaid et Arias-Jimenez , 2002) (Figure 1). Les Palmiers dattiers commencent la fructification à l'âge de 4 à 5 ans et atteignent leur pleine maturité à l'âge de 10 à 12 ans selon les conditions locales affectant le taux de croissance et développement (Sidhu, 2006 ; Yahia et Kader, 2011).

Phoenix dactylifera L. provient du mot « *Phoenix* » qui signifie dattier chez les phéniciens et, dactylifera dérive du terme grec « *dactulos* » signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit (Djerbi, 1994).

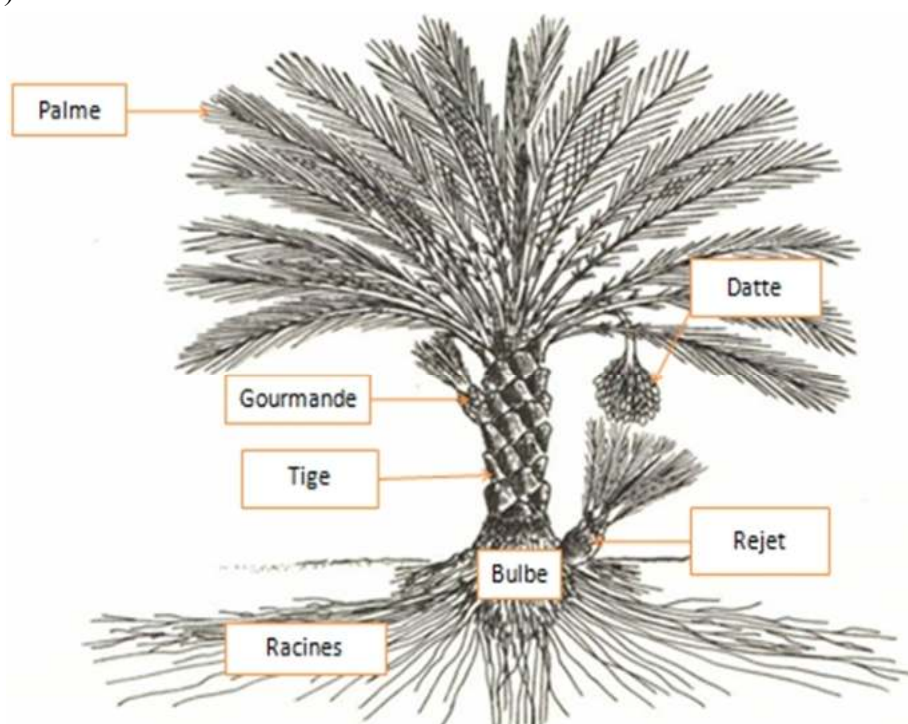


Figure 1. Morphologie du palmier dattier (Peyron, 2000).

1.4. Importance et répartition géographique

Le palmier dattier est l'arbre fruitier par excellence de la zone saharienne où il joue à la fois un rôle économique, grâce à la production des dattes qui constituent la base de l'alimentation humaine et animale, et un rôle écologique puisqu'il confère sa structure à l'oasis (Fernandez *et al.*, 1995 ; Chehma et Longo, 2001 ; Yahia et Kader, 2011). En effet, il constitue l'armature des oasis qui sont de véritables îlots de verdure et de vie au milieu. Il crée un climat favorable à la vie des hommes, de leurs cultures et de leur cheptel (Saaidi, 1990 ; Djerbi, 1991) ; en protégeant du vent et de l'avancée du désert (Fernandez *et al.*, 1995).

Dans le monde, le palmier dattier est largement distribué (El Hadrami *et al.*, 2011). Sa culture est l'une des plus importantes croissances dans les zones désertiques (Yahia et Kader, 2011). Elle est concentrée dans les régions arides au sud de la Méditerranée et dans la frange méridionale du proche Orient depuis le Sud de l'Iran à l'Est, jusqu'à la côte atlantique de l'Afrique du Nord à l'Ouest. L'Espagne reste le seul pays d'Europe à produire des dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche située à l'Ouest d'Alicante à 39° Nord (Toutain, 1977). Le palmier

dattier est également cultivé à plus faible échelle au Mexique, en Argentine et en Australie et aux Etats-Unis d'Amérique (Figure 2).

Une diversité génétique importante du palmier dattier existe dans la région du Maghreb (Algérie, Tunisie et Maroc) avec plus de 1000 variétés (IPGRI, 2004).

En Algérie, la culture du palmier dattier est essentiellement localisée dans les wilayas sahariennes. Quelques-unes sont très réputées ; telles que Biskra, El Oued et Ghardaïa et d'autres le sont moins à l'instar de Ouargla réputée par la variété Deglet Nour et Adrar par la variété H'mira (MADR, 2007). A l'est, le cultivar Deglet Nour, dont les dattes sont destinées à l'exportation vers les pays du Nord, continue à prendre de l'ampleur et frôle aujourd'hui les 50 % de la population des palmiers dattiers plantés (Bouguedoura *et al.*, 2010).



Figure 2. Répartition géographique des palmiers dattiers dans le monde (El Hadrami et El Hadrami, 2009).

2. La datte

2.1. Production et commercialisation à l'échelle mondiale et nationale

Les principaux pays producteurs du monde étaient selon les rapports de la FAO (2011) : l'Egypte, l'Iran, l'Arabie saoudite, les Émirats arabes unis, le Pakistan, l'Algérie, l'Irak, le Soudan et Oman. Les pays arabes possèdent 70% des palmiers dattiers du monde (El-Juhany, 2010). Plus de 7 millions de tonnes de dattes sont produites chaque année ; la plupart de la production est consommée localement et seulement 10% des dattes étaient exportées (FAOSTAT, 2011) (Site 03) ; Yahia et Kader, 2011).

En effet, un palmier peut produire jusqu'à 100 kg par an, avec certains cultivars ayant des rendements moyens par arbre de 180 kg (Munier, 1973).

En Algérie, la production des dattes est la septième des 10 premiers produits agricoles après la pomme de terre, lait de vache entier frais, viande ovine indigène, blé, raisin, viande de poulet indigène (FAO, 2011). En effet, 20% des dattes importées par l'union européenne sont d'origine algérienne (Photos 1). La production de la datte par l'Algérie a été estimée en 2013 à 848,199

tonnes (FAOSTAT, 2013) (Site 04) ; L'Algérie exporte plus des dattes naturelles que les dattes traitées et transformées. Sachant que les dattes traitées sont plus populaires et plus commercialisées que les dattes naturelles (Liu, 2003).



Photos 1. Deglet Nour algérienne destinée à l'exportation (Site 02)

2.2. Morphologie et diversité

La datte, fruit du palmier dattier, est une baie à une seule graine (Figure 3), avec un mésocarpe épais et charnu recouvert d'un péricarpe très fin. Le noyau est dur avec un endocarpe réduit à une mince membrane (Munier, 1973).

Les dattes sont généralement de forme allongée, oblongue ou ovoïde, mais on rencontre également des dattes sphériques. Les dimensions de la datte sont très variables, de 2 à 8 cm de longueur et d'un poids de 2 à 8 g selon les variétés. Leur couleur va du blanc jaunâtre au noir en passant par les couleurs ambre, rouge et brune plus ou moins foncée (Djerbi, 1994).

Les dattes sont regroupées en trois catégories suivant leur consistance, molles, demi molles et sèches.

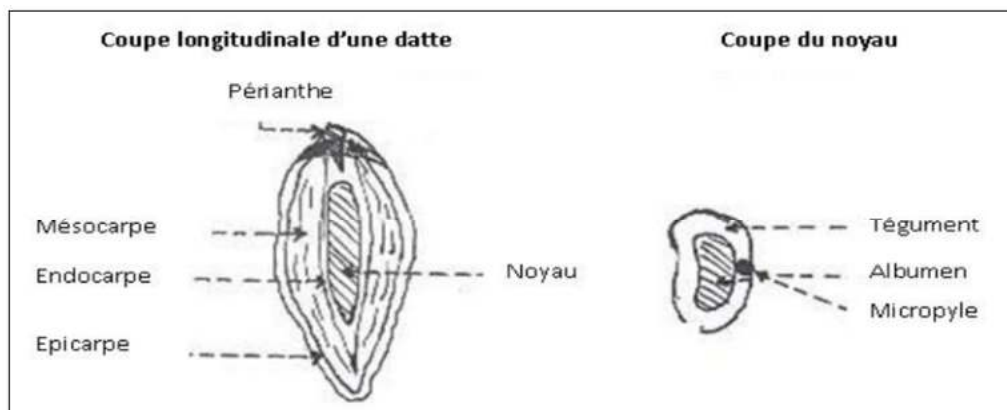


Figure 3. Coupe d'une datte et de son noyau (Belguedj, 2002).

Le tableau 1 permet de distinguer les principales variétés algériennes de différentes consistances avec les différents usages et aires de culture.

Tableau 1. Principales variétés de dattes algériennes, leur consistance et leur aire de culture (Dubost, 1991).

Variété	Consistance	Aire de culture	Usage/commercialisation
Deglet-Nour	Demi molle (T)	Bas Sahara Mzab	Export tout usage
Ghars	Molle (P)	Idem	En pâte (pâtisserie)
Degla-Beïda	Sèche (T)	Oued Rhir	Farine
Mech Degla	Sèche (T)	Ziban	Farine
Tanteboucht	Molle (P)	Ouargla/ Mzab	En pâte
Bent Keballah	Molle (P)	Ouargla/ Mzab	Congelée
Tadala	Molle (N)	Mzab /Laghout	Fruit frais
Timjouhert	Demi molle (N)	Mzab/ Gourara	Fruit frais
Hmira	Demi molle (N)	Touat/ Saoura	Conservation
Tegaza	Demi molle (N)	Tidikelt	Vente/sahel
Tazerzait	Demi molle (N)	Sud- ouest	Vente
Ouarglia	Demi molle (N)	Sud -ouest	Fruit frais
Tim-nacer	Sèche (N)	Sud -ouest	Vente/Sahel
Takerboucht	Demi molle (T)	Touat/Gourara	Vente locale

P : Précoce (Période de récolte en fin Août). N : Normale (Période de récolte en Septembre).
T : Tardive (Période de récolte en Novembre).

2.3. Composition chimique de la datte mure

La datte mure est un fruit très énergétique et de grande valeur alimentaire

2.3.1. Principaux constituants de la pulpe

2.3.1.1. Eau

D'une manière générale, la teneur moyenne en eau des dattes varie de 10 à 40% de poids frais, ceci la classe parmi les aliments à humidité intermédiaire (Estanove, 1990). Dans le tableau 2 figurent les teneurs moyennes en eau des dattes *Deglet Nour* et *Ghars* de différentes régions.

Tableau 2. Teneur en eau (en % du poids frais) des variétés Deglet et Ghars

Variété	Teneur en eau (%) PF ¹	Teneur en eau (%) PF ²	Teneur en eau (%) PF ³
Deglet Nour	22,6	26,67	13,61
Ghars	25,4	22,00	16,42

¹ Variétés de Biskra –Fliache- (Khenfar, 2004).

² Variétés de Biskra -Tolgua-(Daas Amieur, 2009)

³ Variétés d'Ouargla (Mimouni, 2015)

2.3.1.2. Sucres

Les sucres sont les constituants majeurs de la datte. La teneur en sucres varie généralement en fonction de la variété, de la consistance et des stades de maturation (Estanove, 1990).

Au stade Tamar, les dattes constituent une riche source de glucides (Myhara *et al.*, 1999). Représentés essentiellement par le glucose, fructose et saccharose (Estanove, 1990; Acourene et Tama, 1997 ; Al-Shahib et Marshall, 2002 ; Al-Farsi *et al.*, 2007). Ceci n'exclut pas la présence d'autres sucres en faible proportion tels que : le galactose, le xylose et le sorbitol (Favier *et al.*, 1995; Siboukeur, 1997). Selon Belguedj (2002), la teneur en sucres totaux varie entre 70 et 90 % du poids de la matière sèche (Tableau 3). D'autre part Al-Farsi et Lee (2008) ont reporté une valeur allant de 52,6 à 88,6 g/100 g de pulpe pour la majorité des dattes étudiées. Plus de 80% des sucres totaux de la datte sont des monosaccharides (Myhara *et al.*, 1999).

Tableau 3. Teneur en sucres de quelques variétés de dattes (Belguedj, 2002)

Constituant en(%) de la matière sèche	Ghars	Deglet-Nour	Mech-Degla
Sucres totaux	85,28	71,37	80,07
saccharose	04,37	46,11	51,40
Sucres réducteurs	80,68	22,81	20,00

2.3.1.3. Fibres

Les dattes au stade Tamar sont riches en fibres alimentaires totales, environ 12,97 à 13,32% de matière sèche (Sidhu, 2006) ; ou de 3,57 à 10,9 g/100g de matière fraîche (Al-Farsi et Lee, 2008). Les deux fractions de fibres, solubles et insolubles dans l'eau, ont des avantages avérés pour la santé (Sidhu, 2006).

Benchabane (1996) a noté que les constituants pariétaux des variétés algériennes sont, la pectine, la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. La proportion de cellulose diminue chez les variétés de haute qualité comme Deglet-Nour, et peut augmenter jusqu'à 10% chez certaines variétés communes particulièrement farineuses (Munier, 1973). Les pectines de la datte mure sont hautement méthylées (Benchabane *et al.*, 2000) ; elles présentent 4,15 et 3,9 % de matière sèche des dattes *Ghars* et *Deglet Nour* respectivement provenant de la région de Ouargla selon Mimouni (2015). La lignine est un composé important de la paroi de la datte, elle intervient avec les pectines, cellulose et hémicellulose dans la modification de la fermeté de la datte au cours de la maturation (Benchabane *et al.*, 2000). Les teneurs de la datte Deglet Nour en fibres sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4. Teneurs en fibres totales, solubles et insolubles de la datte Deglet Nour (Vayalil, 2012).

Paramètre	Teneur en % de MS
Fibres totales	14,4
Fibres insolubles	9,19
Fibres solubles	5,16

2.3.1.4. Protéines

Al-Shahib et Marshall (2003) ont noté la présence d'une quantité de protéines allant de 2,3 à 5,6 % du poids de la pulpe fraîche de la datte, en signalant que cette teneur est supérieure à celle

des autres fruits. Cependant Al-Farsi et Lee, (2008) ont reporté une teneur de 1,1-2,6 g/100g de pulpe. Avec les variétés *Deglet Nour* et *Ghars* algériennes, Mimouni (2015) a pu obtenir les teneurs de 0,99 et 1,1% du poids frais respectivement. Malgré que le contenu protéique n'est pas élevé dans la datte à pleine maturité, le ratio des acides aminés essentiels de ces protéines est assez bon (Sidhu, 2006). En effet vingt-trois types d'acides aminés ont été trouvés dans les protéines de la datte Al-Shahib et Marshall, 2003 ; Al-Farsi et Lee, 2008 et Baliga *et al.*, 2011) dont les plus abondant sont : acides aspartique et glutamique, alanine, arginine, cystéine, glycine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, proline, sérine, thréonine, tryptophane et tyrosine.

2.3.1.5. Enzymes

La datte renferme beaucoup d'enzymes ; ces derniers jouent un rôle très important dans le processus de conversion qui se déroule durant le développement et la maturation des dattes (Barreveld, 1993). En effet, ces enzymes sont impliquées dans différentes réactions métaboliques survenant durant la survie du fruit et dont l'activité présente un intérêt particulier pour la qualité nutritionnelle et organoleptique de la datte.

Parmi ces enzymes, celles impliquées dans le métabolisme des glucides, notamment :

L'invertase qui est responsable de l'inversion du saccharose en fructose et glucose ; son activité est relative à la fermeté de la datte (Sidhu, 2006). Elle est présente en quantité abondante dans les dattes molles et considérée comme étant principalement responsable des hauts niveaux de sucres réducteurs présents au stade Tamar de maturité (Vandercook *et al.*, 1980 ; Yahia et Kader, 2011).

La polygalacturonase et la pectine méthyl estérase qui convertissent les substances pectiques insolubles de la datte en pectines plus solubles en contribuant au ramollissement du fruit (Hasegawa *et al.*, 1969 ; Barreveld, 1993). En effet, en murissant la protopectine de la datte est convertie en pectine soluble dans l'eau par l'action combinée de ces deux enzymes pectolytiques (Coggins *et al.*, 1968 ; Al-Jasim et Al-Delaimy, 1972). A l'instar de l'invertase, l'activité polygalacturonase est relativement plus élevée dans la datte molle que dans la datte dure (Sidhu, 2006).

La cellulase qui décompose la cellulose en chaînes plus courtes pour augmenter sa solubilité, ce qui diminuera la teneur en fibres. Cette activité enzymatique atteint son apogée aux stades Rutab et Tamar (Hasegawa et Smolensky, 1971).

La polyphénoloxydase étudiée à différents stades de maturation de ce fruit (Benjamin *et al.*, 1979). Le pH et la température optimaux pour son activité sont 6,4 et 37°C, respectivement. Cette enzyme n'a pas d'activité monophénol-oxydase et son activité spécifique varie vis-à-vis des différents diphenols (Sidhu, 2006). Au cours de la maturation de la datte, l'activité de la PPO est la plus élevée au stade Kimri, suivi des stades Khalal et Tamar (Sidhu, 2006). Cette enzyme est également responsable de l'oxydation d'autres composés phénoliques conduisant ainsi au brunissement de la datte. D'autres chercheurs ont confirmé aussi l'implication dans ce phénomène d'une autre enzyme :

La peroxydase, en effet la datte contient des peroxydases hautement actives (Baaziz *et al.*, 1994 ; Majourhat *et al.*, 2002). Cependant la littérature concernant la peroxydase de la datte est très

rare (Khali et Selselet Attou., 2007).

L'activité d'autres enzymes a été mise en évidence dans des cultivars marocains par Bendiab *et al.* (1993) dont la glutamate-oxaloacétate transaminase, l'endopeptidase et d'alcool déshydrogénase.

2.3.1.6. Lipides

La datte contient de très faibles teneurs en matières grasses (de 0,24 à 0,42%) (Ahmed *et al.*, 2014). D'autre part, Hui (2006) ; Saffi (2008) et El Arem (2011) ont reporté des valeurs allant de 0,1 à 0,9% comme teneurs en matière grasse de la datte. Celle-ci est concentrée dans la peau du fruit (Tang *et al.*, 2013).

Un total de 15 acides gras différents ont été identifiés dans les huiles des fruits de dattes (El-Arem *et al.*, 2011). Ces mêmes auteurs ont trouvé une teneur en lipides égale à 0,15% de matière sèche pour la datte Deglet Nour en pleine maturité et dont la nature et les proportions d'acides gras composants sont exprimés dans le tableau 5 ; où l'acide palmitique (C16:0) constitue la majeure partie d'acides gras saturés. Al-Shahib et Marshall (2003) compte parmi ceux saturés : les acides caprique, laurique, myristique, palmitique et stéarique et les acides gras non saturés: palmitoléique, oléique, linoléique et linoléinique.

Tableau 5. Composition de la datte Deglet Nour mure en acides gras (El Arem *et al.*, 2012).

Acides gras	Teneur en % de la matière grasse totale
Acides gras saturés	56,23
Acides gras mono-insaturés	37,04
Acides gras polyinsaturés	8,11
Acide linoléique	4,52
Acide linoléinique	1,90

2.3.1.7. Vitamines

Il a été trouvé que la datte est pauvre en vitamine C (Ahmed *et al.*, 2014) mais riche en complexe vitaminiq ue B, telles que B1, B2, B3, B5, B6 et B9 ainsi qu'en vitamine K (Al- Farsi et Lee 2008). Il est à noter que la B3, B5, B6 et la B9 se trouvent en plus grande concentration dans la datte comparée à d'autres fruits comme les pommes, les oranges et les baies (Siddiq et Greiby, 2014). D'autres auteurs voient que la datte renferme en plus des quantités raisonnables de vitamines A et C (Al-Shahib et Marshall, 2003 ; Al- Farsi et Lee, 2008 ; Vayalil, 2012).

Les teneurs moyennes de la datte en ces vitamines sont exprimées dans le tableau 6. Les teneurs de la datte Deglet Nour en vitamines sont exprimées dans le tableau 7.

2.3.1.8. Minéraux

Il est connu que les dattes mures présentent une assez bonne source de nombreux minéraux (Sidhu, 2006). Les teneurs de la datte Deglet Nour en minéraux au stade Tamar sont exprimées dans le tableau 7. Les teneurs en ces minéraux de plusieurs cultivars sont reportées dans le tableau 8 tandis que les teneurs des deux variétés Deglet Nour et Ghars de la région d'Ouargla en minéraux sont données dans le tableau 9.

Tableau 6. Composition vitaminique moyenne de la datte sèche (Favier *et al.*, 1995).

Vitamines	Teneurs moyennes (mg/100 g)
Acide ascorbique	2
Thiamine (B1)	0,06
Riboflavine (B2)	0,1
Niacine (B3)	1,7
Acide pantothénique(B5)	0,8
Pyridoxine (B6)	0,15
Acide folique(B9)	28

Tableau 7. Teneurs en vitamines et minéraux de la pulpe de Deglet Nour (USDA, 2012) (Site 05).

Vitamines	Teneur	Minéraux / 7.1g PF	Teneur mg/7.1g PF
Acide ascorbic total (mg)	traces	Mg	3
Thiamine (mg)	0,004	Ca	3
Riboflavine (mg)	0,005	P	4
Niacine (mg)	0,09	K	47
Vitamine B6 (mg)	0,012	Fe	0,07
Folate (µg)	1	Zn	0,02
Vitamine A (IU)	1	Na	0 (traces)
Vitamine K (phylloquinone) (µg)	0,2		

Tableau 8. Composition de la datte en minéraux (Al –Farsi et Lee, 2008)

Minéraux (mg/100g)	Plus basse valeur reportée	Plus élevée valeur reportée
Mg	31,0	150
Na	1,00	261
Ca	5,00	206
P	35,0	74
K	345,0	1287
Mn	0,01	0,4
Fe	0,10	1,5
Zn	0,02	0,6
Cu	0,01	0,8
Se	0,24	0,4

Tableau 9. Teneurs des dattes Deglet Nour et Ghars de la région de Ouargla en minéraux (en mg/100g PF) (Mimouni, 2015)

Eléments	Fe	Mg	Ca	Cl	K	Zn	Na
Deglet Nour	46,09	37,1	13,14	222,27	48,27	4,00	49,8
Ghars	41,22	36,07	9,59	187,53	36,20	3,29	50,0

La richesse des variétés de dattes mûres Mech-Degla, Degla-Beida et Frezza en K, Ca, Na, Mg a été confirmée par Chibane *et al.* (2007) ayant noté la présence en outre dans ces fruits de Zn, Fe, Cu et Mn. D'autre part, Al-Farsi *et al.* (2007) ont signalé la présence du sélénium avec un taux qui varie de 0,356 à 0,528 mg/100 g de matière sèche.

2.3.1.9. Composés phénoliques

La datte en pleine maturité est riche en composés phénoliques (Sawaya *et al.*, 1983; Al-Ogaidi et Mutlak, 1986; Modafar *et al.*, 2000; Al baker, 2002; Al-Abid, 2003; Al-Farsi et Lee, 2008; Biglari *et al.*, 2008; Saafi *et al.*, 2009).

la différence de la teneur en composés phénoliques des dattes est due à plusieurs facteurs comme : la variété, les conditions de croissance, la saison de maturité, l'origine géographique, la fertilité du sol, les conditions de stockage et le temps d'exposition au soleil (Al-Farsi *et al.*, 2007).

Dans l'étude menée par Mansouri *et al.* (2005) sur sept variétés de dattes algériennes, une teneur phénolique variant de 2,49 à 8,36 mg/100g du poids frais a été obtenue.

La variété Tantboucht a présenté la valeur la plus élevée suivie par la variété Deglet Nour ; les teneurs des autres variétés étaient plus basses (Tableau 10).

Tableau 10. Teneur en composés phénoliques de variétés de dattes algériennes (Mansouri *et al.*, 2005).

Variété	Teneur en mg/100g du poids frais
Tazizaout	2,49
Ougherouss	2,84
Akerbouche	3,55
Tazarzait	3,91
Tafiziouine	4,59
Deglet Nour	6,73
Tantboucht	8,36

a. Acides phénols

Les études sur la datte ont signalé la présence des acides phénoliques libres, protocatéchique, vanillique, syringique et férulique ainsi que des acides phénols combinés, gallique, protocatéchique, p-hydroxybenzoïque, vanillique, caféique, p-coumarique, férulique et o-coumarique (Al-Farsi *et al.*, 2005). Par ailleurs, Mansouri et collaborateurs (2005) ont analysé le profil phénolique de sept variétés de dattes algériennes et observé qu'elles contiennent des acides p-coumarique, férulique et sinapique, des dérivés d'acide cinnamique et trois isomères différents de l'acide 5-o-caféoyl shikimique. D'après eux cette teneur importante en acides cinnamiques libres n'est pas fréquente dans les autres fruits. D'autre part, il a été reporté que les dattes contiennent les acides protocatéchique, vanillique, syringique et férulique (Crozier *et al.*, 2006).

b. Flavonoïdes

L'analyse qualitative par HPLC dans l'étude menée par Mansouri et collaborateurs (2005) sur les sept variétés de datte algériennes, y compris Deglet Nour, a permis de mettre en évidence la

présence de flavonoïdes tels que : les flavones, flavonols et flavanones glucosides dont l'identification était difficile et la teneur s'est révélée très faible. Hong *et al.* (2006) ont évalué la teneur en flavonoïdes dans la variété Deglet Nour durant le stade de maturité Khalal et identifié treize flavonoïdes glycosides de lutéoline, quercétine et apigénine.

Il a été observé également que les deux formes méthylées et sulfatées de la lutéoline et quercétine sont présentes sous formes de mono-, di- et triglycosylées conjuguées. Tandis que l'apigénine est présente seulement en tant que di-glycoside. Après l'obtention de tel résultat, les dattes sont aujourd'hui comptées comme l'unique fruit contenant des flavonoïdes sulfates (Hong *et al.*, 2006). Chaira *et al.* (2009) ont récemment rapporté que la plus forte teneur en flavonoïdes des dattes tunisiennes est de 54,46 équivalents de quercétine / 100 g de poids frais.

Les anthocyanes ont été détectés dans différents cultivars de datte fraîche. Al-Farsi *et al.* (2005) ont obtenu des teneurs en anthocyanes variant entre 0,87 mg / 100 g et 1,5 mg / 100 g dans l'étude réalisée sur trois variétés de datte. Une corrélation directe a été trouvée entre les niveaux des anthocyanes et la couleur des fruits. Les anthocyanes dans cette étude ont été détectés seulement dans des dattes fraîches, ce qui indique qu'ils peuvent être détruits par le séchage des fruits au soleil.

c. Phytoestrogènes

Bien que les dattes étaient bien connues pour leur haute teneur phénolique, ce n'est que récemment qu'elles ont été révélées pour contenir des phytoestrogènes (Thompson *et al.*, 2006). Certains des phytoestrogènes quantifiés dans des dattes séchées sont donnés dans le tableau 11. Il est très intéressant de noter que, parmi les plusieurs fruits (pomme, orange, bleuet et canneberge) testés pour leurs teneurs en ces composés, la datte occupe le 1^{er} rang avec la teneur la plus élevée (Thompson *et al.*, 2006 ; Vayalil, 2012).

Tableau 11. Les phytoestrogènes identifiés et quantifiés dans la datte (Thompson *et al.*, 2006).

Phytoestrogènes	Teneurs en (ug/100g)	Phytoestrogènes	Teneurs en (ug/100g)
Formononétine	0,4	Pinorésinol	100,2
Daidzeine	1,2	Secoisolaricirésinol	106,2
Génisteine	3,4	Coumestrol	0,8
Glycitéine	0,2	Isoflavones totales	5,1
Matairésinol	0,3	Lignanes totales	323,6
Laricirésinol	116,9	Phytoestrogènes totales	329,5

d. Procyanidines

La présence de procyanidines dans la datte a été rapportée dans la littérature. Les tanins condensés constituent la partie la plus dominante des phénols de la datte et leur concentration est fortement associée au processus de maturation du fruit. La teneur de la datte en proanthocyanidines est élevée durant le stade Khalal et diminue progressivement pour atteindre son minimum durant le stade Rutab (Sawaya *et al.*, 1983 ; Al-Redhaiman, 2004). Ainsi le contenu en tanins condensés décroît avec la maturation de la datte (Myhara *et al.*, 2000). En effet, la teneur en tanins solubles de

la datte diminue avec la maturité, alors que la teneur en tanins insolubles augmente (Al- Ogaidi et Mutlak, 1986).

La datte au stade tamar ne renferme que 0,4% de tanins (Al- Hooti *et al* ; 1997). Ces tanins, qui sont principalement dans la peau, proviennent de la polymérisation des tanins solubles caractérisant les stades d'évolution kimri et khalal ; cela se produit quand le fruit mûrit aux stades Rutab et Tamar (Yahia et Kader, 2011). En effet, Hong *et al.* (2006) se sont parvenus à extraire des procyanidines de la datte Deglet Nour au stade de maturité Khalal et dont l'analyse Chimique suggère que les procyanidines existaient sous forme de polymères de poids moléculaire plus élevé. Les tanins jouent un rôle important non seulement dans la perception de la saveur de la datte mais aussi dans le développement de la couleur du fruit durant la maturation et le stockage (Sidhu, 2006).

2.3.1.10. Caroténoïdes

Des études ont montré que les dattes contiennent des caroténoïdes comme la lutéine, le β -carotène et la néoxanthine (Boudries *et al.*, 2007) (Tableau 12). La datte mure a une teneur faible en caroténoïdes, comparée aux autres fruits, car la lutéine et le β - carotène, qui représentent les caroténoïdes majeurs de la datte, sont dégradés au cours du processus de maturation de ce fruit. Selon la base de données de l'USDA (2007) (Site 06), la teneur en caroténoïdes totaux de la datte Deglet Nour serait de 81g/100 g (6 g de β - carotène et 25 g de lutéine plus zéaxanthine).

Le contenu en β -carotène dans les variétés algériennes Deglet Nour, Tanteboucht et Hamraya, est trouvé égal à 6,4 ; 3,3 et 2.5 ug / 100 g, tandis que celui de la lutéine était de 156, 28 et 33,6 ug / 100 g respectivement (Boudries *et al.*, 2007; Al-Farsi et Lee, 2008).

Tableau 12. Composition chimique des dattes en caroténoïdes (Al-Farsi et Lee, 2008).

Composition	Plus basse valeur reportée	Plus élevée valeur reportée
α -caroténoïdes ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	3	3
β - caroténoïdes ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	2,5	146
Zéaxanthine ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	33	33
β - Zéaxanthine ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	9	9
lutéine ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	28	541
Néoxanthine ($\mu\text{g}/100\text{g}$)	184	381

2.3.1.11. Phytostérols

Kikuchi et Miki (1978) étaient les premiers à avoir isolé le mélange végétal cristallin de stérols de la pulpe de datte et les ont identifiés, il s'agit de campesterol, stigmasterol, β -sitostérol, et isofucostérol.

2.3.2. Principaux constituants du noyau

Comparés à la pulpe, le noyau de dattes contient des quantités plus élevées de protéines, de lipides et de fibres (Al-Farsi et Lee, 2008 ; Habib et Ibrahim, 2009). Les valeurs moyennes déclarées pour ces constituants sont de 6-7% de protéines, 9-10% de matière grasse, 1-2% de minéraux et 20-24% de fibres (Sawaya *et al.*, 1984 ; Al-Hooti *et al.*, 1998). Les principaux

minéraux présents dans les graines de datte sont le potassium, le phosphore, le calcium et magnésium.

2.4. Intérêt médical et nutritionnel de la datte

2.4.1. Intérêt médical

En plus de son usage traditionnel intense pour soulager certains maux, il a été prouvé par maintes études de recherche que la datte possède diverses activités biologiques ; celles-ci sont détaillées ci-dessous (Tableaux 13 et 14).

Tableau 13: Effets biologiques des dattes observés par étude *in vivo* (Baliga et al., 2011)

Propriété pharmacologique	Observations et références
1/ Activité anti-inflammatoire	Augmentation des niveaux des antioxydants plasmatiques (vitamine C, E, A, β -carotène) et diminution des peroxydes lipidiques. Réduction du gonflement et du taux de fibrinogène plasmatique (Doha et Al-Okbi, 2004).
2/ Action sur le tractus gastro-intestinal	Augmentation du temps de transit gastro-intestinal, réduction des ulcères gastriques induits par l'éthanol (Al-Qarawi et al., 2004, 2005).
3/Activité Antihyperlipidémique	Réduction des taux plasmatiques de triglycérides, cholestérol total et LDL (El-Mougy et al., 1991 ; Salah et Al-Maiman, 2005).
4/ Activité hépatoprotéctive	Lutte contre la baisse des marqueurs hépatiques (ALAT, ASAT, phosphatases alcalines et LDH) pendant l'hépatotoxicité induite par le diméthanoate et diminution de la nécrose et de l'inflammation A effet protecteur contre l'hépatotoxicité induite par CCl4 (Al - Qarawi et al., 2004 ; Saafi et al., 2011).
5/ Activité néphroprotective	Prévention des lésions rénales induites par la gentamicine et réduction du taux de créatinine et de l'urée (Al-Qarawi et al., 2008).
6/ Activité anticancéreuse	Régression des sarcomes tumoraux chez la souris (Ishurda et Kennedy, 2005).
7/ Activité immunostimulante	Amélioration de l'immunité à médiation cellulaire et humorale à la fois (Puri et al., 2000)
8/ Activité gonadotrope	Augmentation des taux de FSH, LH, testostérone, œstrogènes ; favorisation de la spermatogenèse et augmentation du nombre de spermatozoïdes (El-Mougy et al., 1991; El Gasim et al., 1995; Ali et al., 1999).

Tableau 14 : Effets biologiques des dattes observés par étude *in vitro* (Baliga *et al.*, 2011)

Propriété pharmacologique	Observations et références
1/ Activité antioxydante	Piégeage des radicaux libres, inhibition de la peroxydation lipidique et de l'oxydation des protéines (Vayalil, 2002; Al-Farsi <i>et al.</i> , 2005; Mansouri <i>et al.</i> , 2005; Abdul et Allaith, 2008; Chaira <i>et al.</i> , 2009).
2/ Activité antimutagène	Inhibition de la mutagenicité induite par le benzo (a) pyrène dans le test d'Ames (Vayalil, 2002).
3/ Activité anti-hémolytique	Inhibition de l'activité hémolytique de streptolysine O (Abuharfeil <i>et al.</i> , 1999).
4/ Activité antivirale	Empêchement de l'activité lytique du phage <i>Pseudomonas</i> ATCC 14209-B1 sur <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Jassim et Naji, 2008)
5/ Activité antifongique	Activité antifongique contre la <i>Candida albicans</i> (Shraideh <i>et al.</i> , 1998).

2.4.2. Intérêt nutritionnel

Des sous-produits variés peuvent être obtenus de la datte (Barreveld, 1993 ; Al-Abid *et al.*, 2007a, b). En effet, les dattes sont traditionnellement utilisées pour préparer une grande gamme de produits tels que les jus de dattes concentrés (Robb et d'autres) et les pâtes pour différents usages (boulangerie et confiserie et préparations pâtissière) en plus de leur consommation directe. Les dattes sont commercialisées entières, dénoyautées, coupées en petits morceaux ou macérées (Yahia et Kader, 2011). Récemment, la demande pour les dattes de table a diminué; versus un regain d'intérêt envers les nouvelles formulations alimentaires de la datte (Ahmed et Ramaswamy, 2006). En effet, les industries de transformation des dattes fabriquent une variété de produits tels que les sirops, miels, confitures, vinaigre, alcool, pectines et fibres alimentaires (Photos 2) (El-Shaarawy *et al.*, 1989; Ramadan *et al.*, 1995; Al-Hooti *et al.*, 2002 ; Ahmed et Ramaswamy, 2006).

2.4.2.1. Pâte de datte

Les dattes molles ou ramollies par humidification donnent lieu à la production de pâte de dattes comprimée en couches en utilisant la force mécanique (Yahia et Kader, 2011). La pâte de datte est utilisée en biscuiterie et en pâtisserie (Espiard, 2002).

2.4.2.2. Farine de datte

Elle est préparée à partir de dattes sèches ou susceptibles de le devenir après dessiccation (Yahia et Kader, 2011). Riche en sucres, cette farine est utilisée en biscuiterie, pâtisserie, aliments pour enfants et yaourts (Benamara *et al.*, 2004).



Photos 2. Quelques sous-produits de dattes, de haut au bas et de gauche à droite : jus, sirop, pâte, cornichons, barres, beurre et confiture (Tang *et al.*, 2013).

2.4.2.3. Sirops, crèmes et confitures de dattes

Cette gamme de produits est basée sur l'extraction des sucres par diffusion de ces derniers et des autres composants solubles de la datte (Espiard, 2002). En général le sirop constitue le principal sous-produit de dattes ; il peut être produit à partir de dattes très molles ou de dattes de mauvaise qualité après hydratation et macération (Yahia et Kader, 2011). Il est utilisé dans la préparation de certaines denrées alimentaires telles que les confitures, marmelades, boissons concentrées, chocolats, crèmes glacées, confiseries et miel (El- Sharnouby *et al.*, 2009).

2.4.2.4. Aliments de bétail

Les dattes de rebuts et leurs noyaux constituent des sous-produits intéressants pour l'alimentation du bétail. La farine des noyaux de dattes peut être incorporée avec un taux de 10 % dans l'alimentation de la volaille sans influencer négativement leurs performances (Gualtieri et Rappaccini, 1990).

2.4.2.5. Valorisation des déchets de dattes

Les palmiers dattiers produisent une grande quantité de déchets agricoles, selon une estimation, chaque dattier produit environ 20 kg de feuilles sèches par an. Les autres déchets tels que les noyaux représentent en moyenne 10% des dattes (Barreveld, 1993). Il y a plusieurs études sur la valorisation et l'utilisation totale des déchets de dattes employant la technologie de bioprocédés pour éviter tout risque nocif pour l'environnement. La technologie de fermentation microbienne est l'une des techniques utilisées. Les déchets des dattes sont considérés comme matière première potentielle pour dériver des produits de valeur employant la fermentation (Chandrasekaran et Bahkali, 2013). Les produits dérivés des sous-produits de fruits de datte ou de déchets par emploi de différents micro-organismes sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 15. Les produits dérivés des sous-produits des fruits et de déchets de dattes par fermentation microbienne (Chandrasekaran et Bahkali, 2013).

Produit	Substrat	Micro-organismes	Référence
Biopolymères -Gomme de xanthane - Caroténoïdes	Jus du dattier Sirop des dattes	<i>Xanthomonas campestris</i> <i>Lactobacillus plantarum</i> QS3	(Salah <i>et al.</i> , 2010) (Elsanhoty <i>et al.</i> 2012)
Biocarburants - Hydrogène	Datte pourrie	<i>Clostridium acetobutylicum</i> ATCC824	(Abd-Alla <i>et al.</i> , 2011)
-Ethanol	Extrait de la datte	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> ATCC 36858	(Gupta et Kushwaha, 2011)
-Butanol	Datte pourrie	<i>Bacillus subtilis</i> DSM 4451	(Abd-Alla et El Enany, 2012)
Acides organiques - Acide citrique - Acide lactique	Extrait de la datte Jus de la datte	<i>Aspergillus niger</i> ATCC 6275 <i>Lactobacillus delbrucki</i>	(Mehyar <i>et al.</i> , 2005) (Yadav <i>et al.</i> , 2011)
Acide aminé -Acide glutamique	Déchets des dattes	<i>Corynebacterium glutamicum</i> CECT 690	(Tavakkoli <i>et al.</i> , 2012)
Probiotique -Lactobacille	Poudre des dattes	<i>Lactobacillus casei</i> ATCC 334	(Shahrawy <i>et al.</i> , 2012)
Antibiotiques -Bléomycine	Sirop des dattes	<i>Streptomyces mobaraensis</i>	(Radwan <i>et al.</i> , 2010)
Enzymes -Pectinase -Endopectinase -Alpha amylase	Sirop des dattes Grignons et déchets des dattes	<i>Bacillus subtilis</i> EFRL 01 <i>Aspergillus niger</i> PC5 <i>Candida guilliermondii</i> CGL-A10	(Qureshi <i>et al.</i> , 2012) (Bari <i>et al.</i> , 2010) (Acourene et Ammouche, 2012)

2.5. Altération et détérioration de la datte post-récolte

Des quantités importantes de dattes sont perdues chaque année dans le monde arabe ; en effet Besbes *et al.* (2009) ont donné un taux de 30% de la production totale de dattes tunisiennes jetées chaque année. Cela est dû principalement à l'altération de la qualité de ces fruits conduisant à une apparence non attractive du consommateur.

La perte de la qualité des fruits de dattes est la résultante de la détérioration pathologique et physiologique se produisant avec l'augmentation de la teneur en humidité et de la température de stockage (Yahia, 2005). Ce qui provoque des modifications entraînant l'altération des fruits, se résumant en une modification de texture et de structure ainsi qu'une modification de la saveur (Jeantet *et al.*, 2006).

2.5.1. Critères de l'acceptabilité de la datte par le consommateur

Yahia (2005) a signalé que la peau des dattes de bonne qualité doit être lisse, avec peu de crispations, brune dorée, orange, verte ou brune foncée selon la variété; à texture douce et sirupeuse, ou ferme et sèche selon le cultivar. Dowson (1982), a donné de sa part d'autres critères pour la datte fraîche de haute qualité en évoquant la nécessité de couleur et taille adéquates, chair épaisse ; exempt de saleté, de sable et de particules de feuilles et aussi des dommages causés par les oiseaux, les insectes, les rongeurs, les champignons et les moisissures en plus de la formation de cristaux de sucre (Tableau 16).

En effet, les niveaux de la qualité des dattes sont basés sur l'uniformité de la couleur / taille et l'absence de défauts ou dommages causés par la manipulation après la récolte et le stockage des fruits ; comme la décoloration de la chair, la rupture de la peau, la déformation des fruits, les cicatrices, les coups de soleil, la pourriture, le brunissement, la fermentation, la maturation inadéquate, les dommages mécaniques, la saleté ou toute autre matière étrangère.

Le Codex international utilise ces critères avec d'autres dans le classement des dattes aux grades A, B, C (Yahia, 2005).

Tableau 16. Définition des attributs de la datte de bonne qualité selon les préférences des consommateurs (Ismail *et al.*, 2001).

Attribut	Définition de la qualité
Couleur	Les dattes de bonne qualité ont tendance à être de couleur brune claire.
Apparence	Les dattes préférables sont homogènes en forme.
Sucrosité	Les dattes préférées ont tendance à être modérément sucrées.
Taille des fruits	Les fruits d'une datte de bonne qualité ont tendance à être modérément grands.
Masticabilité	Une consistance de légèrement à modérément moelleuse.
Epaisseur de la pulpe	L'épaisseur de la pulpe d'un fruit de datte de bonne qualité doit se classer de modérément épaisse à épaisse.
Solubilité	Une datte de bonne qualité se classe entre modérément soluble à très soluble après consommation.
Elasticité	Les dattes de bonne préférence tendent à se classer de légèrement élastiques à modérément élastiques.
Texture et sensation à la bouche	Une datte de bonne qualité tend à avoir une lisse texture et sensation en bouche.
Cisaillement de bouche	Une légère force est nécessaire pour tondre ou arracher une datte de bonne qualité.
Taille du noyau	Le noyau d'une datte de bonne qualité tend à être de taille moyenne, à savoir, ni grand ni petit.

2.5.2. Facteurs impliqués dans la détérioration post récolte de la datte

L'altération de la datte est généralement gérée par des phénomènes physiologiques se poursuivant au sein de la datte après récolte ainsi que par son traitement et sa manipulation ; ce qui conduit le plus souvent à l'installation du phénomène de brunissement au niveau de ce fruit à coté de certaines d'autres formes d'altération.

2.5.2.1. Respiration

La respiration du tissu végétal après la récolte constitue le facteur limitant de la conservation des fruits à l'état frais (Cheftel et cheftel, 1978). Le degré de périssabilité des fruits est généralement proportionnel à leur taux de respiration. Le taux de respiration de la datte au stade "Khalal" est inférieur à 25 ml / kg/ h ; par contre aux stades "Rutab" et "Tamar", la datte maintenue à 20°C présente un taux de respiration inférieur à 5 ml / kg/ h (Kader et Hussein, 2009). Une augmentation des taux de respiration des fruits a été observée avec une teneur plus élevée en humidité (Yahia, 2005, 2011). En effet, La datte Deglet Nour avec 20-22% d'humidité produit 0,4 mg kg⁻¹ h⁻¹ de CO₂ à 24 °C, et 2 mg kg⁻¹ h⁻¹ de CO₂ lorsque son humidité est aux environs de 27% (Rygg, 1975).

2.5.2.2. Production d'éthylène

L'éthylène est un produit naturel du métabolisme végétal, son taux de production augmente, lors de la récolte, avec l'élévation de la température (> 30°C) et le stress hydrique (Barrett *et al.*, 2005) ainsi que les blessures (Côme et Corbineau, 1999). Il a de multiples effets nocifs même à très faible dose (Côme et Corbineau, 1999). Le taux de production d'éthylène par la datte au stade "Khalal" est inférieur à 0,5 µL/kg/h et il est inférieur à 0,1 µL/kg/h. aux stades "Rutab" et "Tamar" pour des fruits maintenus à 20 °C (Kader et Hussein, 2009).

2.5.2.3. Transpiration

La perte d'eau est la cause principale de la détérioration des fruits, car elle conduit à la perte de la masse et du poids du fruit ainsi qu'à la modification de son apparence, l'altération de sa texture et la perte de sa qualité nutritionnelle (Barrett *et al.*, 2005).

2.5.2.4. Désordres physiques et physiologiques

Les désordres physiques et physiologiques suivants se produisent au sein des fruits lors de la manipulation et du stockage :

a. Endommagement par le froid

Le stockage des fruits à une température inférieure à celle de leur congélation aboutit à une destruction de leurs tissus (Barrett *et al.*, 2005). En effet, il a été reporté par Mikki et Al-Taisan (1993) et Hui *et al.* (2006) que la congélation des dattes au stade Rutab pendant six mois à -18±2°C a conduit à une augmentation de leur teneur en eau, en sucres réducteurs et en pH en l'occurrence d'une diminution de la teneur en tanins. Par conséquent, le développement d'un goût sucré et la diminution de l'astringence ont été marqués et les dattes sont devenues moues et brunies (Goneum *et al.*, 1993).

b. Brunissement

Les brunissements enzymatique et non enzymatique se produisent tous deux au sein des dattes ; ils augmentent avec une importante teneur en humidité et des températures élevées. Le

brunissement enzymatique peut être inhibé à de faibles concentrations d'oxygène et de basses températures (Kader et Hussein, 2009); Généralement, les réactions de brunissement oxydatif se produisent plus rapidement à des températures élevées que les températures basses (Sidhu, 2006). L'assombrissement des dattes est un autre type de détérioration qui produit un léger arrière-goût. Le noircissement de dattes congelées se produit légèrement au cours du stockage mais rapidement au cours de la période de décongélation (Mutlak et Mann 1984). Ce même auteur a spécifié trois types de réactions conduisant à l'assombrissement des dattes, le brunissement enzymatique oxydatif de composés phénoliques simples, le brunissement par oxydation non enzymatique des tanins et le brunissement non enzymatique, non oxydatif de sucres réducteurs (Thompson, 2010).

c. Séparation de la peau

La séparation de la peau du fruit de datte se caractérise par une peau d'apparence sèche, dure, cassante et séparée de la chair (Kader et Hussein, 2009).

d. Formation des taches de sucre

Ce trouble résulte de la cristallisation des sucres en dessous de la peau et dans la chair de cultivars de dattes molles riches en glucose et fructose. Cela modifie la texture et l'apparence des fruits (Kader et Hussein, 2009).

2.5.2.5. Destruction pathologique

Malgré que la forte teneur en sucre de la datte au stade Tamar permet de réduire la croissance de certains micro-organismes, la détérioration microbienne peut s'installer au sein des dattes molles, si elles ne sont pas conservées à la bonne température (Rygg, 1975; Khatri, 1997). L'altération microbienne peut être provoquée beaucoup plus par des champignons et à un degré moindre par les moisissures et les bactéries.

2.5.2.6. Procédures de traitement post récolte

Les différentes opérations de manipulation des dattes conduisent à leur altération. Les dattes sont gaspillées pendant le tri, le stockage et les opérations de conditionnement (Cheikh-Rouhou *et al.*, 2006). Les dattes molles sont soumises au séchage à une température de 54°C pour diminuer leur taux d'humidité (Dowson 1962 ; Kader et Hussein, 2009), d'autres part Barreveld (1993) a reporté que des températures de 55-65°C sont généralement utilisés dans ce traitement. Belarbi *et al.* (2001a, b) ont étudié les effets de séchage à des températures variant de 60 à 80°C sur deux critères déterminants de la qualité de la datte Deglet Nour, la couleur claire et la texture douce ; ils ont présumé que le traitement thermique doit être effectué dans des conditions contrôlées pour éviter le brunissement non enzymatique tout en étant suffisant pour inactiver les enzymes impliquées dans le brunissement enzymatique.

Chapitre 2.
Le brunissement
Enzymatique des
Fruits

Chapitre 2. Le brunissement Enzymatique des Fruits

1. Définition

On appelle ' brunissement enzymatique ' la transformation enzymatique dans ses premières étapes et en présence d'oxygène de composés phénoliques en polymères colorés le plus souvent bruns ou noirs en passant par des teintes intermédiaires de rose ou rouge. Les pigments sombres formés sont désignés par le terme général de mélanines (Yoruk et Marshall, 2003; Jeantet *et al.*, 2006) ; par opposition au brunissement de Maillard qui est de type non enzymatique (Walker et Ferrar, 1998).

2. Déclenchement, conséquences et catalyse du brunissement enzymatique

Le brunissement enzymatique peut avoir lieu lors de la croissance des fruits, c'est l'exemple de la datte (de Man, 1999; Hui, 2004 ; Eidhin *et al.*, 2005 ; Mann, 2008) ou durant l'endommagement mécanique lors du traitement et des manipulations post récolte (de Man, 1999; Mann, 2008), également lors de la conservation et des transformations technologiques (parage, découpage, broyage pour la préparation des jus, déshydratation, conservation au froid et congélation) (Jeantet *et al.*, 2006). La formation des pigments bruns n'est cependant pas toujours indésirable ; un certain degré de brunissement est en effet recherché lors de la maturation des fruits secs (dattes, pruneaux et raisins) (Jeantet *et al.*, 2006).

Ce phénomène se traduit par l'oxydation et la polymérisation des composés phénoliques comme résultat de l'activité enzymatique de phénoloxydases (PPO) et/ou de peroxydases (POD) pouvant conduire à la formation de pigments bruns.

Après tout traitement endommageant les cellules, comme la blessure suite à la conservation au froid conduisant à des dommages de la membrane des organites tels que les vacuoles, les composés phénoliques vacuolaires peuvent alors se mettre en contact avec la PPO ; ce qui conduit à leur oxydation rapide (de Rigal, 2001) et alternativement, les cellules peuvent réagir au froid par dépôt de composés phénoliques dans les parois cellulaires, qui vont alors réagir avec la PPO déjà présente dans les apoplastes (Chazarra *et al.*, 2001 ; Nguyen *et al.*, 2003).

Ce phénomène est accompagné de la perte des qualités nutritionnelles, fonctionnelles et organoleptiques, se traduisant par l'assombrissement, la diminution de la fermeté et l'altération de la saveur (Zawistowsky *et al.*, 1991). Toutefois, le brunissement dans d'autres cas comme dans le traitement du thé noir (Eskin 1990; Ullah, 1991), le café (Amorim et Melo, 1991) et le cacao (Lee *et al.*, 1991; Lopez et Dimick 1991) est bénéfique dans une certaine mesure car il améliore la qualité des boissons à travers les produits savoureux formés (Yoruk et Marshall, 2003).

Le brunissement enzymatique s'installe au sein de la datte après sa récolte et augmente avec des teneurs élevées en eau de ce fruit ; cela constitue l'un des facteurs de désordre physiologique de la datte conduisant à une altération de sa qualité et par conséquent une diminution de sa valeur marchande (Yahia et Kader, 2011). Sachant que les phénols oxydés lors du brunissement sont responsables en partie de la saveur et de la couleur des fruits et légumes (Shahidi et Naczki, 2004). La formation de pigments jaunes et bruns au sein des fruits au cours des réactions de brunissement enzymatique est commandée par les niveaux de phénols, le taux d'activité de la PPO et la présence

d'oxygène (Spanos et Wrolstad, 1992 ; Barrett *et al.*, 2005). Il existe de nombreux substrats naturels, mono, di-ou polyphénoliques du brunissement enzymatique (Vamos-Vigyazo, 1981 ; Cheftel et Cheftel, 1984 ; Jeantet *et al.*, 2006) dont les plus importants sont les dérivés du pyrocathécol, les dérivés de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique, les flavonoïdes, les tanins et les lignines (Jeantet *et al.*, 2006).

Si les *o*-diphénols sont impliqués dans le brunissement enzymatique de pratiquement tous les fruits et légumes, la nature et la teneur des phénols endogènes non substrats est aussi déterminante dans l'intensité du brunissement. En effet, ces derniers peuvent participer aux réactions secondaires et plus précisément aux réactions d'oxydation couplées avec les quinones (Richard-Forget, 1997).

Le rôle possible de la PPO en tant que promoteur de l'activité de la POD est suggéré du fait que le peroxyde d'hydrogène est généré au cours de la réaction d'oxydation des composés phénoliques catalysée par la PPO (Tomas-Barberan et Espin, 2001). En effet, il a été confirmé que la PPO et la POD sont largement détectées dans de nombreux fruits et légumes et sont étroitement liées au changement enzymatique de couleur avec la perte conséquente des propriétés sensorielles et de la qualité nutritionnelle (Robinson, 1991; Duarte *et al.*, 2002).

Le produit initial de l'oxydation est habituellement le O-quinone qui est hautement instable, ce dernier subit une polymérisation pour donner des pigments bruns de haut poids moléculaire (Barrett *et al.*, 2005).

3. Polyphénoloxydase (PPO)

La principale enzyme responsable de la réaction de brunissement est la polyphénoloxydase (Mayer et Harel, 1979 ; Tomas-Barberan et Espin, 2001) ; même si un effet de synergie possible entre la polyphénoloxydase et la peroxydase a été suggéré (Tomas-Barberan et Espin, 2001). La PPO est éventuellement l'enzyme la plus étudiée dans les fruits et légumes (Chakraverty *et al.*, 2003). En effet, La liste des espèces végétales dont la PPO a été décrite et caractérisée, au moins en partie, se développe de façon constante (Mayer, 2006). Le rôle de la PPO dans les phénomènes de brunissement est si bien documenté, qu'il n'a pas besoin d'être examiné plus (de Rigal, 2001).

3.1. Nomenclature, distribution et localisation subcellulaire

Une pléthore d'études montre que la polyphénoloxydase également connue sous le nom de tyrosinase, polyphénolase, phénolase, catéchol-oxydase, crésolase, catécholase ou ortho-diphénol oxydase est largement trouvée dans la nature (Vamos-Vigyazo, 1981 ; Whitaker 1994, 1996).

La PPO existe sous deux formes avec, comme critère de différenciation, la spécificité vis-à-vis des substrats phénoliques (Walker et Ferrar, 1998) :

La laccase (EC 1.10.3.2) qui catalyse l'oxydation aussi bien d'*o*- que de *p*-diphénols. Elle est sécrétée en abondance par les champignons au cours de leur croissance (Perry *et al.*, 1993). Cette activité est absente chez les fruits et légumes, bien qu'elle ait été détectée chez la pêche (Harel *et al.*, 1970) et l'abricot (Dijkstra et Walker, 1991), vraisemblablement suite à une contamination bactérienne.

L'autre forme est la catécholoxydase à laquelle on attribue deux types d'activités. L'activité crésolasique, renommée monophénol monoxygénase (EC 1.14.18.1) qui est capable d'hydroxyler les monophénols en *o*-diphénols ; ces derniers sont alors oxydés en *o*-quinones. L'activité

crésolasique est connue depuis longtemps chez les champignons (Varoquaux, 1978), mais a été détectée plus récemment chez la pomme de terre, la pêche, le raisin, la pomme, l'avocat et la salade (Nicolas *et al.*, 1994 ; Espin *et al.*, 1995 et 1997). Le deuxième type d'activité est l'activité catécholase (EC 1.10.3.1) qui catalyse l'oxydation d'*o*-diphénols en *o*-quinones. Mathew et Parpia (1971) ainsi que Nicolas *et al.* (1994) donnent à l'activité catécholasique le rôle prédominant dans le brunissement enzymatique des fruits et légumes.

Par ailleurs, c'est le terme de polyphénoloxydase qui est généralement utilisé. Les différents noms qui ont été associés à la PPO reflètent la capacité de cette enzyme à utiliser de nombreux composés phénoliques comme substrats différents (Matsui *et al.*, 2007).

Les enzymes PPO sont généralement présentes dans la plupart des tissus végétaux (Vamos-Vigyazo 1981; Zawistowski *et al.*, 1991; Sherman *et al.*, 1991, 1995 ; Fraignier *et al.*, 1995; Haruta *et al.*, 1999). Ces enzymes ont souvent été trouvées localisées dans les chloroplastes, où elles sont associées aux membranes internes des thylakoïdes. On les trouve aussi dans le cytoplasme et dans les vésicules se trouvant entre la membrane plasmique et la paroi cellulaire (Obukowicz et Kennedy, 1981). De nombreux auteurs notent la présence de formes solubles de PPO qui semblent augmenter avec le taux de maturité du fruit (Marques *et al.*, 1995).

3.2. Structure, propriétés et rôle physiologique

La PPO est une oxydoréductase contenant du cuivre comme groupement prosthétique (Kavrayan et Aydemir, 2001 ; Mayer, 2006). La structure du site actif de l'enzyme, dans laquelle le cuivre est lié par six ou sept résidus histidine et un résidu cystéine unique est hautement conservée (Mayer, 2006). Les masses moléculaires apparentes des polyphénoloxydases sont comprises entre 12 et 400 kDa (Zawistowski *et al.*, 1991). Ces différences de taille s'expliquent notamment par l'existence de formes polymériques de l'enzyme ; actuellement, les auteurs s'accordent pour donner une masse moléculaire apparente voisine de 40 à 45 kDa pour les formes monomériques (de Rigal, 2001). Malgré que certains auteurs comme Lourenço *et al.* (1990) et Yemencioğlu *et al.* (1997) trouvent que la PPO n'est pas très résistante à la chaleur ; d'autres à l'instar de Robinson (1991), Weng *et al.* (1991) et Barrett *et al.* (2005) voient qu'elle est thermiquement résistante.

Le pH optimum de la PPO varie considérablement avec la plante source, mais est généralement dans la plage de 4,0 à 8,0 (Yoruk et Marshall, 2003). Les pH et températures optimaux ainsi que la constante d'affinité apparente des polyphénoloxydases de différentes plantes vis-à-vis de certains substrats sont présentés dans le tableau 17.

En dehors de son rôle majeur dans le brunissement ; une bonne partie est encore inconnue sur la fonction physiologique de la PPO dans les plantes (Mayer, 2006). Par ailleurs, il a été reporté que l'un des principaux objectifs de la recherche sur la PPO a été son rôle potentiel dans le mécanisme de défense chez les plantes. En effet, sa synthèse avec la peroxydase constitue un moyen d'induction de défense contre les pathogènes (J'Aiti *et al.*, 2009).

L'activité de la PPO a également un impact sur la saveur et l'arôme des produits horticoles, puisque les composés phénoliques jouent un rôle dans le goût amer, sucré, piquant, ou astringent des fruits, de légumes et d'épices (Tomas-Barberan et Espin, 2001).

Tableau 17. Caractéristiques des polyphénoloxydases de certaines plantes

Plante	Substrat	Km (mM)	Température optimale (°C)	pH optimal	Référence
Pomme	Catéchol	34	15	7,0	Oktay <i>et al.</i> (1995).
	4-méthyl catéchol	3,1			
Artichaut	Catéchol	10,2	25	6,0	Aydemir <i>et al.</i> (2004)
	4-méthyl catéchol	12,4			
Banane	Catéchol	8,5	30	7,0	Unal (2007)
Brocoli	Catéchol	12,3	-	5,7	Gawlik-Dziki <i>et al.</i> (2007)
	4-méthyl catéchol	21	-		
Raisin	Acide chlorogénique	3,2	25	5,0	Rapeanu <i>et al.</i> (2006)
	Catéchine	4,3	-		
Mangue	Catéchol	6,3	30	7,0	Wang <i>et al.</i> (2007)
Fraise	Catéchol	5,9	25	5,0	Dalmadi <i>et al.</i> (2006)
Vanille	Catéchol	85	37	3.4	Waliszewski <i>et al.</i> (2009)
	4-méthyl catéchol	10,6	37	3.0	
Datte Deglet Nour	4-méthyl catéchol	-	35	6,4	Daas Amiour et Hambaba(2016)
Datte Ghars	4-méthyl catéchol	-	40	7,2	Daas Amiour et Hambaba(2016)

3.3. Mécanisme réactionnel et substrats

En présence d'oxygène, la PPO catalyse l'hydroxylation de monophénols aux *o*-diphénols (l'activité crésolase) et l'oxydation des *o*-diphénols à leurs *o*-quinones correspondants (l'activité catécholase) (Robb, 1984) (Figure. 4). Les PPOs sont capables d'insérer de l'oxygène dans une position ortho à un groupe hydroxyle existant dans un cycle aromatique, suivi de l'oxydation du diphénol à la quinone correspondante ; l'oxygène moléculaire est utilisé dans la réaction (Mayer, 2006) (Figure 5).

Le brunissement enzymatique s'observe chez les végétaux riches en composés phénoliques (Cheftel et Cheftel, 1984 ; Jeantet *et al.*, 2006). En effet, le degré de brunissement dépend de la teneur en phénols et de l'activité de la polyphénoloxydase (PPO) (Zawistowsky *et al.*, 1991). Le brunissement post-récolte des fruits est principalement dû à la rupture des anthocyanes et l'oxydation des composés phénoliques (Whitaker, 1994, 1995; Sanchez-Ferrer *et al.*, 1995). Une large gamme de composés phénoliques est oxydée par la PPO (Sapers, 1993). Les différents substrats de la PPO mis en évidence dans plusieurs travaux de recherche sur le brunissement enzymatique sont donnés dans le tableau 18 et la figure 6.

3.3.1. Acides phénols

Les acides phénoliques constituent l'une des principales classes de métabolites secondaires ; ces composés contiennent un cycle benzène hydroxylé avec un ou plusieurs groupes carboxyle attachés directement ou indirectement à ce cycle (Baliga *et al.*, 2011). Ils sont représentés par les acides hydroxybenzoïques et les acides cinnamiques (Vermerris et Nicholson, 2006) (Figure 7 a et b).

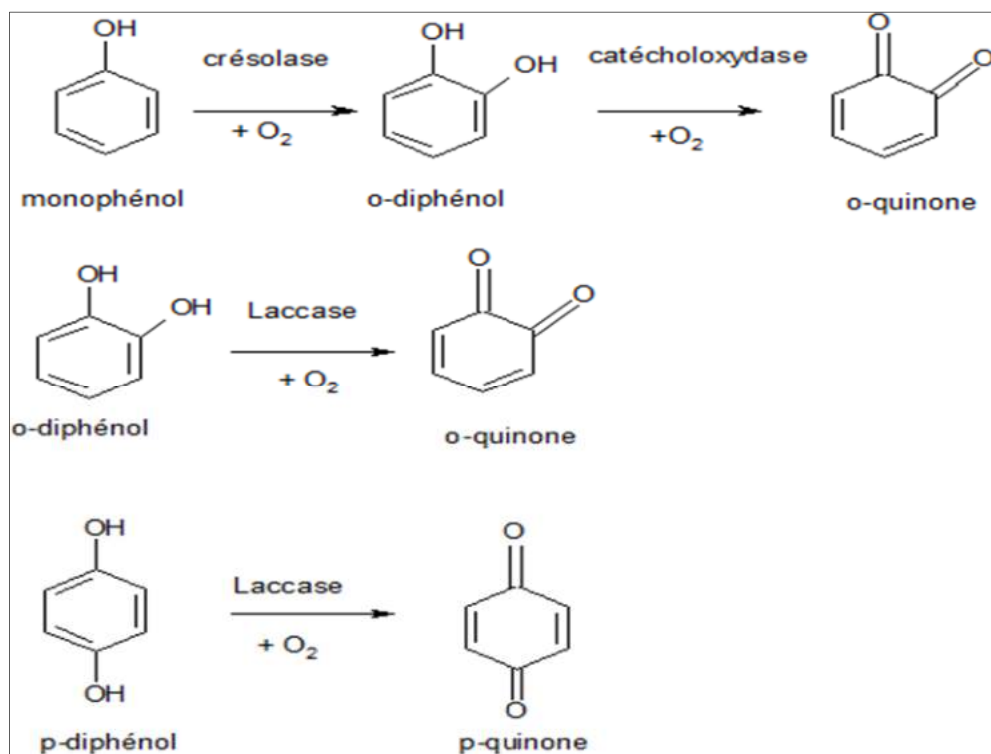


Figure 4. Les réactions catalysées par la polyphénoloxydase (de Rigal, 2001).

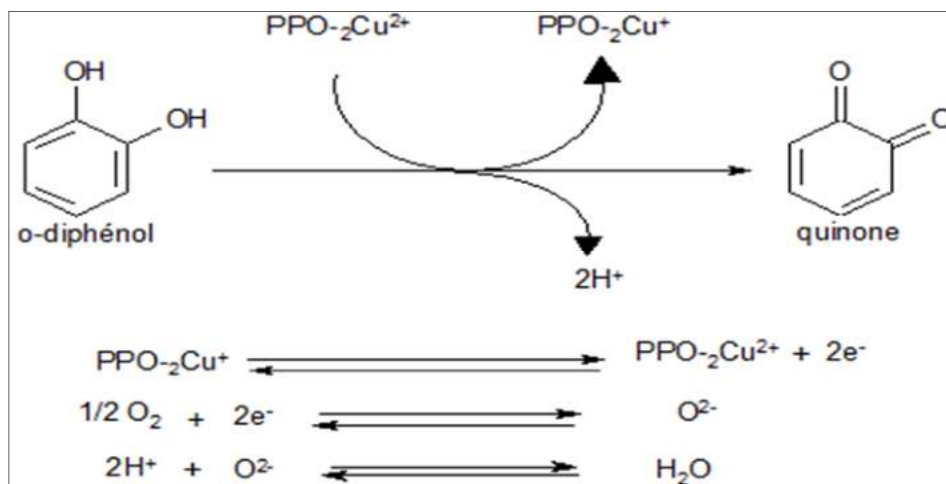


Figure 5. Mécanisme d'action des polyphénoloxydases (Marshall *et al.*, 2000).

L'acide chlorogénique (ester de l'acide caféique) apparaît largement dans les fruits, il est le substrat principal impliqué dans le brunissement enzymatique des tissus des fruits coupés ou endommagés suite à une exposition à l'air (Barrett *et al.*, 2005). L'acide chlorogénique et la catéchine sont des substrats ayant une plus grande affinité pour la PPO (Janovitz-Klapp *et al.*, 1990; Oszmianski et Lee, 1990). D'autre part, Marshall *et al.* (2000) ont signalé que dans la banane le principal substrat de la PPO est la dopamine ; tandis que dans la datte c'est l'acide 3-O-cafféoylshikimic (l'acide dactyliférique) (Paliyath *et al.*, 2008).

Les acides hydroxycinnamiques sont aussi des substrats des polyphénoloxydases (Grotewold, 2006).

En effet, la laccase transforme les acides caféique et *p*-coumarique du raisin blanc en quinones (Salgues *et al.*, 1986; Ribéreau-Gayon *et al.*, 2006).

3.3.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont comptés parmi les plus abondants groupes de produits naturels présents dans les plantes (de la Rosa *et al.*, 2010). Ce sont des composés phénoliques à 15 atomes de carbone ayant une structure de base de C6-C3-C6 et c'est sur l'arrangement du C3 qu'on se base généralement pour faire la classification des flavonoïdes (Vermerris et Nicholson, 2006).

Les flavonoïdes constituent les substrats les plus fréquents du brunissement enzymatique (de Man, 1999).

Tableau 18 : Substrats des polyphénoloxydases de quelques fruits (Marshall *et al.*, 2000).

Source	Substrats phénoliques
Pomme	Acide chlorogénique, catéchol, catéchine, acide caféique, 3,4-dihydroxyphenylalanine (DOPA), acide 3,4-dihydroxy benzoïque, 4-méthyle catéchol, leucocyanidine, acide <i>p</i> -coumarique, flavonols glycosides.
Abricot	Acide isochlorogénique, acide caféique, 4-méthyle catéchol, acide chlorogénique, catéchine, épicatechine, pyrogallol, catéchol, flavonols, acide <i>p</i> -coumarique et dérivés.
Avocat	4-méthyle catéchol, dopamine, pyrogallol, catéchol, acide chlorogénique, acide caféique, DOPA.
Banane	Dopamine, leuco-delphinidine, leucocyanidine.
Cacao	Catéchines, leucoanthocyanidines, anthocyanines, complexes tanins.
Raisin	Catéchine, acide chlorogénique, catéchol, acide caféique, DOPA, tanins, flavonols, acide protocatéchuique, résorcinol, hydroquinone, phénol.
Mangue	Dopamine, 4-méthyle catéchol, acide caféique, catéchol, catéchine, acide chlorogénique, tyrosine, DOPA, <i>p</i> -crésol.
Pêche	Acide chlorogénique, pyrogallol, 4-méthyle catéchol, catéchol, acide caféique, acide gallique, catéchine, Dopamine.
Poire	Acide chlorogénique catéchol, catéchine, acide caféique, DOPA, acide 3,4-dihydroxy-benzoïque, <i>p</i> -crésol.
Prune	Acide chlorogénique, catéchine, acide caféique, catéchol, DOPA.

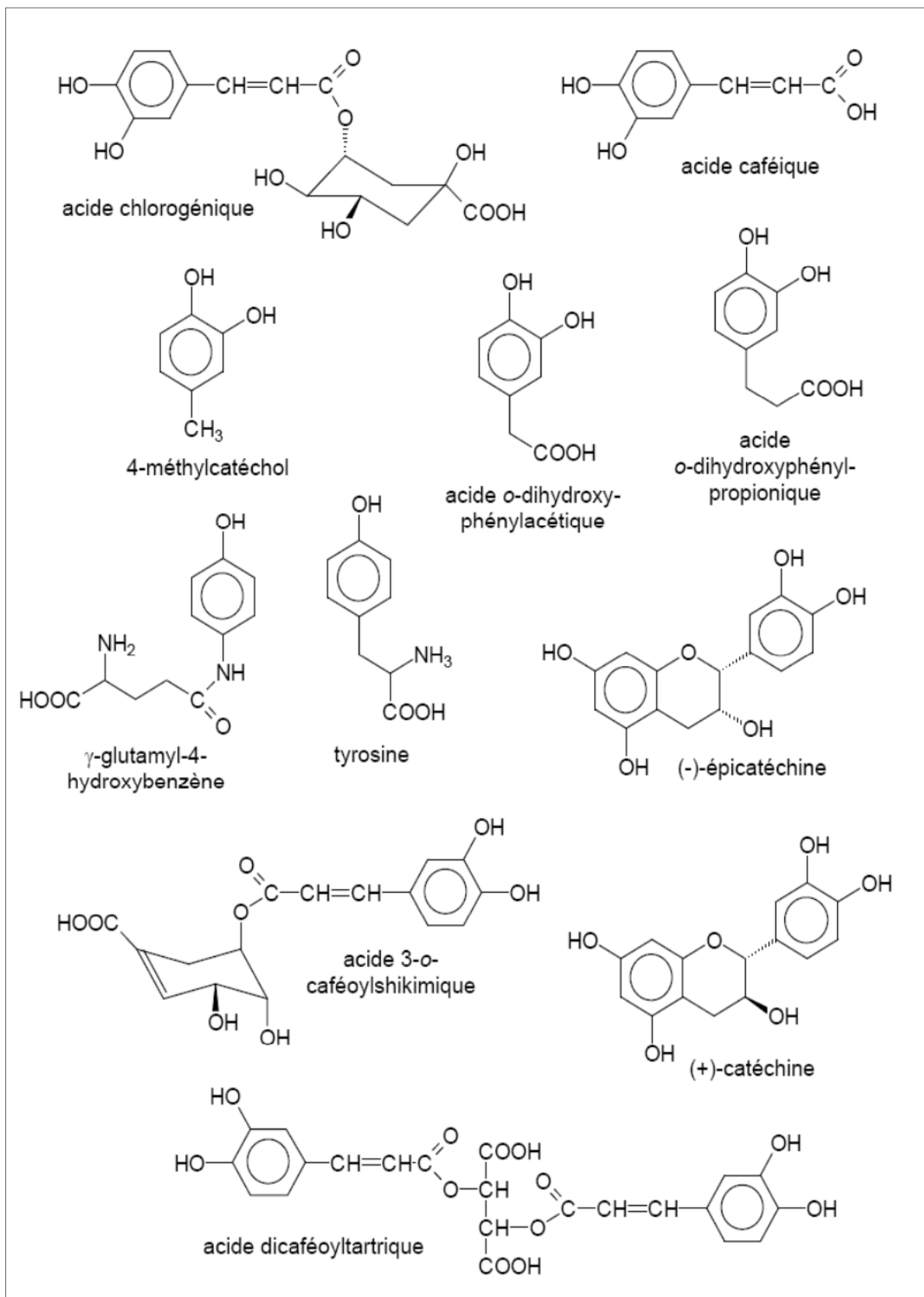


Figure 6. Structure de quelques composés phénoliques substrats de la polyphénoloxydase (de Rigal, 2001).

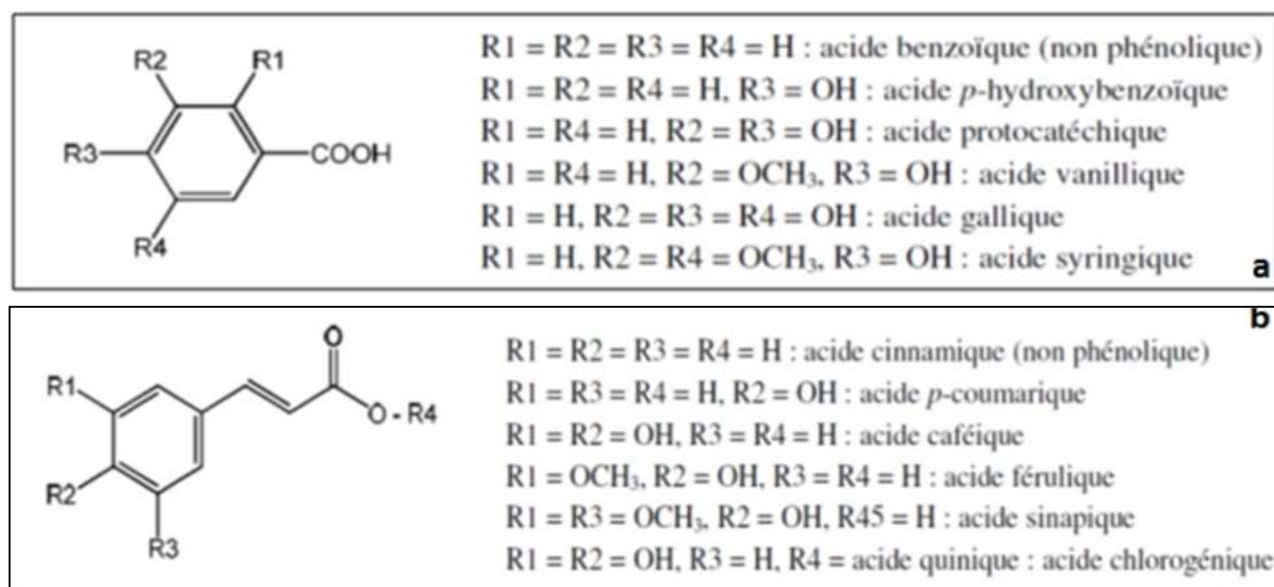


Figure 7. Structures chimiques d'acides hydroxybenzoïques (a) et hydroxycinnamiques (b) (Chanforan, 2010).

Parmi les flavonoïdes, les substrats majeurs impliqués dans le brunissement enzymatique, sont les flavonols, flavanols et anthocyanidines (Marshall *et al.*, 2000) et dont les plus connues structures sont représentées dans les figures 8 (a et b) et 9.

Il a été reporté que la catéchine, l'épicatéchine sont des substrats naturels communs des PPOs de différents fruits (Macheix *et al.*, 1990).

En effet, l'épicatéchine a été identifiée comme substrat endogène des PPOs du litchi et de longanes (Sun *et al.*, 2006; Shi *et al.*, 2008). D'autres flavonoïdes tels que l'ériodictyol, la myricétine et fisétine peuvent également être oxydés par la PPO (Jiménez *et al.*, 1998; Jiménez et Garcia-Carmona, 1999; Jiménez-Atienzar *et al.*, 2005).

Les anthocyanes constituent une importante classe de flavonoïdes. Ce sont des pigments présents dans la sève des plantes. Ils sont responsables de la couleur rouge, bleue et violette de plusieurs fruits et légumes (de Man, 1999 ; Vermerris et Nicholson, 2006).

Les anthocyanes ne sont pas de bons substrats de la PPO en raison de leur structure. En effet, on pense que leur fragment glucidique qui est habituellement une ou deux molécules de glucose, galactose ou rhamnose (de Man, 1999) peut causer un encombrement stérique contre l'attaque de la PPO et dont l'élimination de ce fragment par l'action de la β glucosidase conduit à la formation d'anthocyanidines oxydables par la PPO (Zhang *et al.*, 2005). Ils sont mêmes considérés comme les principaux flavonoïdes responsables du brunissement enzymatique des végétaux (Jeantet *et al.*, (2006). Par conséquent, la présence de la PPO active dans les tissus végétaux peut causer d'importante perte d'anthocyanidines et de production de quinones aboutissant à la perte de la couleur, de la saveur et de la valeur nutritive (WescheiEbeling et Montgomery, 1990; Kader *et al.*, 1998).

Par ailleurs, les anthocyanes peuvent réagir avec les produits d'oxydation hautement réactives, *o*-quinones, pour donner des produits bruns (Zhang *et al.*, 2005).

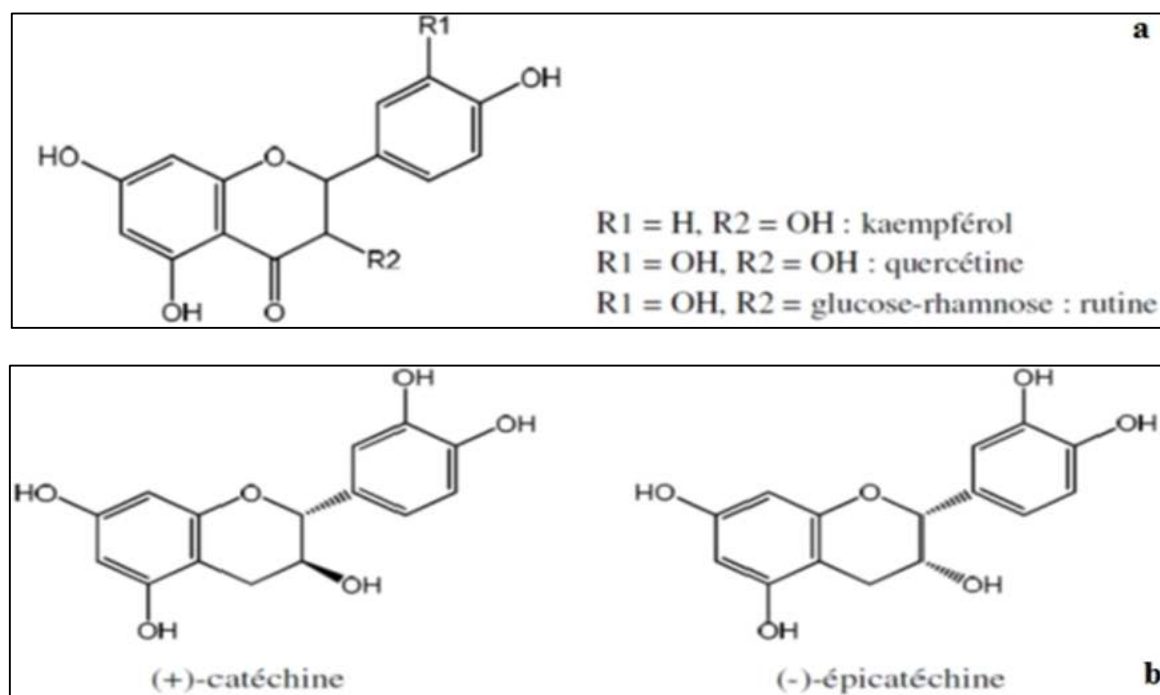
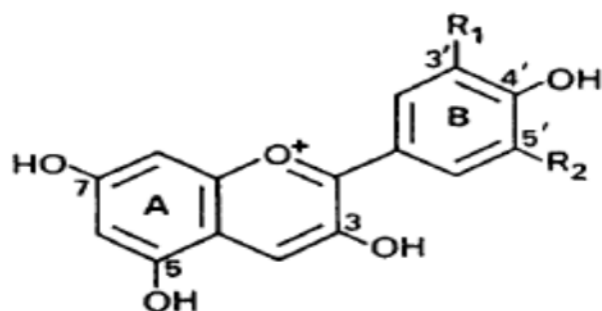


Figure 8. Structures chimiques des principaux flavonols (a) et flavanols (b) (Chanforan, 2010).



R ₁ =H	R ₂ =H	Pélagonidine
R ₁ =OH	R ₂ =H	Cyanidine
R ₁ =OH	R ₂ =OH	Delphinidine
R ₁ =OCH ₃	R ₂ =H	Péonidine
R ₁ =OCH ₃	R ₂ =OH	Pétunidine
R ₁ =OCH ₃	R ₂ =OCH ₃	Malvidine

Figure 9. Structures chimiques des anthocyanidines des fruits (de Man, 1999).

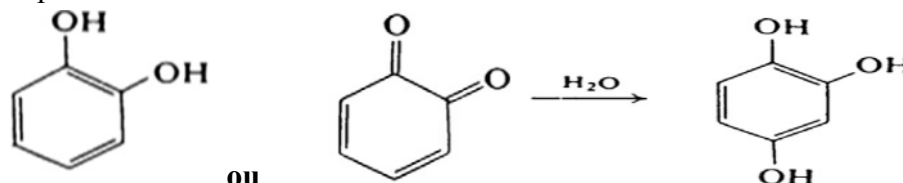
4. Produits de la réaction du brunissement

Le brunissement enzymatique conduit à la formation d'*o*-quinones de couleur jaune, très instables et qui réagissent soit avec des polymères de haut poids moléculaire ou forment un complexe macromoléculaire avec des acides aminés et des protéines (Macheix *et al.*, 1990 ; Sapers, 1993; Whitaker, 1994, 1995; Sanchez-Ferrer *et al.*, 1995 ; Ramaswamy and Riahi, 2003). La polymérisation non-enzymatique de ces composés intermédiaires donne lieu à des pigments désignés par le terme général de mélanines. Leur teinte finale est brune ou noire, mais il existe des

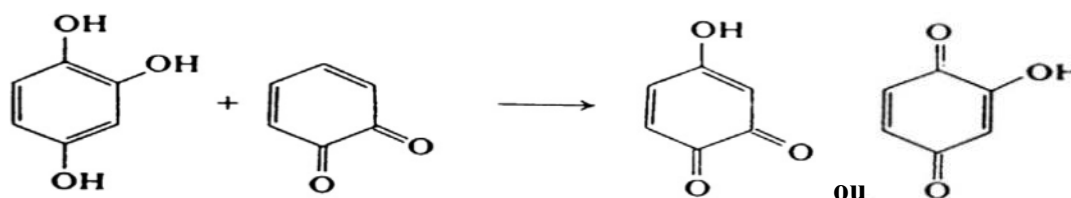
intermédiaires de couleurs diverses : rose, rouge, bleu-noire (Cheftel et Cheftel, 1984 ; Tomas-Barberan et Espin, 2001; Ramaswamy et Riahi, 2003).

La formation des quinones est à la fois dépendante de l'enzyme et de l'oxygène ; une fois que cela a eu lieu, les réactions suivantes se produisent spontanément et ne dépendent plus de la présence de la PPO ou de l'oxygène. Joslyn et Ponting (1951) ont résumé ces réactions chimiques qui peuvent expliquer la formation des mélanines brunes (Mesquita et Queiroz, 2013) :

La première réaction est considérée comme une hydroxylation secondaire de l'*o*-quinone ou d'un excès de l'*o*-diphénol :



Les composés résultant (trihydroxybenzènes triphénoliques) réagissent avec les *o*-quinones pour former les hydroxyquinones :



Les hydroxyquinones subissent une polymérisation et sont progressivement convertis en polymères rouges bruns, et enfin aux mélanines brunes qui apparaissent sur le site de la blessure du tissu végétal (Matheis and Whitaker 1984; Whitaker, 1994).

5. Peroxydases (POD)

Les peroxydases firent partie des premières enzymes étudiées après observation de l'apparition d'une coloration intense en présence de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), de gaïacol et d'extraits animaux ou végétaux (Delannoy *et al.*, 2004). En effet, l'implication de la POD dans le brunissement est rapporté par de nombreux chercheurs (Lopez-Serrano et Ros-Barcelo, 1996; Richard-Forget et Gaillard, 1997; Chisari *et al.*, 2007).

5.1. Nomenclature, distribution et localisation subcellulaire

L'activité de la peroxydase a été identifiée chez les plantes (cytochrome c peroxydase, l'ascorbate peroxydase, ...), les micro-organismes et les animaux (myélo-peroxydase, la lacto-peroxydase, la thyroïdo-peroxydase, ...) (Welinder, 1992 ; Ghoul et Chebil, 2012).

Les plantes contiennent les peroxydases des classes I et III, selon la classification proposée par Welinder (1992).

Les nombreuses isoenzymes des peroxydases des plantes peuvent différer par leurs propriétés physico-chimiques, leur structure et leur fonction.

Le nombre et la concentration des peroxydases des plantes varient en fonction du type tissulaire, de l'âge de la plante, des conditions de stress abiotique et biotique et, dans ce dernier cas, de l'agent pathogène impliqué dans l'interaction avec l'hôte (Martinez, 1997).

Les peroxydases ont été détectées dans tous les organes de la plante et à différents stades de développement (Kushad *et al.*, 1999; Fraignier *et al.*, 2000; Hiraga *et al.*, 2000; Welinder *et al.*, 2002 ; Lopez-Molina *et al.*, 2003).

Au niveau cellulaire, les peroxydases de la classe III sont majoritairement présentes dans les parois (Blee *et al.*, 2001 ; Takabe *et al.*, 2001). En effet, elles sont sécrétées dans la paroi ou dans le milieu environnant (Delannoy *et al.*, 2004).

Outre la paroi et l'apoplasme qui semblent être des lieux privilégiés de leur action, les peroxydases de type I se localisent dans la vacuole (Theilade *et al.*, 1993 ; Andrews *et al.*, 2002 ; Passardi *et al.*, 2004) et les mitochondries (Sukalovic et Vuletic, 2003).

5.2. Structure, propriétés et rôle physiologique des peroxydases des plantes

Les peroxydases des plantes sont des enzymes à hème et contiennent le groupe de la protoporphyrine ferrique IX avec un atome de fer dans leur site actif (Ghoul et Chebil, 2012). En effet, Le site actif de ces enzymes est centré autour de l'hème qui est une protoporphyrine IX associée à un atome de fer ferrique, Fe^{3+} (Delannoy *et al.*, 2004).

Les peroxydases de la classe III sont des protéines d'environ 300-330 acides aminés qui présentent une grande variabilité dans leur séquence, tant pour celles appartenant à des espèces différentes que pour des peroxydases de la même plante (Delannoy *et al.*, 2004).

La POD des fruits et légumes est généralement considérée comme l'enzyme végétale la plus stable à la chaleur, elle est thermiquement résistante (Robinson, 1991; Weng *et al.*, 1991 ; Barrett *et al.*, 2005) est considérée par conséquent comme un indicateur biologique de traitement thermique (Robinson, 1991; Weng *et al.*, 1991).

En plus de leur rôle dans le brunissement, confirmé par plusieurs chercheurs ayant signalé la concordance de l'augmentation de l'activité de la peroxydase et le développement du brunissement enzymatique pendant le stockage (Underhill et Critchley, 1995; Zhang *et al.*, 2005), les peroxydases sont connues pour jouer plusieurs rôles dans la plante. En effet, elles sont comptées parmi les enzymes impliquées dans la résistance des plantes contre l'invasion des organismes étrangers dans de nombreuses espèces végétales comme l'orge (Kerby et Somerville, 1992; Craig *et al.*, 1995), le tabac (Montalbini *et al.*, 1995), le blé (Holden et Rorhinger, 1985), le riz (Young *et al.*, 1995), ou encore la tomate (Reuveni et Ferrera, 1985). Elles interviennent notamment dans la modification de la paroi cellulaire résultant d'une augmentation de la synthèse de lignine (Polle *et al.*, 1994) et/ou de subérine (Espelie *et al.*, 1986) ; car elles sont soupçonnées d'être impliquées dans la catalyse de la polymérisation de phénylpropanoïdes, précurseurs de lignine (Abeles et Biles, 1991).

Les peroxydases ont également un rôle dans la détoxification d'un excès d'espèces actives de l'oxygène produites notamment en réponse à un agent pathogène dans le cas de la résistance (Goldberg *et al.*, 1986 ; Delannoy *et al.*, 2004).

5.3. Mécanisme réactionnel et substrats

La peroxydase (POD; EC 1.11.1.7) est impliquée dans le brunissement enzymatique des fruits et légumes depuis que les diphénols peuvent fonctionner comme substrats réducteurs dans sa réaction (Robinson, 1991; Nicolas *et al.*, 1994 ; Chisari *et al.*, 2007).

La peroxydase est un groupe d'enzymes qui catalyse des réactions d'oxydation en réduisant le peroxyde d'hydrogène à de l'eau tout en oxydant une variété de substrats (Robinson, 1991) ; ces derniers sont des donneurs d'hydrogène, comme les composés phénoliques, les nitrites, l'acide ascorbique et les amines (Paliyath *et al.*, 2008) en plus des précurseurs de lignine, de l'auxine ou certains d'autres métabolites secondaires (Higara, 2001). La réduction de l' H_2O_2 est réalisée donc en prenant des électrons à partir de ces diverses molécules donneuses (Higara, 2001).

C'est à cause de son rôle de catalyse de l'oxydation des composés phénoliques, en présence du peroxyde d'hydrogène conduisant à la formation de produits de dégradation bruns, que la POD est censée être impliquée dans la détérioration de la couleur et de la saveur des produits horticoles (Terefe *et al.*, 2014). Les enzymes n'agissent pas au sein de fruits intacts en raison de la séparation physique de l'enzyme et du substrat. Les dommages mécaniques, la pourriture, la sénescence conduisent à la désorganisation cellulaire et initient la décomposition (de Man, 1999).

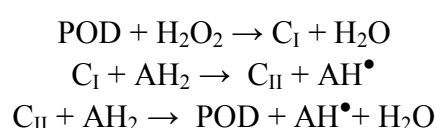
La réaction de peroxydation implique plus précisément :

- Un substrat oxydant ou des molécules contenant un groupement peroxyde ; les peroxydes typiques utilisés en combinaison avec les peroxydases sont le peroxyde d'hydrogène, en général et dans certains cas, le peroxyde d'éthyle ou de méthyle et le benzyle peroxyde (Delannoy *et al.*, 2004 ; Ghoul et Chebil, 2012).
- Deux substrats réducteurs différents, ou non, qui sont pour la plupart de petits composés aromatiques tels que des phénols, des hydroquinones, des amines aromatiques, ce qui constitue un groupe très vaste de molécules (Delannoy *et al.*, 2004).

Cela autorise une très grande combinaison de substrats et ce d'autant plus facilement que la spécificité des peroxydases est en général faible (Delannoy *et al.*, 2004).

La POD oxyde en outre les phénols en utilisant les quinones comme substrat (Richard-Forget et Gauillard, 1997). Ainsi, l'activité de la POD dépend de la PPO pour son rôle dans le brunissement enzymatique.

En raison de leur très grande diversité de substrats, il est difficile, voire impossible, de dégager une réaction typique des peroxydases végétales. Néanmoins, elles partagent toutes un schéma réactionnel similaire, en trois étapes, qui transforme le substrat en sa forme radicalaire extrêmement réactive (Delannoy *et al.*, 2004) :



où POD est l'enzyme dans son état de repos avec un hème ferrique dans un état d'oxydation +3, C_I ou composé I est le premier intermédiaire de réaction avec un état d'oxydation +5, C_{II} ou composé II est le deuxième intermédiaire de réaction avec un état d'oxydation +4 et AH_2 et AH^\bullet sont respectivement les formes réduite et radicalaire du substrat (Delannoy *et al.*, 2004).

6. Contrôle et prévention du brunissement enzymatique

En raison des effets néfastes de la réaction de brunissement se produisant au sein d'importants produits alimentaires, son contrôle est une grande priorité pour les producteurs. Les techniques actuelles de contrôle peuvent utiliser les deux méthodes physiques et chimiques,

souvent en synergie (Almeida et Nogueira, 1995). Les procédures de contrôle optimales diffèrent avec la différence des produits alimentaires ; notant que si peu de mesures universelles de contrôle sont disponibles (Walker et Ferrar, 1998).

En général, les méthodes physiques d'inhibition du brunissement enzymatique impliquent l'élimination ou la diminution de l'activité de l'enzyme ou de la réactivité des substrats au sein des fruits et légumes. Le traitement physique majeur utilisé dans l'industrie est la chaleur, par l'intermédiaire du processus de pasteurisation, qui inactive les enzymes et stoppe le brunissement enzymatique (de Rigal, 2001). Malheureusement, les traitements thermiques ne sont pas appropriés dans de nombreux systèmes, car les phénolases des fruits sont relativement stables à la chaleur et les traitements thermiques peuvent altérer les qualités organoleptiques du produit, comme la texture et la couleur (de Rigal, 2001).

La réfrigération peut être utilisée comme alternative pour limiter temporairement le brunissement enzymatique (Barrett *et al.*, 2005).

Les procédés chimiques de contrôle de brunissement enzymatique impliquent toujours l'addition d'inhibiteurs de brunissement ; ceci est souvent accompli en trempant le produit alimentaire (habituellement les fruits) dans une solution de l'inhibiteur.

Une variété d'adsorbants a été utilisée pour éliminer les réactants impliqués dans le brunissement enzymatique. En effet, l'argile bentonite a des qualités d'adsorption protéique et a longtemps été utilisé pour réduire l'activité phénolase (Macheix *et al.*, 1991). Des adsorbants tels que la gélatine, le charbon actif et la polyvinyl-polypyrrolidone ont été utilisés pour éliminer les substrats phénoliques solubles à partir de jus et d'extraits végétaux (Macheix *et al.*, 1991 ; Barrett *et al.*, 2005).

Un autre procédé d'élimination des substrats de phénolase est de limiter la disponibilité d'O₂, parce qu'il est un substrat requis. Ceci peut être obtenu par emballage sous vide ou dans une atmosphère enrichi en CO₂ ou en N₂ (Macheix *et al.*, 1990 ; de Rigal, 2001).

Chapitre 3.
Généralités sur
l'Irradiation des
Aliments

Chapitre 3. Généralités sur l'irradiation des aliments

1. La technologie de l'irradiation des aliments

L'irradiation est un traitement physique dans lequel les aliments sont exposés à une dose définie de rayonnement ionisant et est utilisé sur plus de 60 types d'aliments dans plus de 40 pays à travers le monde (FSAI, 2005) (Site 07) (Figure 10). L'irradiation des aliments peut contrôler les infestations par les insectes, réduire le nombre de pathogènes et retarder ou éliminer les processus biologiques naturels tels que la maturation et la germination des fruits et légumes frais (Fan, 2013).

Le produit irradié est frais et beaucoup plus sécuritaire (Eustice et Bruhn, 2013) (Photo 7). Cela est pratiquement le cas des produits exposés aux rayonnements ionisants, dont l'usage permet l'inhibition de la germination, le contrôle des insectes et le retard de la maturation de certains fruits et légumes (Lee et Kader, 2000).

De nombreuses évolutions intéressantes et passionnantes ont eu lieu dans le domaine de l'irradiation des aliments ces dernières années. Par conséquent, de nombreux pays ont donné leur approbation pour l'irradiation de nombreux produits alimentaires (ICGFI, 2005 ; Sommers et Fan, 2006).

L'intérêt pour le processus d'irradiation augmente en raison de la persistance des pertes élevées des denrées alimentaires par infestation et contamination microbienne ce qui conduit à la détérioration et la perte de la valeur marchande (ICGFI, 1999 ; Fan, 2013 ; Eustice et Bruhn, 2013). En effet, les applications traditionnelles, telles que la désinfection des épices et l'inhibition de la germination, continuent d'être les principales utilisations commerciales de l'irradiation avec une acceptation mondiale à grande échelle (Fan, 2013). L'usage de l'irradiation des produits stockés est approuvé aujourd'hui dans au moins 33 pays.

L'Algérie, étant un des pays optant pour une clearance d'irradiation des céréales et leurs produits de mouture dans le but d'une désinfestation antiparasitaire à une dose maximale de 10 KGy (Hallman, 2013).

Trois types de rayonnements ionisants sont autorisés à être utilisés dans des applications d'irradiation des aliments les rayons gamma, les rayons X et les électrons accélérés (AIEA, 1982 ; Kader, 1986 ; Codex Alimentarius Commission, 2003).

Les aliments irradiés doivent être étiquetés avec le symbole de "Radura" et la phrase "Traité par irradiation" (Fox, 2002), voir figure 11 et photo 7.

Généralement plus les consommateurs savent sur cette technologie, plus ils sont disposés à l'adopter ; alors que des informations négatives sur l'irradiation réduisent la volonté d'achat (Eustice et Bruhn, 2013).



- Pays appliquant l'irradiation des aliments pour des fins commerciales
- Pays n'appliquant pas encore l'irradiation des aliments.

Figure 10. Utilisation mondiale d'irradiation des aliments (ICGFI, 1999).



Figure 11. Le symbole international "Radura" indiquant les aliments irradiés (Barrett *et al.*, 2005; Arvanitoyannis, 2010).



Photo 3. Fraise irradiée en vente aux grandes surfaces (ICGFI, 1999).

2. Technique de l'irradiation aux rayons gamma

Les rayons gamma sont des photons de haute énergie produits par la désintégration d'isotopes radioactifs. Les isotopes d'importance dans le traitement des aliments par irradiation sont le cobalt-60 et, moins fréquemment, le césium-137. Le rayonnement gamma est généré lorsque le cobalt-60 (demi-vie de 5,27 ans) se désintègre ; il produit un premier isotope instable intermédiaire de nickel-60 avec émission d'un rayonnement bêta et se désintègre encore en stable nickel 60 avec émission de deux rayons gamma d'énergies moyennes de 1,17 et 1,33 MeV, respectivement. La désintégration de césium 137 (demi-vie de 30,17 ans) au baryum 137 produit des rayons gamma d'une énergie de 0,66 MeV (Barrett *et al.*, 2005).

L'irradiation des aliments au rayonnement gamma est une technologie efficace et sans danger (Arvanitoyannis, 2010). En effet, les rayonnements gamma sont les plus préférés parce qu'ils peuvent pénétrer plus profondément que les faisceaux d'électrons (Barrett *et al.*, 2005 ; Riganakos, 2010). Sachant que les rayons X sont capables de faire rayonner des articles plus épais, mais le processus est extrêmement

coûteux et énergivores (Riganakos, 2010). Par ailleurs l'irradiation aux rayons gamma assure une uniformité substantielle de la dose dans le produit alimentaire (Riganakos, 2010).

La dose d'irradiation est la quantité d'énergie de rayonnement absorbée par l'aliment qui passe dans le champ de rayonnement au cours du traitement. Elle est mesurée de nos jours en utilisant une unité appelé le Gray (Gy). Les autorités internationales de la santé et de la sécurité ont endossé une dose d'irradiation pour tous les aliments allant jusqu'à 10 000 Gy (10 KGy). Une évaluation effectuée par un groupe international d'experts nommé par la FAO, l'AIEA et L'OMS a montré qu'une bonne pratique d'irradiation à dose supérieure à 10 KGy est également sans danger pour la consommation (ICGFI, 1999).

Le schéma de l'irradiateur gamma des aliments est présenté dans la figure 12.

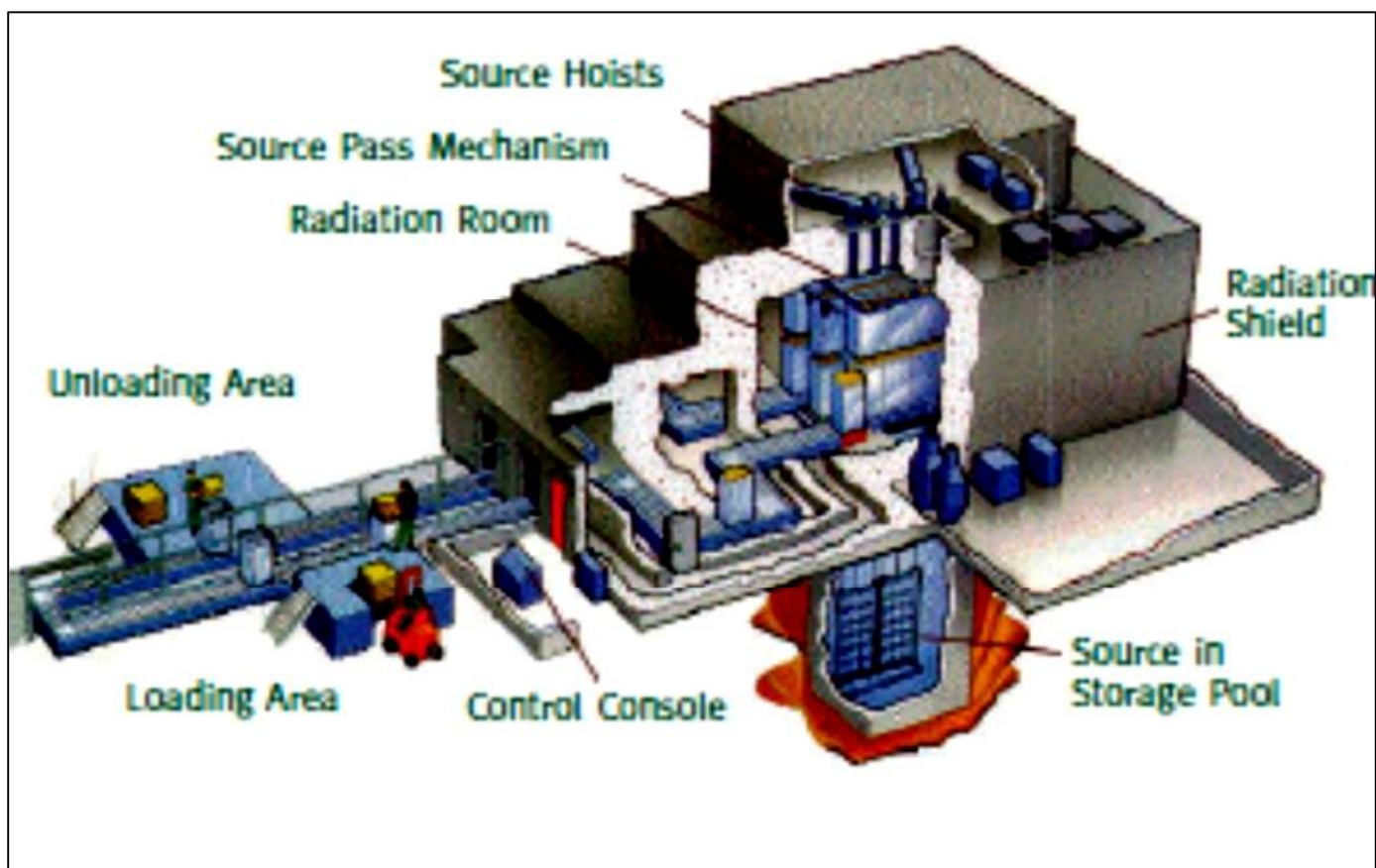


Figure 12. L'irradiateur Gamma pour le traitement des aliments (ICGFI, 1999).

*Étude
Expérimentale*

Chapitre 1.
Matériel et
Méthodes

Chapitre 1. Matériel et méthodes

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans la présente étude consiste en deux variétés de dattes algériennes répandues par leur qualité gustative, leur disponibilité sur le marché ainsi que leur large consommation à l'échelle nationale et internationale. Ces variétés sont la datte *Deglet Nour* qui détient le monopole des marchés mondiaux et la datte *Ghars*, la fameuse vedette de la pâtisserie algérienne.

L'identification des deux variétés a été réalisée par des spécialistes agronomes de l'université de Batna 1.

La culture du palmier dattier des deux variétés utilisées dans la présente étude est essentiellement localisée dans les wilayas sahariennes indiquées dans le tableau 19. Chaque groupe de cultivars est en fait adapté à une ou plusieurs régions, selon les conditions climatiques (Belguedj, 2002).

La production locale de ces deux variétés varie d'une wilaya à l'autre ; en effet, la wilaya de Biskra se distingue par une production importante de datte demi- molle, *Deglet Nour* (1.729.650 Qx/an). La wilaya de Ouargla est connue pour sa production importante de datte molle de la variété *Ghars* (435.946 Qx/an).

Les estimations de la production de ces deux variétés, à travers le territoire algérien, ont été formulées dans un rapport annuel par la direction du service agricole de la commune de Ouargla et dont les statistiques figurent dans le tableau 20.

Les propriétés générales des deux variétés, partant de leur morphologie jusqu'à leur composition détaillée, conservation et intérêts ont été décrits dans le chapitre I.

Les deux fruits utilisés dans le présent travail ont été procurés d'une palmeraie de Sidi Okba, wilaya de Biskra, la variété *Ghars* en septembre 2012 et la variété *Deglet Nour* vers fin octobre 2012.

Les fruits ont été récoltés à pleine maturité, étant parvenus au dernier stade de développement et de maturation de la datte 'Tamr'.

Tous les fruits utilisés présentaient une homogénéité de maturité définie par l'aspect et la couleur de l'épicarpe et ainsi une homogénéité de consistance.

Les caractéristiques majeures des deux variétés en question sont récapitulées dans le tableau 21.

Les fruits des deux cultivars utilisés dans la présente étude, *Deglet Nour* et *Ghars* ainsi que leurs palmiers sont représentés dans les pages qui suivent par les photos 3, 4, 5 et 6.

Tableau 19. Nombre de palmiers dattiers Deglet Nour et Ghars dans les différentes wilayas d'Algérie (Anonyme, 2002)

Wilaya	Deglet-Nour	Ghars
Laghouat	8470	7650
Adrar	0	0
Batna	700	3900
Biskra	1 964 460	436 530
Bechar	5650	0
Tamanrasset	2970	0
Tébessa	49 550	49 550
Djelfa	2610	860
M'sila	18 000	0
Ouargla	1092330	783850
El-Bayedh	0	45 900
Illizi	2250	16340
Tindouf	350	24250
El-Oued	1 884030	703330
Khenchla	21 290	44 800
Naâma	0	19600
Ghardaïa	377 100	154 400

**Photo 4.** La datte Deglet Nour utilisée dans l'étude.



Photo 5. La date Ghars utilisée dans l'étude

Tableau 20. Production annuelle des variétés Deglet Nour et Ghars algériennes (Anonyme, 2012, cité par Mimouni, 2015).

Wilaya	Deglet Nour (Demi-molle)		Ghars et homologues (molle)	
	Production (Qx)	Rdt. (kg/arbre)	Production (Qx)	Rdt. (kg/arbre)
Laghouat	1.108	78	4.859	78
Batna	4.616	69.8	3.772	43.8
Biskra	1.729.650	84.8	398.436	82.1
Bechar	0	0	0	0
Tamanrasset	0	0	0	0
Tebessa	1.100	18.6	280	14.7
Djelfa	0	0	0	0
M'sila	0	0	0	0
Ouargla	634.346	62	435.946	52.6
El-Bayadh	46	46	6.760	52.8
Ilizi	685	29	9.230	33
Tindouf	0	0	6.075	27
El-Oued	1.334.793	66.7	392.150	61.9
Khenchela	22.500	59.7	29.600	55
Naâma	0	0	8.800	55
Ghardaia	195.000	49.3	78.000	54.7



Photo 6. Palmier dattier Deglet Nour utilisé pour l'échantillonnage (palmeraie de Sidi Okba-Biskra, fin septembre 2012).



Photo 7. Palmier dattier Ghars utilisé pour l'échantillonnage (palmeraie de Sidi Okba-Biskra, fin septembre 2012).

Tableau 21. Caractéristiques des dattes Deglet Nour et Ghars (Hannachi *et al.*, 1998 ; Belguedj, 2002)

Caractéristiques des fruits	Variétés de dattes	
	Deglet Nour	Ghars
Nom vernaculaire	Deglet Nour	Ghars
Sens du nom	doigts de lumière (transparente aux rayons solaires)	Pâteux et collant
Distribution géographique	Abondant au Zibans, Aurès, Souf, Ouargla et Mزاب	Abondant au Zibans, Aurès, Souf, Ouargla.
Date de maturité	Septembre-octobre	Août- septembre
Date de récolte	Octobre-Novembre	septembre
Utilisation de la datte	Fraîche et conservée	Fraîche et conservée (surtout en confiserie)
Mode de conservation	pilée	Ecrasée et pilée
Appréciation	Excellente au goût exquis (la plus succulente et appréciée)	Excellente à bonne
Commercialisation	Très importante	Importante
Forme du fruit	Ovoïde ou droite	Droite allongée
Taille du fruit	Moyenne	Petite à moyenne
Dimensions	De l'ordre de 6/1.8 cm	De l'ordre de 4/1.8 cm.
Poids de 20 fruits	82 à 230g	94 à 240g
Couleur (Tamar)	Ambrée	Marron ou brun foncé
Consistance	Demi molle	Molle à demi molle
Texture	Fibreuse	Fibreuse
Gout	Parfumée	Parfumée
Aspect de l'épicarpe	Lisse à plissé	Légèrement plissé
Épaisseur de l'épicarpe	Épais	Épais
Taille moyenne du noyau	3/0.8 cm	2.5/1 cm
Poids moyen du noyau	0,7 g	0,8 g
Forme du noyau	Pointu aux extrémités	Fin et allongé
Aspect du noyau	Surface lisse et brillante	Surface lisse et brillante
Couleur du noyau	Marron	Marron
Rainure ventrale du noyau	Peu profonde en forme de U	Profonde en forme de V

Le rapport noyau / datte entière constitue une caractéristique d'appréciation de la qualité commerciale de la datte (Dowson et Aten, 1963). Ces rapports pour les variétés *Deglet Nour* et *Ghars* d'Algérie sont exprimés dans le tableau 22.

Tableau 22. Rapport moyen de poids (Noyau/datte entière) des variétés *Deglet Nour* et *Ghars*

Variété de dattes	Rapport noyau/datte entière (%) ¹	Rapport noyau/datte entière (%) ²
Deglet Nour	8 à 11	7.73
Ghars	11 à 12	9.14

¹Selon Munier (1973)

² Selon Mimouni (2015)

2. Conduite des expériences

Les expériences réalisées sur les fruits des dattes *Deglet Nour* et *Ghars* ont été organisées en deux études différentes :

La première étude avait pour objectif la mise en évidence des activités enzymatiques, polyphénoloxydase (PPO) et peroxydase (POD) au sein des deux variétés de dattes étudiées, l'influence des différents pH et des différentes températures sur les activités de ces deux enzymes ainsi que la détermination de leurs pH et températures optimaux. L'effet de certains produits chimiques sur la stabilité des deux activités enzymatiques, sur la teneur phénolique et sur l'activité antiradicalaire des deux fruits a été aussi testé.

L'objectif de la deuxième étude était de déterminer l'influence des radiations gamma, en tant que moyen physique, sur les activités enzymatiques des polyphénoloxydases et peroxydases des deux variétés de dattes et sur plusieurs paramètres en relation, directe ou indirecte, avec le brunissement enzymatique

2.1. Première Etude :

Effet du pH, de la température et de certains produits chimiques sur les activités de la polyphénoloxydase et de la peroxydase des dattes *Deglet Nour* et *Ghars* après récolte.

2.1.1. Design expérimental et méthodes d'analyse

Le brunissement enzymatique étant un phénomène physiologique impliquant essentiellement l'activité des enzymes PPO et POD, ce qui nous a incités à étudier l'effet de certains paramètres physiques (pH et température) et produits chimiques (acides ascorbique,

tartrique, oxalique et citrique, ainsi que le dodecyl sulfate de sodium (SDS), l'acide tétra-acétique éthylène diamine (EDTA), la cystéine et le métabisulfite de sodium) sur les activités de ces deux enzymes contenues dans les dattes Deglet Nour et Ghars.

Les composés phénoliques étant les substrats de ces deux enzymes, leurs taux dans les extraits des deux variétés de dattes additionnés de divers produits chimiques, ont été évalués en plus de l'activité antiradicalaire, contre le radical DPPH, de ces extraits.

Pour chaque variété de datte trois répétitions ont été effectuées pour chaque test, partant des prises d'essai à partir de fruits différents, choisis au hasard.

2.1.2. Extraction des enzymes polyphénoloxydase (PPO) et peroxydase (POD) et dosage de leurs activités enzymatiques

Pour chaque répétition, 2 g de la pâte de datte de chaque variété ont été homogénéisés dans 8 ml de 5 cmol L⁻¹ de tampon phosphate (pH 7,0) et 0,2 g de polyvinylpyrrolidone. Après filtration de l'homogénat à travers un tissu de coton, le filtrat est centrifugé pendant 20 min à 12 000 x g et 4°C ; cette extraction a été réalisée comme décrite par Duan *et al.* (2007). Le surnageant a été utilisé comme extrait brut pour le dosage des activités des deux enzymes PPO et POD.

L'activité de la PPO a été dosée en mesurant l'oxydation du 4-méthylcatéchol en tant que substrat à 410 nm, selon la procédure décrite par Jiang *et al.* (2005) ; 1,0 ml de tampon phosphate 0,1 M (pH 6,8), 0,5 ml de 0,1 M de 4-méthylcatéchol, et 0,5 ml de solution d'enzyme. L'augmentation de l'absorbance à 410 nm à 30°C a été automatiquement enregistrée pendant 5 minutes. Une unité d'activité enzymatique est définie comme la quantité d'enzyme ayant provoqué un changement de l'absorbance de 0,01 par minute.

L'activité de la POD a été dosée par la méthode de Zhang *et al.* (2005), en utilisant le guaiacol comme substrat, dans un mélange réactionnel de 3 ml, contenant 25 µL d'extrait enzymatique, 2,78 ml de 5 cmol L⁻¹ de tampon phosphate (pH 7,0), 0,1 ml de 1% de peroxyde d'hydrogène et 0,1 ml de 4% guaiacol. La réaction a été déroulée à 30°C. L'augmentation de l'absorbance à 470 nm, due à l'oxydation du guaiacol, a été enregistrée pour les 5 premières minutes de la réaction. Une unité d'activité enzymatique est définie comme étant la quantité d'enzyme qui a provoqué un changement de 0,01 par minute de l'absorbance. Les résultats sont exprimés en unités internationales par gramme de la pulpe fraîche de datte (UI g⁻¹ PF).

L'activité enzymatique résiduelle de la PPO et de la POD après traitement à différent pHs et températures a été calculée par la même relation donnée par Bayindirli (2010) pour le calcul de l'activité enzymatique résiduelle dans les aliments traités thermiquement ; elle est exprimée sous forme de fraction de l'activité initiale (A_0) :

$$\text{Activité résiduelle} = A / A_0$$

2.1.3. Etude de l'effet du pH sur les activités enzymatiques de la polyphénoloxydase et de la peroxydase

L'effet du pH sur l'activité enzymatique de la polyphénoloxydase et de la peroxydase des dattes Deglet Nour et Ghars est déterminée à 30°C en présence de tampons phosphates de pH allant de 2,4 à 8,6. La stabilité aux différents pH a été étudiée par le dosage des activités enzymatiques résiduelles après avoir maintenu les extraits enzymatiques pendant 12 heures à 10°C et à différentes valeurs de pH.

Les activités résiduelles de la PPO et de la POD des deux variétés de dattes ont été testées dans des conditions standards selon la méthode décrite ci-dessus et exprimée en pourcentage de l'activité obtenue au pH optimal (Al-Senaidy *et al.*, 2011).

2.1.4. Etude de l'effet de la température sur les activités enzymatiques de la polyphénoloxydase et de la peroxydase

L'influence de la température sur l'activité enzymatique de la polyphénoloxydase et de la peroxydase des fruits des deux variétés de dattes a été déterminée à pH 7 en incubant le mélange réactionnel à plusieurs températures variant de 10 à 90°C.

La stabilité thermique a été évaluée après incubation de la solution d'enzyme à différentes températures (10-80°C) pendant 60 minutes avant le dosage.

Les activités résiduelles de la PPO et de la POD ont été estimées à 30°C et aux conditions standards, comme il a été décrit auparavant. Elles sont calculées en pourcentage de l'activité donnée par la solution d'enzyme non chauffée (Altunkaya et Gökmen, 2008).

2.1.5. Etude de l'effet de produits chimiques sur les activités enzymatiques de la PPO et de la POD

L'effet de divers produits chimiques : les acides ascorbique, tartrique, oxalique et citrique, ainsi que le SDS, l'EDTA, la cystéine et le métabisulfite de sodium, sur les activités enzymatiques de la PPO et de la POD a été testée à la concentration de 0,05% de chaque produit chimique. Ils ont été ajoutés aux mélanges utilisés dans l'extraction des enzymes comme décrit précédemment. Les activités de la PPO et de la POD ont été évaluées après 12 h de macération d'échantillons de dattes à 10°C suivie d'homogénéisation et de dosage de l'activité résiduelle des deux enzymes, comme il a été déjà décrit. Les activités ont été calculées en pourcentage de l'activité donnée par le témoin sans produit chimique ajouté (Al-Senaidy *et al.*, 2011).

2.1.6. Détermination de la teneur phénolique

Deux grammes de pulpe de datte de chaque variété ont été homogénéisés dans 6 ml d'eau distillée complété avec l'un des huit produits chimiques notés précédemment, chacun séparément, à 0,05%, cette méthode a été utilisée par Altunkaya et Gökmen, (2008).

Le contenu phénolique total a été estimé en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu comme décrit par Shui et Leong (2006).

Principe du test

Le réactif de Folin-Ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribereau-Gayon *et al.*, 1972). Cette coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle aux taux de composés phénoliques présents dans le milieu donne un maximum d'absorption à 760 nm.

Méthodologie

Un volume de 100 µl de l'extrait ou du standard (acide gallique) a été mélangé avec 1,8 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (diluée 10 fois avec de l'eau distillée) après 5 min ; 1,2 ml de carbonate de sodium (7,5%) ont été ajoutés au mélange. Après avoir été laissé reposer pendant 60 min à l'abri de la lumière et à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 765 nm. Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique (EAG) par 100 g de la pulpe fraîche de la datte.

2.1.7. Détermination de l'activité antiradicalaire

L'activité de piégeage du radical DPPH (2, 2-diphényl-1- picryl hydrazyl) des extraits, additionnés des produits chimiques cités auparavant, a été estimée selon la méthode de Sanchez-Moreno *et al.* (1998). Les extraits aqueux des fruits préparés pour la quantification des phénols totaux ont été utilisés dans cet essai.

Principe du test

Le diphényl picryl-hydrazyl est un radical libre stable, violet en solution et présentant une absorbance caractéristique à 517 nm. Cette couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en diphényl picryl-hydrazine par un composé à propriété antiradicalaire, entraînant ainsi une décoloration et dont l'intensité de la coloration est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons. (Sanchez-Moreno, 2002).

Methodologie

L'extrait de datte (0,1 ml) a été mélangé avec 2,9 ml de la solution méthanolique de DPPH (0,1 mM). Après incubation pendant 30 min à 25 ° C dans l'obscurité, la diminution de l'absorbance à 517 nm a été mesurée. Le contrôle contenait du méthanol au lieu de la solution d'antioxydant alors que le blanc contenait du méthanol à la place du DPPH. L'inhibition du radical DPPH par les échantillons a été calculée en pourcentage selon la formule suivante:

$$(\%) \text{ de piégeage du DPPH} = [1 - (\text{absorbance de l'échantillon} - \text{absorbance du blanc}) / (\text{absorbance du témoin})] \times 100$$

2.1.8. Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide de Graph Pad PRISM version 5.01. Toutes les déterminations analytiques ont été effectuées en triple. Les données ont été exprimées en moyenne \pm erreur type. Les moyennes ont été comparées par le test t à un niveau de signification de 0,05.

2.2. Deuxième Etude :

Etude de l'effet des radiations gamma sur le brunissement enzymatique post récolte des dattes Deglet Nour et Ghars

2.2.1. Design expérimental et méthodes d'analyse

2.2.1.1. Traitement des dattes aux radiations gamma

Deux kg de chaque variété de datte ont été divisés en huit lots de 250 g de poids, homogènes du point de vue degré de maturité. Deux lots ont été préservés comme témoins non irradiés pour la comparaison. Tous les deux lots des six restants ont reçus une même dose de radiations gamma. En effet, les différents paramètres étudiés, dans la présente étude, ont été testés pour trois doses différentes: 0,6 KGy ; 1,3 KGy et 2 KGy.

L'irradiation des dattes a été effectuée par le biais de l'IRRADIATEUR PILOTE COBALT – 60 du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) (Photo 8).

Les lots de chaque variété ont été séparés en deux catégories, représentées par les mêmes doses d'irradiation mais qui étaient sujettes par la suite à deux températures de conservation différentes à savoir 4 lots (0 ; 0,6 ; 1,3 et 2 KGy) à 10°C et 4 lots (0 ; 0,6 ; 1,3 et 2 KGy) à température ambiante. Trois dattes de chaque lot ont été séparées pour le suivi du changement de la couleur par analyse visuelle.

Les différents lots irradiés en plus des lots témoins non irradiés ont été stockés pour une période de 10 mois, le suivi des changements des paramètres biochimiques et des activités enzymatiques étudiés a été réalisé tous les deux mois et demi (75 jours), à savoir 4 analyses pendant les 10 mois (analyse 1 après 2.5 mois, analyse 2 après 5 mois, analyse 3 après 7.5 mois et analyse 4 après 10 mois) ; en plus de l'analyse initiale avant irradiation (analyse 0 au jour 0). Le schéma de d'organisation des échantillons des deux variétés est comme suit :

Variété	Température de conservation pendant 10 mois	Doses affectant les lots (250 g chacun)			
		0 KGy (Témoin)	0,6 KGy	1,3 KGy	2 KGy
Deglet Nour (DN)	Température ambiante	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4
	Température basse (10°C)	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4
Ghars (G)	Température ambiante	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4
	Température : (10°C)	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4



Photo 8. L'irradiateur pilote (Cobalt – 60) utilisé dans l'étude (Site 08)

Pour mettre en évidence l'effet des radiations gamma sur l'activité enzymatique, aboutissant au brunissement post récolte des deux variétés de dattes, et sur les phénomènes physiologiques accompagnant ce mécanisme ; le suivi des changements des paramètres biochimiques suivants au sein des dattes irradiées et dattes témoins a été effectué :

- Changement du pH et de l'acidité titrable ;
- Changement de la teneur en vitamine C ;
- Changement du taux de l'activité enzymatique de la polyphénoloxydase ;
- Changement du taux de l'activité enzymatique de la peroxydase.
- Changement de la teneur en polyphénols totaux ;
- Changement de la teneur en flavonoïdes ;
- Evolution de la coloration ;
- Changement du pourcentage de l'activité antiradicalaire

Pour cela les protocoles expérimentaux qui suivent ont été utilisés :

2.2.1.2. Détermination du pH et de l'acidité titrable

La détermination du pH et de l'acidité titrable des échantillons irradiés et témoins des dattes Deglet Nour et Ghars a été réalisée suivant la méthode décrite par Afnor (1974).

- *Principe de détermination du pH*

Détermination en unité pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes plongées dans une solution aqueuse de la pulpe de datte broyée.

Principe de détermination de l'acidité titrable

Titration de l'acidité d'une solution aqueuse de dattes avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénophtaléine comme indicateur au point du virage de la couleur.

- *Méthodologie*

Les dattes de chaque variété ont été dénoyautées et écrasées dans un mortier jusqu'à obtention d'une pâte homogène. Environ 25 g de dattes broyées ont été additionnés de 50 ml d'eau distillée récemment bouillie et refroidie, puis mélangés jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène. Un réfrigérant à reflux a été adapté au ballon contenant la mixture ce dernier est chauffé au bain-marie pendant 30 mn puis refroidi, son contenu est transvasé dans une fiole de 250 ml et complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie et refroidie, la mixture est bien mélangée puis filtré. Un volume de 25 ml du filtrat est prélevé dans un bécher, auquel sont ajoutés 0,25 à 0,5 ml de phénophtaléine et tout en agitant, la préparation est titrée avec de la solution d'hydroxyde de sodium 0,1 N jusqu'à l'obtention

d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes. L'expression des résultats de l'acidité titrable est considérée selon la relation :

$$A\% = \frac{(250 \times V_1 \times 100)}{(V_0 \times M \times 10)} \times 0.07 = 175 \frac{V_1}{V_0 \times M}$$

Soit :

A% : L'acidité titrable en pourcentage d'acide citrique.

M : Masse, en grammes de l'échantillon prélevé.

V₀ : Volume en millilitres de la prise d'essai.

V₁ : Volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 N utilisé.

0.07 : Facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide citrique.

L'acidité titrable des dattes Deglet Nour et Ghars est exprimée en g d'acide citrique pour 100 g de pulpe de datte fraîche (en % d'équivalent acide citrique).

Le pH a été mesuré en plongeant la sonde du pH-mètre dans la solution précédemment obtenue pour le test d'acidité titrable.

2.2.1.3. Détermination de la teneur en vitamine C

La quantification de la vitamine C a été réalisée par la méthode de dichloro-indophénol de l'AOAC selon le protocole expérimental décrit par (Nielsen, 2010).

- *Principe du test*

L'acide ascorbique réduit l'indicateur coloré en une solution non colorée. Au point final du titrage d'une solution échantillon contenant de l'acide ascorbique avec l'indicateur coloré ; ce dernier étant en excès est non réduit, il présente une couleur rose foncé dans la solution acide. Le titre de l'indicateur coloré peut être déterminé en utilisant une solution de l'acide ascorbique standard. Des échantillons d'aliments en solution peuvent ensuite être titrés avec cet indicateur, et le volume utilisé pour le titrage permettra de calculer la teneur en acide ascorbique.

- *Produits chimiques et solutions utilisés*

Les produits chimiques qui ont été utilisés sont : 2,6-dichloro-indophénol (DCIP), acide ascorbique, acide métaphosphorique, acide acétique et bicarbonate de sodium.

Solution standard d'acide ascorbique : à préparer seulement au moment de l'utilisation par pesée de 50 mg d'acide ascorbique (standard de référence) et sa dilution au volume final immédiatement avant l'emploi avec l'acide métaphosphorique.

Solution de l'indicateur coloré (DCIP) : Dans 50 ml d'eau distillée, ont été dissous 42 mg de bicarbonate de sodium, puis mélangés à 50 mg de DCIP. Le mélange a été dilué et conservé au réfrigérateur jusqu'à utilisation.

Solution d'acide Métaphosphorique -acide acétique : A100 ml d'eau distillée, ont été ajoutés 20 ml d'acide acétique, puis 7,5 g d'acide métaphosphorique. Le mélange a été dilué et conservé au réfrigérateur jusqu'à utilisation.

- *Méthodologie*

Les extraits des dattes des deux variétés, utilisés pour quantifier l'acide ascorbique, ont été préparés au moment de la quantification par macération à l'eau en trois répétitions pour chaque extrait.

Le dosage a été effectué par titrage d'un volume de 7 ml, dont 5 ml de la solution des acides métaphosphorique- acétique et 2 ml de l'extrait, avec la solution de l'indicateur coloré (DCIP) jusqu'apparition d'une couleur rose persistante pour plus de 5 s. la différence des volumes pris sur la burette de titrage permet de déduire le volume de la solution colorée utilisé pour chaque titrage.

La teneur en ascorbate totale est déterminée selon la relation :

$$\text{Ascorbate (mg /ml)} = (X - B) \times (F/E) \times (V/Y).$$

Où:

X = le volume moyen (en ml) utilisé pour le titrage de l'échantillon

B = le volume moyen (en ml) utilisé pour le titrage du blanc.

F = le titre de l'indicateur coloré (= mg d'acide ascorbique équivalent de 1 ml de la solution d'indophénol).

E = la prise d'essai (2 ml).

V = volume de la solution initiale du dosage (7 ml).

Y = volume de l'aliquote titré de l'échantillon (7 ml).

2.2.1.4. Extraction de la PPO et de la POD et mesure de leurs activités enzymatiques

L'extraction de la PPO et de la POD des dattes Deglet Nour et Ghars utilisées dans cette étude a été réalisée par la méthode de Duan *et al.* (2007) déjà décrite dans l'étude précédente ; la mesure de leurs activités enzymatiques a été effectuée par les méthodes de Jiang *et al.* (2005) et Zhang *et al.* (2005) respectivement comme décrit aussi auparavant dans l'étude 1. En utilisant toujours le 4-méthylcatéchol comme substrat de la PPO et le gâïacol en plus du peroxyde d'hydrogène en tant que substrats de la POD. Une unité d'activité

enzymatique est définie comme étant la quantité d'enzyme ayant provoqué un changement de l'absorbance de 0,01 par minute dans les deux cas.

2.2.1.5. Détermination de la teneur en polyphénols extractibles totaux

La teneur en composés phénoliques totaux a été déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu (Singleton et Rossi, 1965) comme décrite par Shui et Leong (2006).

- *Méthodologie*

L'extraction de la fraction soluble de polyphénols a été effectuée en utilisant un mélange de solvants constitué d'acétone, d'eau et d'acide acétique (70: 29,5: 0,5, v / v / v) (Hong *et al.*, 2006). Une quantité de 1 g de pulpe de datte a été mélangée dans 10 ml de la mixture des solvants d'extraction puis a été agitée pendant une heure dans l'obscurité suivi d'une centrifugation à 5 ° C et 5000 g pendant 5 min. Le surnageant a été utilisé pour déterminer la teneur totale en composés phénoliques des extraits des deux variétés de dattes. Un volume de 40 µL de l'extrait ou du standard (l'acide gallique) a été mélangé à 1,8 ml du réactif de Folin-Ciocalteu (10 fois pré-dilué avec de l'eau distillée) après 5 min ; 1,2 ml de bicarbonate de sodium (7,5%) ont été ajoutés au mélange. Au bout d'un temps de repos de 60 minutes à température ambiante et à l'abri de la lumière, l'absorbance a été lue à 765 nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique(EAG)/100 g de la pulpe fraîche de datte.

2.2.1.6. Mesure de la teneur en flavonoïdes

La quantification des flavonoïdes des échantillons irradiés et témoins des deux variétés de dattes a été réalisée par la méthode décrite par Lamaison et Carnat (1991).

- *Principe du test*

La coloration jaunâtre donnée dans cette méthode est due à la formation d'un complexe entre le chlorure d'aluminium et les atomes d'oxygène présent sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes (Lagnika, 2005).

- *Méthodologie*

Les mêmes extraits des deux fruits utilisés pour la détermination de l'évolution de la coloration, ont été utilisés pour le dosage des flavonoïdes.

Un volume d'1 ml de chaque extrait ou de la solution du standard (quercétine) a été mélangé à 1 ml de la solution méthanolique du chlorure d'aluminium à 2 %. Après 10 min, l'absorbance de tous les tubes est lue à 430 nm.

La concentration en flavonoïdes est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant la quercétine comme standard ; elle est exprimée en mg EQ/100 g de la pulpe fraîche de datte.

2.2.1.7. Identification et quantification des phénols par chromatographie liquide à haute performance (HPLC)

L'analyse qualitative et quantitative par HPLC a été réalisée par un appareil type AGILENT TECHNOLOGY au niveau du centre de recherche en biotechnologie (CRBt) de Constantine (Photo 9).



Photo 9. Appareil de la chromatographie liquide à haute performance utilisé dans l'étude

Les extraits des deux variétés de datte ont été injectés en un volume de 15 μ l chacun, sur une colonne RP-C18 réglée à une température de 35 °C. La phase mobile était composée d'un mélange d'acétonitrile/méthanol/eau acidifié. L'élution a été réalisée en gradient, d'un débit de 0,5 ml/min, s'étalant sur 70 min de temps. La détection a été effectuée à trois longueurs d'ondes différentes, 250 nm, 280 nm et 340 nm.

Les standards phénoliques utilisés dans cette étude sont : les acides caféique, chlorogénique, gallique, hydroxycinnamique, p-hydroxybenzoïque, trans-cinnamique, salicylique, tannique et coumarique en plus de la quercétine, rutine, catéchine, épicatechine, lutéoline, vanilline, cyanidine chloride, coumarine, 4-méthyl catéchol et procyanidine B2.

2.2.1.8. Détermination de l'indice de brunissement

L'évolution de la coloration des dattes Deglet Nour et Ghars a été évaluée par spectrophotométrie comme décrit par Degl' Innocenti *et al.* (2007), 5 g de pâte de chaque variété de dattes ont été homogénéisés dans 10 ml de méthanol. L'homogénat a été filtré et centrifugé à 15000 g pendant 15 min. Le surnageant a été utilisé pour mesurer directement l'intensité de la coloration à une longueur d'onde de 430 nm. L'intensification de la coloration est considérée comme indice de brunissement des extraits.

2.2.1.9. Mesure de l'activité antiradicalaire

Les extraits des fruits préparés pour la quantification des phénols totaux de cette deuxième étude ont été utilisés aussi dans cet essai pour la détermination du pourcentage de l'activité antiradicalaire des échantillons de Deglet Nour et de Ghars irradiées et des fruits témoins contre le radical DPPH.

L'activité de piégeage du radical DPPH (2, 2-diphényl-1-picrylhydrazyl) a été estimée selon la méthode de Sanchez-Moreno *et al.* (1998) comme décrite dans la première étude.

2.2.1.10. Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide de Graph Pad PRISM version 5.01. Chaque manipulation a été accomplie en trois répétitions. Les différences de valeurs moyennes ont été déterminées en utilisant une analyse de la variance (ANOVA) suivie du test de Tukey. Les différences étaient considérées comme significatives à $p < 0,05$.

Chapitre 2.
Résultats et
Discussion

Chapitre 2. Résultats et discussion

La mise en évidence du brunissement enzymatique au sein des dattes Deglet Nour et Ghars, a été réalisée par le dosage d'activité enzymatique de la polyphénoloxydase et de la peroxydase impliquées toutes les deux dans ce phénomène. Le dosage de ces deux activités enzymatiques et l'évaluation d'autres paramètres en relation directe ou indirecte avec le brunissement, ont été effectués dans les deux études accomplies durant ce travail de recherche.

1. Résultats et discussion de la première étude

Cette étude a fait l'objet d'une publication scientifique (voir fin manuscrit).

Effet du pH, de la température et de certains produits chimiques sur les activités de la polyphénoloxydase et de la peroxydase des dattes Deglet Nour et Ghars après récolte.

1.1. Effet du pH

1.1.1. pH optimal des deux enzymes

1.1.1.1. pH optimal de la PPO

Les activités enzymatiques des polyphénoloxydases de Deglet Nour et Ghars dosées à différents pH variant de 2,4 à 8,6 ont donné des valeurs maximales autour des pH 6,4 et 7,2 respectivement (Figure 13 a).

Ce résultat est proche de celui d'Altunkaya et Gökmen (2008) qui ont trouvé la valeur de 7 en tant que pH optimal de la PPO de la laitue, en utilisant le catéchol comme substrat; ainsi que celui de Jiang (1999), qui a trouvé un pH optimum de 6,5 en étudiant la PPO du longane avec le 4-méthyl catéchol comme substrat. D'autre part, Sidhu (2006) a donné un pH optimum égal à 6,4 pour la datte en général en utilisant le catéchol en tant que substrat, ce qui est en accord avec les résultats de la présente étude.

Les résultats obtenus permettent également de déduire que l'activité de la PPO des deux variétés de dattes est demeurée considérable, même à pH 8 et pH 3. Néanmoins, l'enzyme a perdu progressivement son activité en aval du pH 3 et en amont du pH 8.

1.1.1.2. pH optimal de la POD

Les activités enzymatiques des peroxydases de Deglet Nour et Ghars dosées à différents pH variant de 2,4 à 8,6 ont donné des valeurs maximales autour des pH 5,6 et 6,2 respectivement (Figure 13 b).

Certaines études ont présenté des résultats similaires, par exemple, l'étude sur la peroxydase des feuilles de palmier où a été rapportée la valeur de 5,5 comme pH optimum de cette enzyme (Al Senaidy *et al.*, 2011). En général, les peroxydases purifiées à partir de diverses sources ont montré des pH optimum principalement dans la région de 4,5-6,5 (Thongsook et Barrett, 2005), ce qui est en accord avec nos résultats.

Par ailleurs, pour les valeurs de pH supérieures à 8, la POD a perdu plus de 89% de son activité dans le cas de la datte Deglet Nour et plus de 95% de son activité dans le cas de la datte Ghars. Tandis que pour un pH inférieur à 2, la POD de Deglet Nour a perdu plus de 90% de son activité alors que celle de Ghars en a perdu plus de 97%. La perte d'activité à des pH extrêmes est probablement due à la dénaturation des enzymes par ionisation.

1.1.2. Stabilité à différents pH

Pour tester la stabilité des polyphénoloxydases et peroxydases des dattes Deglet Nour et Ghars dans les différents pH. Les activités des deux enzymes ont été évaluées après une incubation des préparations enzymatiques à 10°C et à différents pH pendant 12 h, ce qui a abouti aux résultats ci-dessous.

1.1.2.1. Stabilité de la PPO

La mesure d'activité enzymatique a révélé, dans le cas de la PPO des deux variétés, une activité résiduelle élevée entre les valeurs de pH 5,6 et 8. Aux pH inférieurs à 3 et 5,6 cette activité a diminué de manière significative, respectivement, pour Deglet Nour et Ghars. Cependant, elle est restée considérable à pH 8 pour les deux variétés, en effet elle a conservé 80% de son activité. La stabilité de la PPO aux différents pH a atteint son maximum à pH 7 (Figure 14 a).

1.1.2.2. Stabilité de la POD

La détermination de l'activité résiduelle de la POD de la datte Ghars, qui a été traitée de la même manière que la PPO, a montré que celle-ci est restée élevée ($\geq 60\%$) entre le pH 4 et 8 et a atteint son maximum à un pH de 6,4 (Figure 14 b). Cependant, la POD de la datte Deglet Nour a été trouvée moins stable que celle de la datte Ghars dans la gamme de pH allant de 4 à 6,4. Toutefois, elle semble être la plus stable à pH 3,2 et dans l'intervalle de pH 7,2 - 8. La POD de Deglet Nour a donné un maximum d'activité résiduelle à pH 7. L'activité résiduelle de la POD des deux variétés est demeurée supérieure à 50% à partir du pH 4 jusqu'à plus de pH 8.

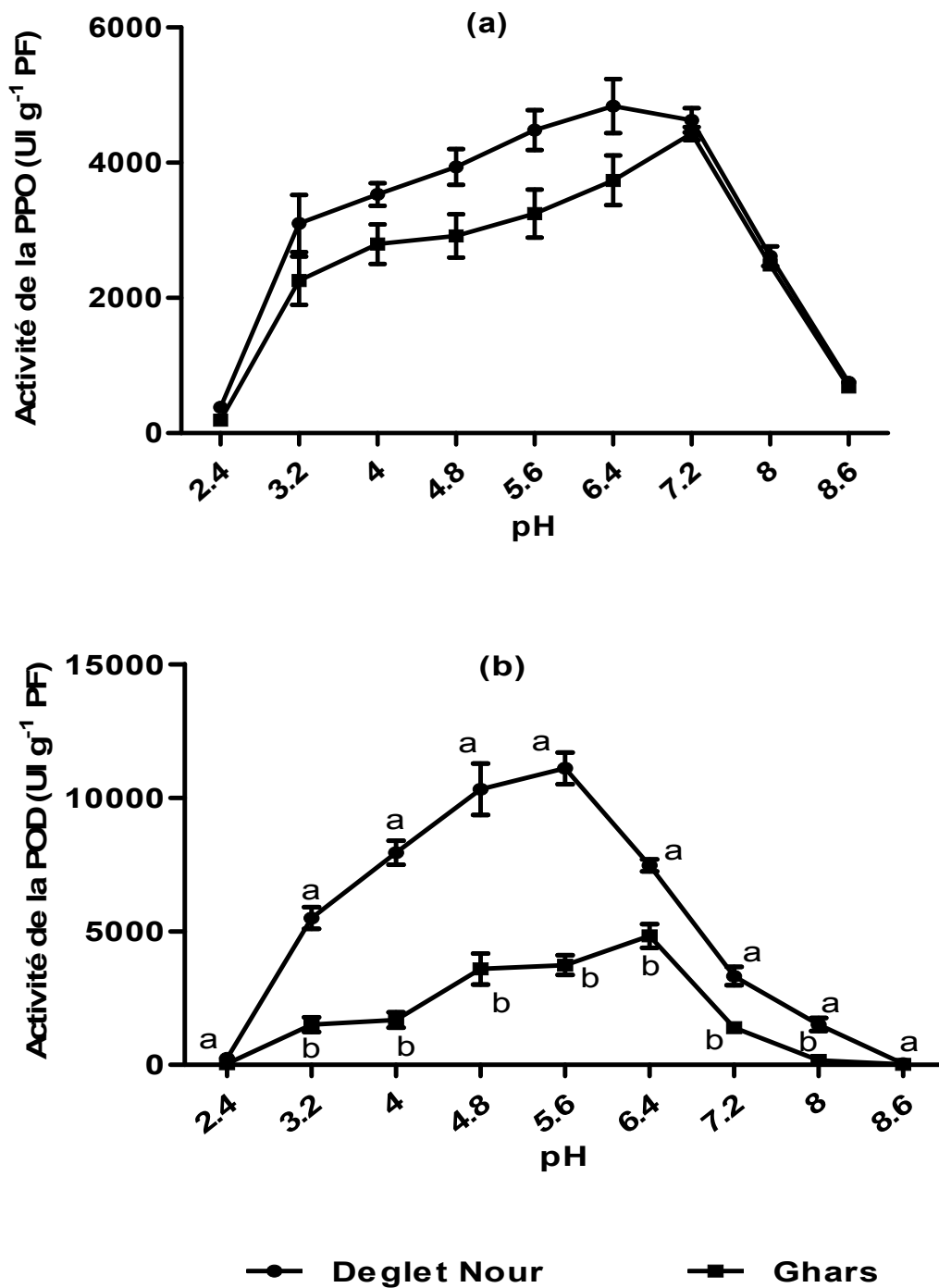


Figure 13. pH optimaux de la PPO (a) et de la POD (b) des dattes Deglet Nour et Ghars à T=30°C. Chaque valeur est la moyenne de trois réplifications. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

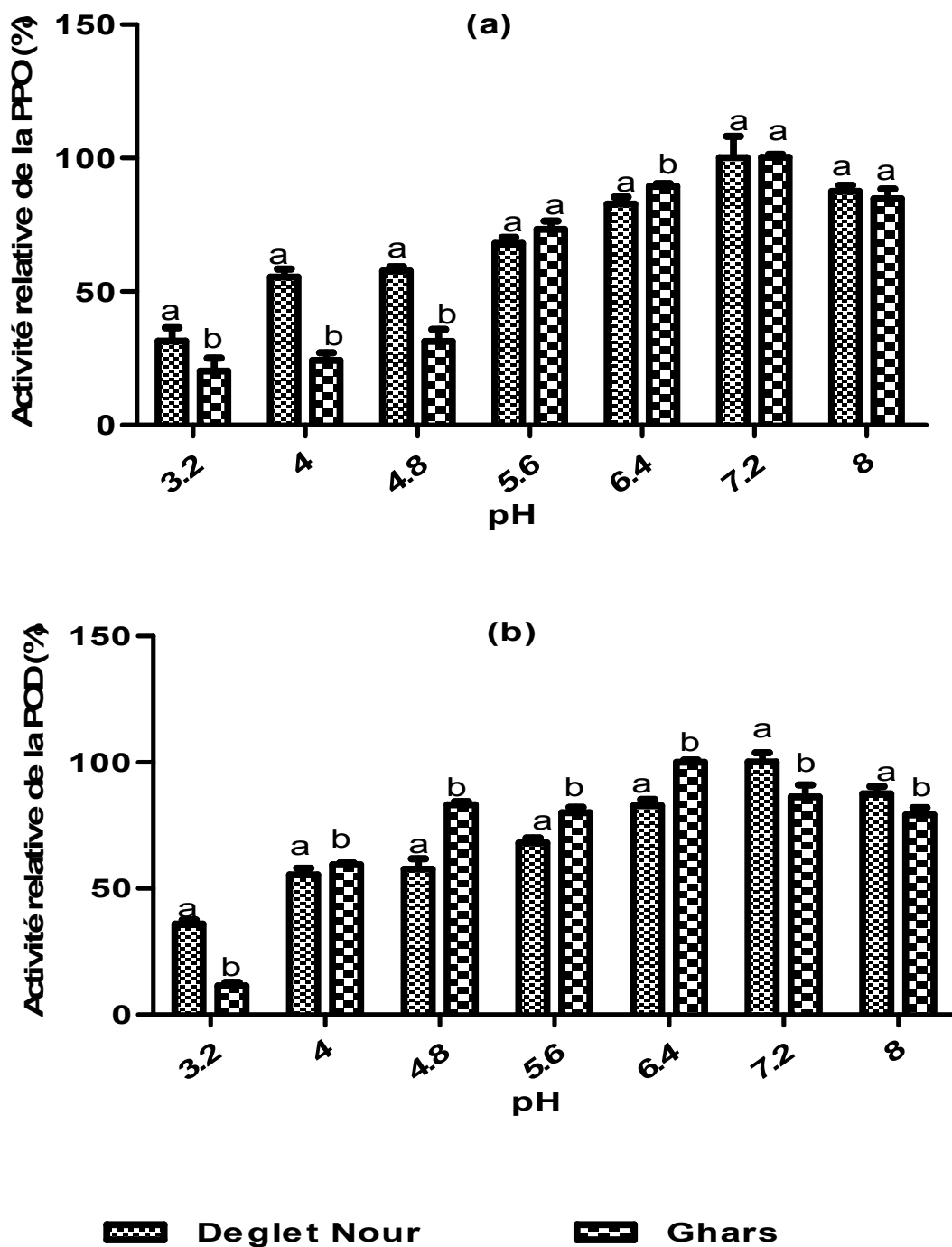


Figure 14. Effet du pH sur la stabilité de la PPO (a) et la POD (b) des dattes Deglet Nour et Ghars (exprimé en pourcentage d'activité du contrôle) après incubation des préparations enzymatiques pour 12 h à 10°C avec des solutions tampons de pH variés (pH=3,2-8,0) ; les barres verticales représentent les erreurs standards des moyennes et les lettres différentes indiquent les différences significatives entre les deux variétés pour chaque traitement.

1.2. Effet de la température

1.2.1. Les températures optimales des deux enzymes

Les deux activités enzymatiques de la PPO et de la POD des dattes Deglet Nour et Ghars ont été analysées à pH 7, pendant les 5 premières minutes de la réaction, en faisant varier la température entre 10 et 90°C.

1.2.1.1. La température optimale de la PPO

L'activité enzymatique de la PPO des deux fruits Deglet Nour et Ghars a été trouvée maximale à 35°C et 40°C respectivement (Figure 15 a).

Ces résultats sont proches de ceux de Robinson et collaborateurs (1993), Valero et collaborateurs (1988) et Jiang (1999) qui ont utilisé le 4-méthyl catéchol comme substrat et ont trouvé respectivement: 30°C pour la mangue, 25 à 45°C dans le cas du raisin et 35°C pour le longane. En utilisant le catéchol comme substrat, la température optimale a été trouvée égale à 40°C avec la PPO de la laitue (Altunkaya *et al.*, 2008) et 37°C dans le cas des fruits de datte (Sidhu, 2006), ce qui concorde avec nos résultats. A 80°C et 20°C, la PPO de Deglet Nour garde plus d'un tiers de son activité alors que celle de la variété Ghars garde plus de la moitié de son activité.

1.2.1.2. La température optimale de la POD

Les températures optimales des PODs des dattes Deglet Nour et Ghars ont été trouvées égales à 35°C et 30°C respectivement (Figure 15 b). Ce résultat est différent de celui d'Al Senaidy et collaborateurs (2011) qui ont trouvé la valeur de 55°C pour la peroxydase des feuilles du palmier dattier, et celui donné par Singh et collaborateurs (2010), soit 40°C avec les fruits de *Mallus pumilus*.

En effet, des études ont rapporté une large variabilité de la température optimale de la peroxydase provenant de différentes sources. Ceci est l'exemple des travaux sur les peroxydases des asperges et navets verts où on a signalé des températures optimales de 70°C (Rodrigo *et al.*, 1996) et 35°C (Motamed *et al.*, 2009) respectivement, et également le travail sur les graines de sarrasin où on a démontré que l'activité maximale de la peroxydase a été obtenue à des températures allant de 10 à 30°C (Suzuki *et al.*, 2006); certains de ces résultats sont compatibles avec les nôtres.

A 80°C l'enzyme a perdu presque toute son activité dans le cas des deux fruits étudiés. La perte des activités enzymatique de la PPO et de la POD, à des températures élevées, peut être expliquée par la rupture des liaisons hydrogènes impliquées dans la structure native active des deux enzymes.

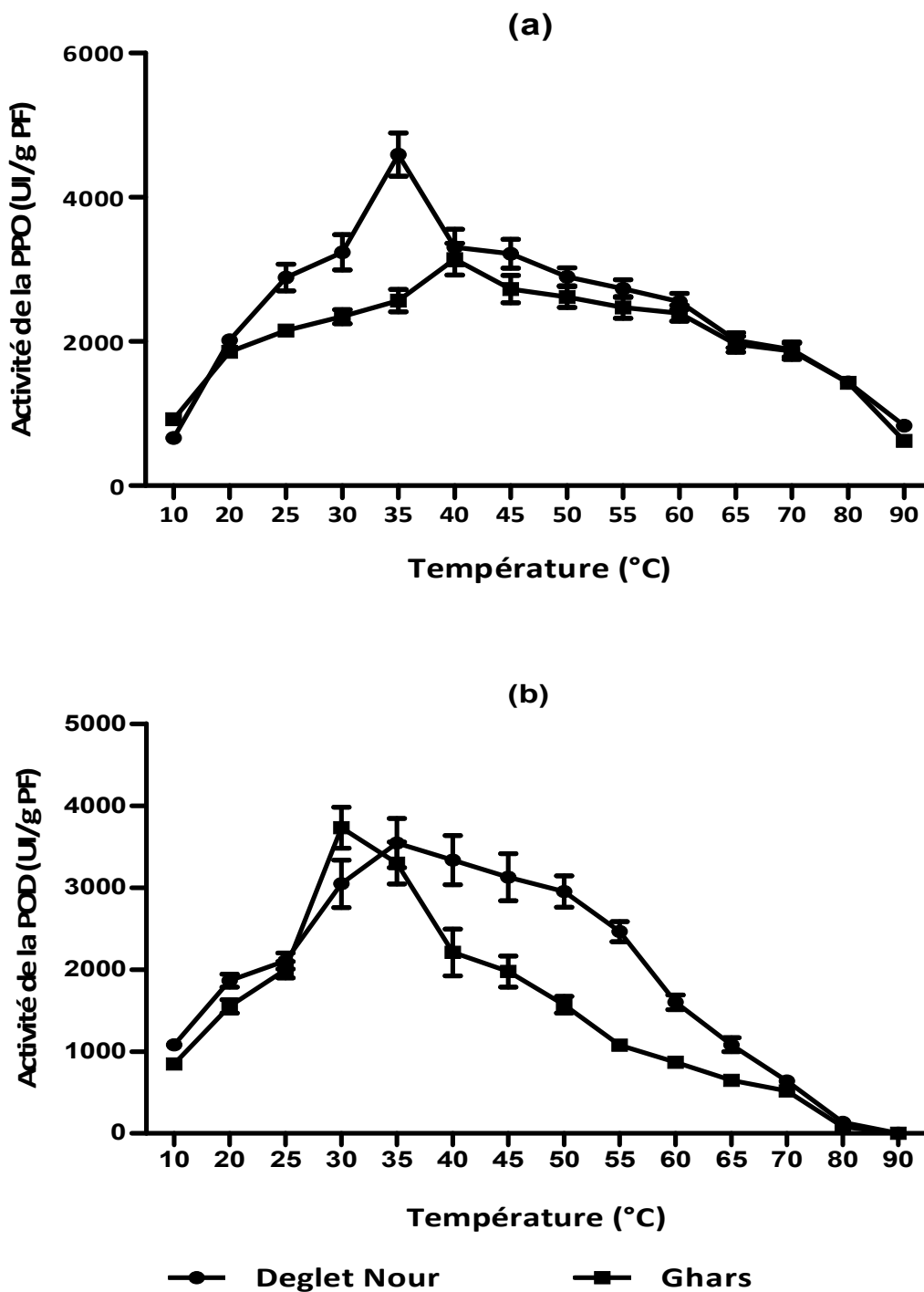


Figure 15. Températures optimales de la PPO (a) et de la POD (b) des dattes Deglet Nour et Ghars à pH 7. Chaque valeur est la moyenne de trois réplifications. Les barres verticales représentent l'erreur standard des moyennes.

1.2.2. Stabilité à différentes températures

La stabilité thermique des PPOs et des PODs des dattes Deglet Nour et Ghars a été estimée à 30°C, suite à l'incubation des préparations d'enzymes à diverses températures (10-80°C) pendant 1 h. Le maximum de l'activité résiduelle de la PPO et de la POD des deux variétés de datte a été obtenu à 35°C (Figure 16 a et b).

L'incubation des préparations enzymatiques de la PPO et de POD à des températures différentes de 35°C a donné une désactivation progressive des deux enzymes, allant de cette température aux températures extrêmes, de sorte que la PPO a conservé seulement environ 50% de son activité à 30°C et 50°C et n'a conservé que moins de 20 % de cette activité à 70°C et 10°C.

L'inactivation totale de cette enzyme nécessite une température supérieure à 80°C. Ceci est en accord avec les résultats de Dorantes-Alvarez et Chiralt (2000); Tomas-Barberan et Espin (2001) qui ont mentionné qu'une température supérieure à 80°C est nécessaire pour assurer l'inactivation de la PPO dans les produits horticoles transformés, comme les jus, les fruits en conserve, les légumes, etc...

D'autre part, la POD s'est révélée complètement désactivée à 80°C; son activité est presque nulle à 70°C et 10°C. Cela prouve que les PPOs des deux fruits ont plus de thermostabilité que leurs PODs.

Ceci a également été confirmé par Chisari *et al.* (2007) qui ont constaté que les peroxydases de deux cultivars de fraises étaient beaucoup plus thermolabiles que leurs PPOs, perdant plus de 60% de leurs activités relatives déjà après 60 min d'incubation à 40°C.

En outre, la stabilité thermique des PODs varie selon les différentes sources. En effet, il a été démontré que certaines POD sont moins thermostables que d'autres enzymes au sein de la même plante (Terefe *et al.*, 2014).

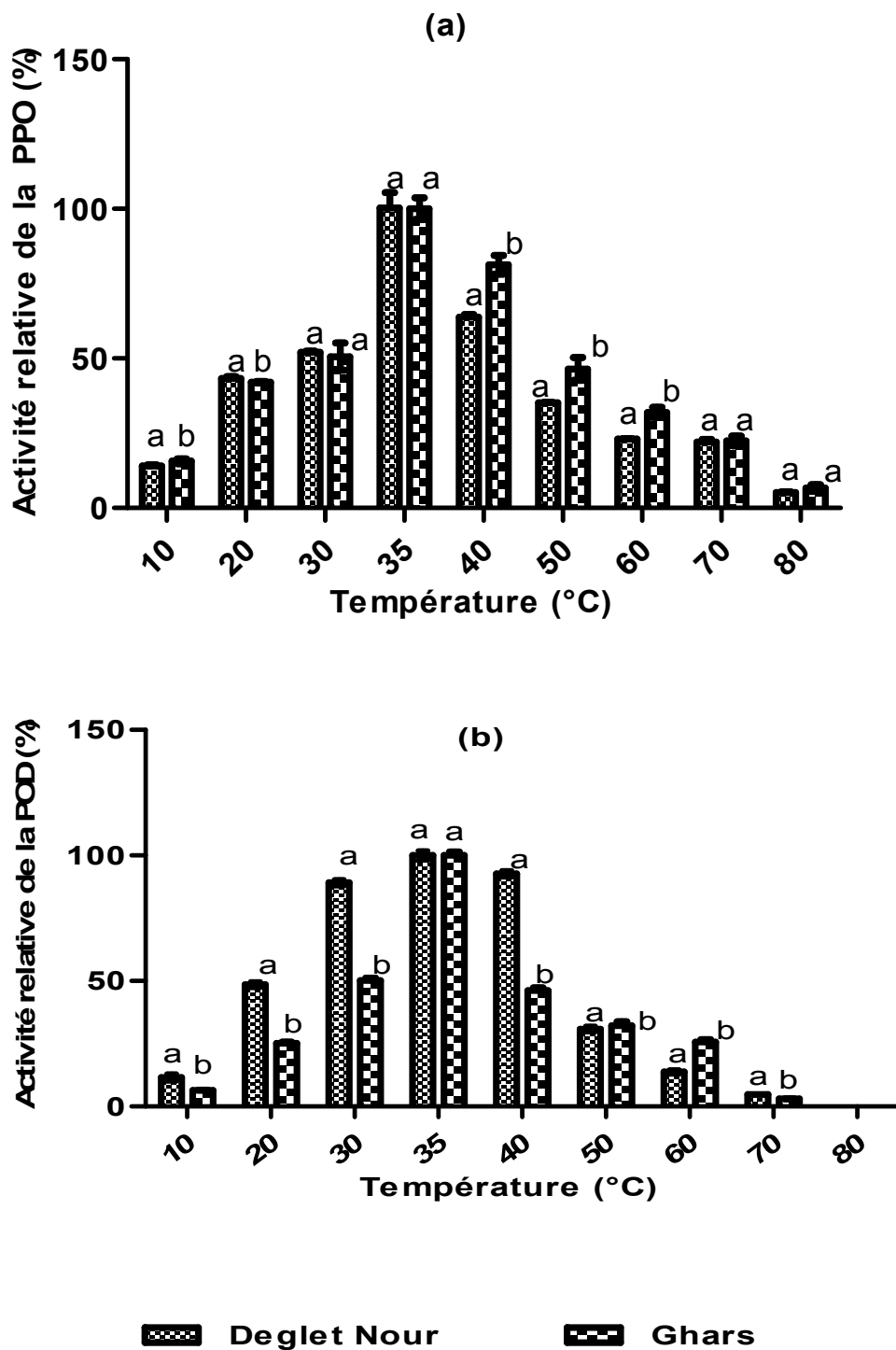


Figure 16. Effet de la température sur la stabilité de la PPO (a) et de la POD (b) des dattes Deglet Nour et Ghars (exprimé en pourcentage d'activité du contrôle) après incubation des préparations enzymatiques pour 1 h à pH 7 et T=10-80°C. Les barres verticales représentent les erreurs standards des moyennes et les lettres différentes indiquent les différences significatives entre les deux variétés pour chaque traitement.

1.3. Effets de certains composés chimiques

1.3.1. Effet direct sur les activités enzymatiques

Les effets des huit produits chimiques utilisés dans la présente étude à la concentration de (0,05%) sur les activités de la PPO et de la POD des deux variétés de datte sont exprimés en pourcentage de l'activité originale (l'activité du contrôle) et présentés dans le tableau 23.

Nous pouvons classer les produits chimiques utilisés dans l'ordre décroissant de leur effet inhibiteur de la PPO comme suit: acide ascorbique > métabisulfite de sodium > acide citrique > acide tartrique > acide oxalique > cystéine > SDS > EDTA, dans le cas de la variété Deglet Nour et de la façon: acide ascorbique > métabisulfite de sodium > cystéine > acide citrique > EDTA > acide tartrique > SDS > acide oxalique, dans le cas de la variété Ghars.

Leur classement dans l'ordre décroissant de leur pouvoir inhibiteur d'activité de la POD est: acide ascorbique > acide tartrique > SDS > métabisulfite de sodium > EDTA > acide citrique > acide oxalique > cystéine, pour la variété Deglet Nour. Ce classement pour la variété Ghars est de la façon : acide ascorbique > EDTA > SDS > cystéine > acide citrique > métabisulfite de sodium > acide tartrique > acide oxalique.

Les résultats montrent que l'inhibiteur le plus efficace de ces deux activités enzymatiques est l'acide ascorbique, avec lequel on a obtenu une activité résiduelle de la PPO égale à 4,79% pour Deglet Nour et 7,73% pour Ghars et une activité résiduelle de 0% pour la POD des deux variétés.

Ce résultat semble logique, parce que l'acide ascorbique est un agent réducteur qui agit en réduisant les quinones générés par la PPO en phénols (Dorantes-Alvarez et Chiralt 2000; Tortoe *et al.*, 2007). En effet, il a empêché la formation des polymères bruns dans différentes études de recherches sur les fruits et légumes (Bayindirli, 2010) sans agir directement sur l'enzyme.

Il a été trouvé que l'activité résiduelle de la POD de la gousse de vanille après incubation avec 1 mmol L⁻¹ d'acide ascorbique est supérieure à la nôtre (48,18%) (Marquez *et al.*, 2008). Cependant, notre résultat est en accord avec celui de Diao et collaborateurs (2014) qui ont trouvé la même valeur (0%) en utilisant l'acide ascorbique à 5 mmol L⁻¹ de concentration et le gaïacol comme substrat. Prestamo et Manzano (1993) ont également constaté que l'acide ascorbique était un inhibiteur efficace de la peroxydase des kiwis.

L'effet inhibiteur de l'acide ascorbique sur les activités PPO et POD a également été confirmé dans l'étude de Li-Qin *et al.* (2009) qui ont constaté que l'indice de brunissement des tranches de pêches traitées à 0,2% d'acide ascorbique était très faible après dix jours de stockage.

Les activités des deux enzymes sont diminuées en présence de tous les autres produits chimiques utilisés et à des degrés divers, ce qui est en accord avec la littérature.

Notant que les acides sont utilisés pour inhiber le brunissement enzymatique en augmentant l'acidité. Il s'agit entre autres de l'acide citrique, tartrique et ascorbique (Barett *et al.*, 2005). L'acide citrique est également un agent chélatant qui agit en formant un complexe avec le cuivre par le biais d'un électron non partagé dans sa structure (Alvarez et Dorantes-Chiralt, 2000 ; Tortoe *et al.*, 2007).

Dans l'étude de Jiang *et al.* (2004) sur la châtaigne d'eau chinoise fraîchement coupée, des faibles concentrations de l'acide citrique ont stimulé l'activité de la PPO ; néanmoins à une concentration égale ou supérieure à $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, il a nettement inhibé cette activité enzymatique.

Le taux d'inhibition d'activité de la PPO donné par la L cystéine a été de 52,91% et 21,61% pour Deglet Nour et Ghars respectivement. Le métabisulfite de sodium a été trouvé très efficace pour retarder le brunissement enzymatique des fruits dans différents travaux de recherche. En effet, Dincer *et al.* (2002) ont indiqué que les composés thiols tels que la cystéine et le métabisulfite, sont de puissants inhibiteurs de la PPO du néflier.

D'autre part, Çelikel *et al.* (2011) ont montré que le métabisulfite de sodium a augmenté considérablement la durée de vie en vase de la plante *Acacia holosericea* d'environ la moitié du temps. Cet effet est le résultat de l'inhibition de la PPO par le métabisulfite de sodium, parce que cette enzyme selon eux est impliquée dans le colmatage physiologique des tiges d'acacia coupées.

Ces résultats sont compatibles avec les nôtres car en fait, le métabisulfite de sodium a fortement inhibé l'activité de la PPO de Deglet Nour et à un degré moindre l'activité de la PPO de Ghars.

Dans la présente étude et de la même manière, ont été inhibées les PODs des deux variétés par ce produit chimique et c'est dans le même contexte que Térefé et collaborateurs (2014) ont rapporté que les agents réducteurs les plus couramment utilisés traditionnellement pour une prévention efficace du brunissement enzymatique sont les sulfites. En effet, les composés à groupements thiols agissent en réduisant les quinones en phénols.

Marquez *et al.* (2008) ont constaté que la POD de la gousse de vanille a diminué d'activité en présence d'acide ascorbique, de métabisulfite de sodium, d'EDTA et de SDS à 1 mmol L^{-1} , et dont les activités enzymatiques relatives étaient 48,18%, 72,84%, 70,40% et 70,83% respectivement. L'EDTA réagit comme agent de chélation de l'atome de Fe^{2+} trouvé dans le centre actif de la POD.

L'activité relative de la POD de la patate douce a été trouvée égale à 0%, 0% et 33% après incubation avec de l'acide ascorbique, l'acide citrique et de l'SDS respectivement à la concentration de 5 mmol L^{-1} (Diao *et al.*, 2014). Dans notre étude, l'effet inhibiteur de la POD par l'EDTA et l'SDS est plus puissant que leur effet inhibiteur de la PPO. En effet, l'action de l'SDS sur la PPO est très faible dans le cas des deux variétés. Par utilisation du 4-méthyl

catéchol, comme substrat, l'activité de la PPO de la pomme en présence de l'SDS commence à baisser seulement pour un pH > 6,5 (Marques et coll., 1995) et cela confirme notre résultat.

Tableau 23. Activité relative de la PPO et de la POD des dattes Deglet Nour (DN) et Ghars (G) après incubation à 10°C avec les produits chimiques (à 0,05%) pendant 12 h

Produits chimiques	Variétés	Activité relative de la PPO (%)	Activité relative de la POD (%)
Témoin	DN	100 ± 0,0	100 ± 0,0
	G	100 ± 0,0	100 ± 0,0
Acide ascorbique	DN	04,79 ± 1,38a	0,0 ± 0,0a
	G	07,73 ± 1,05b	0,0 ± 0,0a
Acide tartrique	DN	43,61 ± 1,10a	33,80 ± 1,02a
	G	56,71 ± 4,58b	97,69 ± 2,84b
Acide oxalique	DN	47,43 ± 9,07a	34,20 ± 0,41a
	G	63,34 ± 9,77b	99,43 ± 1,81b
Acide citrique	DN	40,64 ± 1,99a	26,72 ± 0,33a
	G	43,73 ± 3,01a	19,45 ± 1,27b
Na métabisulfite	DN	07,26 ± 1,16a	05,68 ± 1,06a
	G	16,58 ± 0,23b	45,56 ± 5,43b
Cysteine	DN	52,91 ± 3,15a	35,31 ± 1,72a
	G	21,61 ± 2,30b	09,58 ± 0,45b
EDTA	DN	61,98 ± 8,76a	07,89 ± 0,09a
	G	46,28 ± 1,55b	07,71 ± 0,43a
SDS	DN	96,36 ± 4,45a	05,67 ± 0,25a
	G	91,09 ± 0,02b	08,51 ± 1,67a

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne ± l'erreur standard de trois répétitions par traitement. Pour chaque traitement, les valeurs de la même colonne, suivies de lettres différentes indiquent des différences significatives entre les deux variétés à P < 0,05.

1.3.2. Effet sur la teneur phénolique

Les teneurs en composés phénoliques totaux des extraits aqueux des fruits des deux variétés de datte, déterminées après incubation avec les produits chimiques étudiés, sont présentées dans le tableau 24 avec celles du témoin sans aucun additif.

Les teneurs en phénols totaux des extraits de la datte Deglet Nour, additionnés de cystéine, métabisulfite de sodium, EDTA, acide ascorbique, acide citrique et d'acide oxalique, sont plus élevées que celle du témoin respectivement par ordre décroissant. Cependant elles en sont plus faibles en présence de l' SDS et de l'acide tartrique.

Les teneurs en phénols totaux des extraits de la datte Ghars, additionnés de métabisulfite de sodium, acide ascorbique, EDTA, acide oxalique et de la cystéine sont supérieures à celle du témoin respectivement par ordre décroissant. Toutefois, elles en sont inférieures dans le cas des acides citrique et tartrique.

Ces résultats démontrent que l'oxydation des phénols est ralentie par certains produits chimiques, principalement le métabisulfite de sodium, la cystéine, l'acide ascorbique et l'EDTA. Bien que l'acide ascorbique s'est révélé comme le plus puissant inhibiteur du brunissement enzymatique, via son importante altération de l'activité enzymatique de la PPO et de la POD, le contenu phénolique total des extraits en sa présence n'est pas très loin de celui du témoin. Néanmoins, il est nettement plus faible que celui des extraits des deux variétés en la présence de métabisulfite de sodium et celui de l'extrait de Deglet Nour additionné de cystéine. Cela peut être expliqué par la conversion probable de l'acide ascorbique à sa forme oxydée, l'acide déhydro-ascorbique, qui n'a pas d'effet réducteur.

D'autre part, il a été constaté que l'acide tartrique a diminué la teneur en phénols dans les deux variétés de dattes ; tandis que l'acide citrique a légèrement diminué la teneur en phénols de l'extrait de la datte Ghars seulement. Le pH peut être à l'origine de cette diminution. Notant qu'Altunkaya et Gokmen (2008) ont trouvé un résultat similaire avec les acides citrique et oxalique.

1.3.3. Effet sur l'activité antiradicalaire

Les résultats d'activité de piégeage des radicaux DPPH par les extraits des deux variétés de datte, additionnés des produits chimiques cités auparavant, sont indiqués dans le tableau 24. Les pourcentages d'activité antiradicalaire des extraits de Deglet Nour peuvent être classés dans l'ordre décroissant, selon les produits chimiques ajoutés en : acide ascorbique > cystéine > Na métabisulfite > EDTA > SDS > acide citrique > acide tartrique > acide oxalique > témoin. Dans le cas de la datte Ghars ils peuvent être classés de la même manière comme suit : acide ascorbique > métabisulfite de sodium > acide oxalique > SDS > cystéine > EDTA > témoin > acide tartrique > acide citrique. En effet, le pH peut affecter la réaction et conduire à de tels résultats dans le cas des acides. Par conséquent, une certaine corrélation positive

existe entre la teneur en phénols des extraits de fruits et de leurs activités de piégeage des radicaux.

La concentration peut également jouer un rôle dans ces résultats. Sachant qu'il a été signalé dans diverses études de recherche que certains produits chimiques peuvent inhiber le brunissement enzymatique à certaines concentrations et l'activer à d'autres. Notant également que l'activité antioxydante des fruits de datte est attribuée non seulement à leurs composants phénoliques, mais aussi à leurs caroténoïdes et sélénium. Ajoutant à cela le fait que les substances de chélation, notamment l'EDTA et les chélateurs à groupements thiols, peuvent diminuer l'activité antiradicalaire attendue après l'inhibition de l'oxydation des phénols, en chélatant le sélénium.

Tableau 24. Teneurs en phénols totaux et activité antiradicalaire des extraits de Deglet Nour (DN) et Ghars (G) additionnés de produits chimiques (0,05%)

Produits chimiques	Variétés	PPT (mg GAE/100 g PF)	Activité antiradicalaire (%)
Témoin	DN	107,20 ± 0,20a	60,16 ± 0,32a
	G	75,90 ± 0,15b	44,47 ± 2,73a
Acide ascorbique	DN	132,75 ± 0,45a	82,11 ± 0,33a
	G	127,50 ± 0,33a	84,12 ± 0,56b
Acide tartrique	DN	72,90 ± 0,12a	66,25 ± 0,12a
	G	67,20 ± 0,09a	40,44 ± 2,68b
Acide oxalique	DN	114,90 ± 0,35a	64,15 ± 5,05a
	G	81,60 ± 0,11b	59,54 ± 1,15b
Acide citrique	DN	122,70 ± 0,50a	68,68 ± 2,27a
	G	70,05 ± 0,21b	39,39 ± 1,03b
Na métabisulfite	DN	253,80 ± 2,80a	74,59 ± 1,29a
	G	179,40 ± 1,55b	66,72 ± 2,39b
Cysteine	DN	319,50 ± 4,22a	80,38 ± 0,62a
	G	77,85 ± 0,19b	53,08 ± 1,26b
EDTA	DN	136,80 ± 1,25a	71,36 ± 1,73a
	G	97,95 ± 0,15b	45,21 ± 2,49b
SDS	DN	92,25 ± 0,21a	70,88 ± 1,57a
	G	76,80 ± 0,15b	55,73 ± 2,32b

Les résultats sont présentés sous forme de la moyenne ± l'erreur standard à partir de trois répétitions par traitement. Pour chaque traitement, les valeurs de la même colonne, suivies de différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives entre les deux variétés à $P < 0,05$.

1.4. Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que la stabilité de la PPO et de la POD des dattes Deglet Nour et Ghars en fonction de la variation du pH et de la température reste comparable dans les deux cas pour chaque paramètre étudié et chaque variété, malgré qu'il y a de légères différences dans les activités relatives. Ces activités enzymatiques sont fortement inhibées à pH et à températures extrêmes, mais elles demeurent importantes dans une large gamme. La majorité des produits chimiques étudiés peut ralentir le brunissement enzymatique des dattes Deglet Nour et Ghars post récolte, en inhibant totalement ou partiellement les activités des polyphénoloxydases et des peroxydases. La teneur phénolique ainsi que l'activité antiradicalaire ont augmenté suite à l'addition de la majorité de ces produits inhibiteurs de la réaction du brunissement oxydant les phénols.

2. Résultats de la deuxième étude

Etude de l'effet des radiations gamma sur le brunissement enzymatique post récolte des dattes Deglet Nour et Ghars

La dose d'irradiation maximale autorisée pour la conservation des dattes est de 2,0 KGy (IAEA, 1991). En effet, le comité mixte FAO / IAEA / OMS, comme groupe d'étude, menée en 1999, a conclu que les aliments irradiés avec des doses appropriées pour atteindre l'objectif technologique recherché sont à la fois sans danger et nutritionnellement adéquats (Azemat *et al.*, 2006).

L'étude de l'effet des radiations gamma, exprimé en trois doses différentes sur les paramètres en relation avec le brunissement enzymatique s'installant au sein des deux variétés de dattes, Deglet Nour et Ghars après récolte, au bout de dix mois de stockage à deux températures différentes, ambiante (25-30°C) et basse (10°C), a permis de donner les résultats suivants :

2.1. pH

Les valeurs exprimant la variation du pH des échantillons des deux variétés de datte Deglet Nour et Ghars irradiés et témoins, stockés à températures ambiante et température basse sont données dans la figure 17 (A) et (B).

Les valeurs de pH des échantillons de Deglet Nour étant égale à 6,16 avant irradiation, ont connu une légère baisse aboutissant à dix mois de stockage aux valeurs : 6,02 et 5,07 ; 5,27 et 5,22 ; 5,32 et 5,51 ; 5,44 et 5,37 pour les doses : 0 ; 0,6 ; 1,3 et 2 KGy respectivement ; les premières valeurs de chaque doublet sont obtenues avec les échantillons stockés à température

ambiante alors que les deuxièmes sont celles des échantillons stockés à température basse. Des oscillations dans les valeurs du pH ont été observées vers cinq mois de stockage, où, on a assisté à une diminution plus prononcée dans le cas des échantillons irradiés et stockés à température ambiante et aussi dans le cas de tous les échantillons, y compris le témoin, stockés à températures basse. Cette diminution a abouti à une plus basse valeur de 4,27 dans le premier cas et 4,01 au deuxième cas. A sept mois et demi de stockage, une augmentation a été observée chez tous ces échantillons.

La diminution du pH des échantillons irradiés était plus accentuée que celle de l'échantillon témoin à partir du cinquième mois de stockage à température ambiante. Cependant, la diminution du pH était plus grande dans le cas du témoin pendant toute la période du stockage à température basse.

Remarquant que la dose 1,3 KGy a donné toujours les pH les plus élevés lors du stockage à basse température.

Les valeurs de pH des échantillons de la datte Ghars étant égale à 6,45 avant irradiation, ont subi à leur tour de légères baisses durant toute la période de stockage aboutissant après les dix mois aux valeurs : 5,61 et 5,84 ; 5,75 et 5,99 ; 5,77 et 5,78 ; 5,37 et 5,98 pour les doses : 0 (témoin) ; 0,6 ; 1,3 et 2 KGy respectivement ; les premières valeurs de chaque doublet sont obtenues avec les échantillons stockés à températures ambiante alors que les deuxièmes sont celles des échantillons stockés à température basse. Des oscillations minimales dans les valeurs du pH ont été observées aussi pour cette variété à sept mois et demi de stockage, il s'agit de légères augmentations dans les pH des échantillons : témoin stocké à température basse (6,25), irradié à 0,6 KGy stocké à température ambiante (6,45), irradié à 1,3 KGy stocké à température ambiante (6,15) et l'échantillon irradié à 2 KGy stocké à température ambiante (6,05). Le pH de l'échantillon irradié à 0,6 KGy est resté plus élevé durant toute la période de stockage à température ambiante.

2.2. Acidité titrable

L'évolution des taux d'acidités titrables, exprimés en % d'acide citrique, des extraits des deux fruits lors du stockage à température ambiante et température basse est donnée dans la figure 18.

Les taux des acidités titrables des échantillons de la datte Deglet Nour (Figure 18. A). Etant égale à 0,16 % avant irradiation, ont vu une augmentation aboutissant à dix mois de stockage aux valeurs : 0,32 et 0,29% ; 0,36 et 0,23% ; 0,34 et 0,26% ; 0,33 et 0,22% pour les doses : 0 ; 0,6 ; 1,3 et 2 KGy progressivement ; les premières valeurs de chaque doublet sont obtenues avec les échantillons stockés à température ambiante alors que les deuxièmes sont celles des échantillons stockés à température basse.

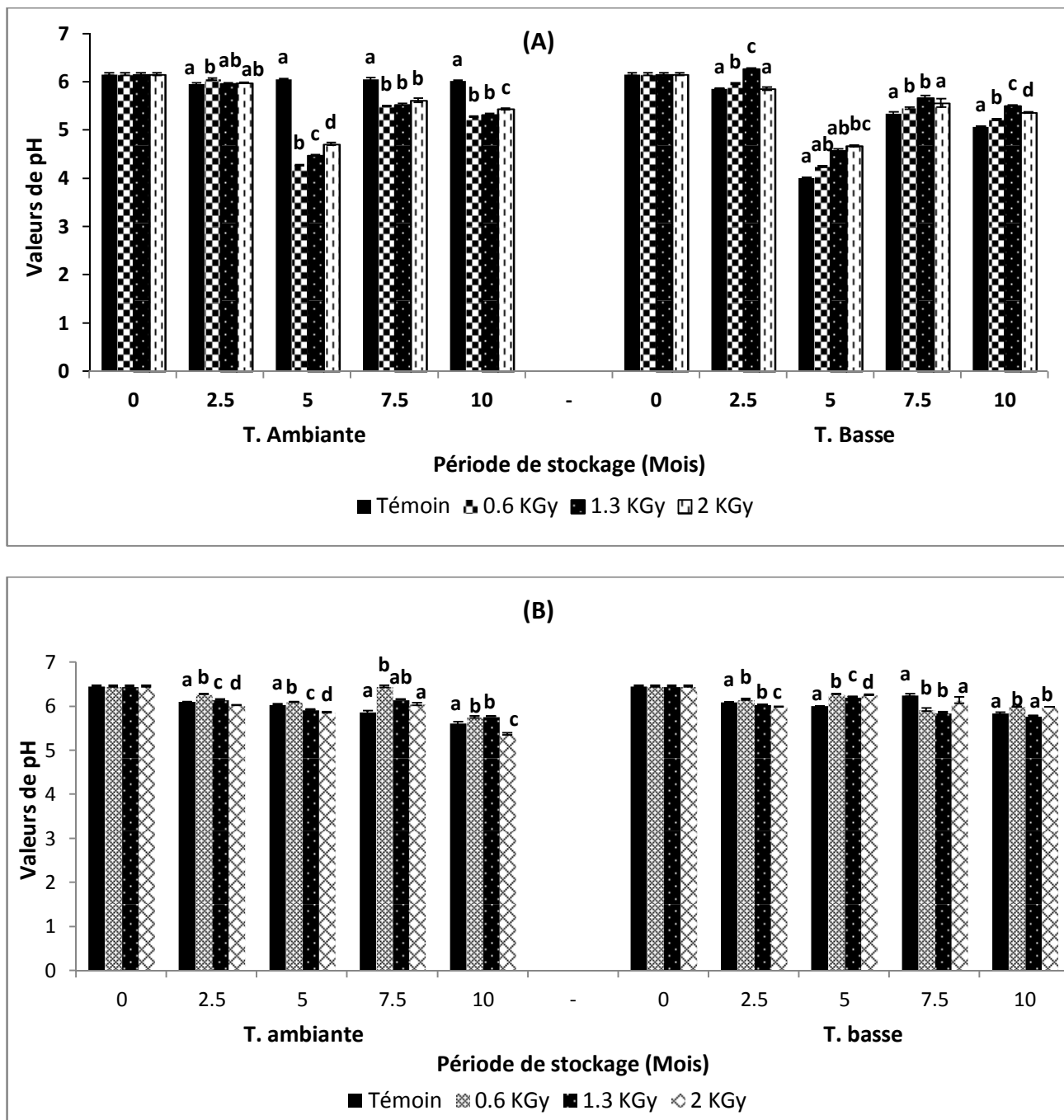


Figure 17. Variation des valeurs de pH des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

Cependant, une certaine baisse des valeurs de l'acidité titrable a été observée à cinq et sept mois et demi de stockage pour tous les échantillons y compris le témoin.

Les taux des acidités titrables des échantillons de la datté Ghars (Figure 18. B), étant égale à 0,17% avant irradiation, ont subi une augmentation plus au moins marquée après les

dix mois de stockage aux valeurs : 0,19 et 0,25% ; 0,29 et 0,35% ; 0,32 et 0,25% ; 0,45 et 0,32% pour les doses : 0; 0,6 ; 1,3 et 2 KGy progressivement ; les premières valeurs de chaque doublet sont obtenues avec les échantillons stockés à température ambiante alors que les deuxièmes sont celles des échantillons stockés à température basse. Notant, qu'il y a eu une certaine baisse des valeurs de l'acidité titrable durant la période de stockage de cinq à plus de sept mois pour tous les échantillons y compris le témoin qui a conservé sa basse valeur (0,19 %) jusqu'à la fin de l'analyse lors du stockage à température ambiante.

La figure 18 permet de distinguer la signification de la différence des taux d'acidités titrables de certains échantillons irradiés des deux variétés pour chaque période d'analyse et chaque température de stockage. Cette différence s'est exprimée tantôt par diminution et tantôt par augmentation.

2.3. Teneur en vitamine C

La variation des teneurs en vitamine C des échantillons de Deglet Nour pendant dix mois de stockage aux températures ambiante et basse est représentée dans la figure 19.

En effet, le changement de la teneur en vitamine C obéit à une augmentation plus prononcée dans le cas de l'échantillon irradié à 2 KGy à 2,5 mois de stockage à température ambiante (Figure 19. A). Au-delà de cette période, une augmentation légère mais significative a été observée uniquement pour l'échantillon irradié à 0,6 KGy jusqu'à 7,5 mois de stockage suivi d'une diminution des teneurs de tous les échantillons irradiés vers la fin de la période de stockage et cela par comparaison à la teneur de l'échantillon témoin.

L'augmentation a été observée de manière plus significative pour tous les échantillons irradiés par rapport au témoin au cours des cinq premiers mois de stockage à la température basse.

A dix mois de stockage aux deux différentes températures, les teneurs en vitamine C de tous les échantillons de la datte Deglet Nour ont diminué par comparaison à la teneur initiale avant irradiation. La teneur de l'échantillon témoin était la plus faible durant toute la période de stockage aux deux températures.

Le changement de la teneur en vitamine C des échantillons irradiés de la datte Ghars au cours des dix mois de stockage s'exprime par une augmentation plus importante dans le cas de l'échantillon irradié à 2 KGy à 2,5 mois de stockage à température ambiante ; ainsi que dans le cas des échantillons irradiés à 1,3 et 2 KGy à 2,5 mois de stockage à température basse, par comparaison au teneurs initiales avant irradiation et à celles des échantillons témoins (Figure 19. B).

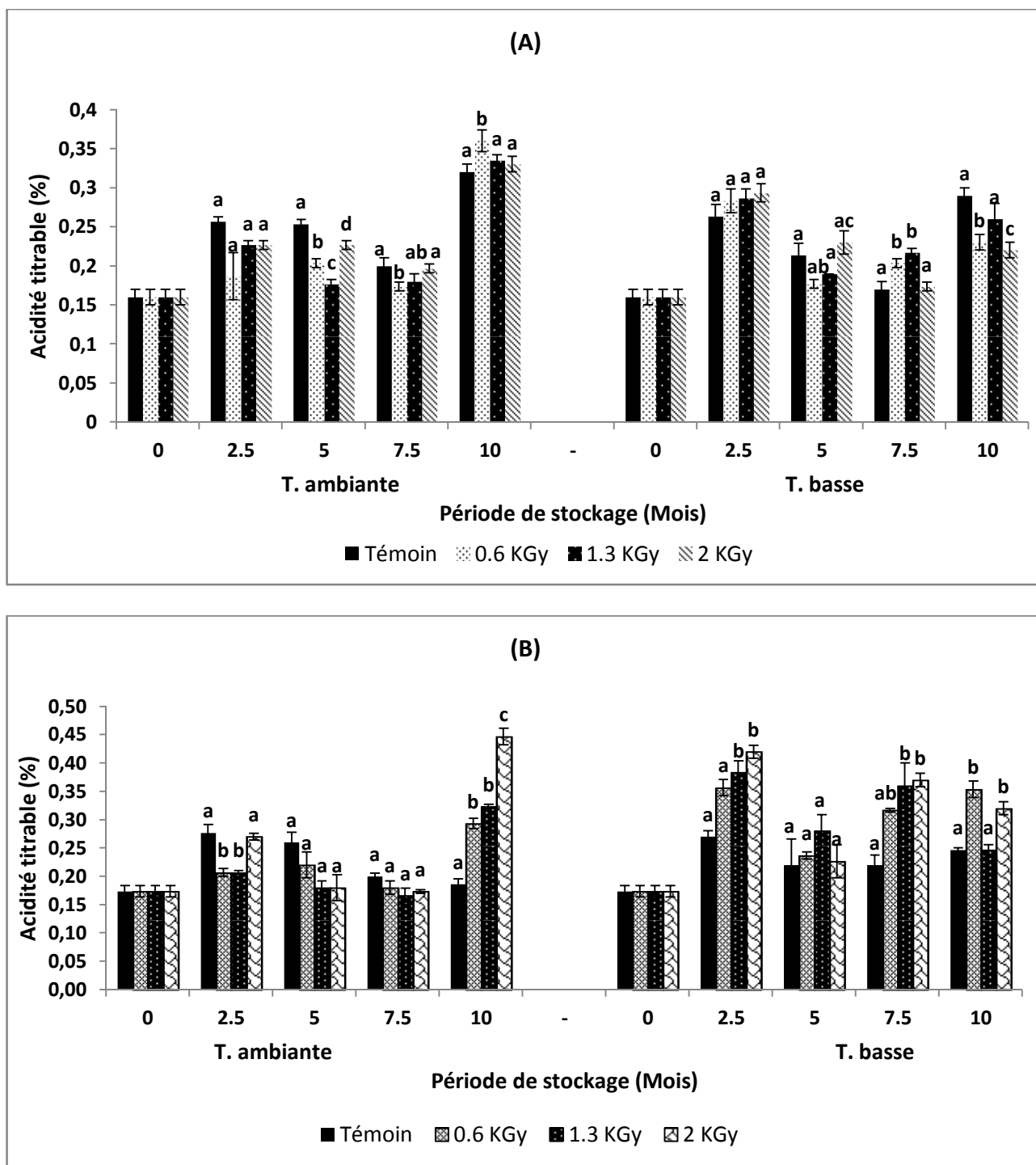


Figure 18. Changement des taux des acidités titrables des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

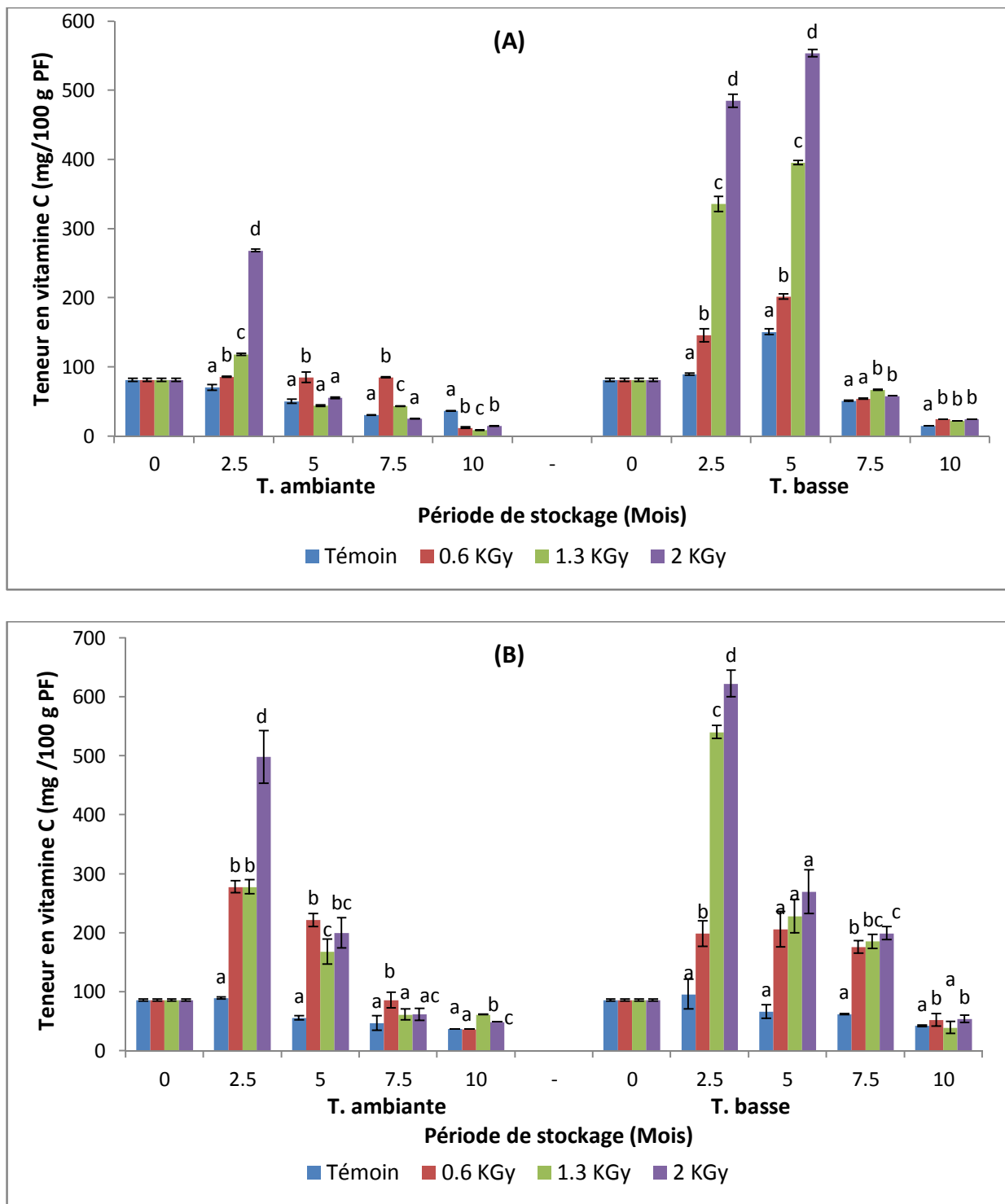


Figure 19. Changement de la teneur en vitamine C des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

Au bout des dix mois de stockage à température ambiante, les teneurs en vitamine C des échantillons de la datte Ghars ont diminué par comparaison à la teneur initiale avant irradiation. En revanche, ceux stockés à température basse ont conservé la moitié de leurs taux d'augmentation acquise pendant le stockage.

2.4. Activité enzymatique de la PPO

L'activité enzymatique de la PPO de tous les échantillons de la datte Deglet Nour a subi une diminution durant les premiers mois de stockage par rapport à l'état initiale, suivie d'une augmentation puis diminution pour certains d'entre eux seulement (Figure 20. A).

En effet, des fluctuations en continu dans le taux de cette activité enzymatique de certains échantillons témoins et irradiés ont été observées durant la période de stockage à températures ambiante et basse. La plus légère oscillation était observée dans le cas de l'échantillon irradié à 0,6 KGy et stocké à température ambiante ; ce dernier a connu de légères variations s'approchant de la stabilité au cours des dix mois de stockage.

Par comparaison aux valeurs initiales avant irradiation, les taux d'activité enzymatique de la PPO des échantillons de la datte Deglet Nour semblent en majorité diminuer au cours de la période de stockage. Cette diminution était pour tous les échantillons y compris les témoins et elle n'était pas dose dépendante.

Lors du stockage à température ambiante l'échantillon irradié à 1,3 KGy a donné, à 7,5 mois, le maximum d'activité enzymatique de la PPO ; tandis que le minimum de cette activité a été donné par l'échantillon irradié à 2 KGy à dix mois de stockage. Dans le cas du stockage à température basse, le taux le plus élevé d'activité de la PPO est issu de l'échantillon irradié à 0,6 KGy au bout de 7,5 mois de stockage ; cependant le taux le plus bas de cette activité se voit chez l'échantillon irradié à 1,3 KGy à cinq mois de stockage.

Les taux des activités enzymatiques de la PPO des échantillons témoins et irradiés de la datte Ghars ont subi à leur tour des fluctuations, entre augmentation et diminution (Figure 20. B). Le taux le plus élevé de cette activité enzymatique était celui de l'échantillon témoin à cinq mois de stockage à température ambiante et à deux mois et demi et sept mois et demi de stockage à basse température suivi de celui de l'échantillon irradié à 0,6 KGy et stocké à température ambiante. Par ailleurs, les plus bas taux d'activité ont été observés dans les cas des échantillons irradiés à 2 et 1,3 KGy à dix et cinq mois de stockage à température ambiante et à température basse respectivement. En effet, l'activité de cette enzyme au sein de la datte Ghars a été inhibée de manière significative jusqu'à 7,5 mois de stockage à température ambiante suite à l'irradiation à 1,3 KGy et jusqu'à 5 mois de stockage à la même température suite à l'irradiation à 2 KGy. En outre lors du stockage à basse température des échantillons de la même variété, l'altération d'activité de la PPO des échantillons irradiés aux 3 doses a été maintenue jusqu'à 2,5 mois et celle de l'échantillon irradié à 1,3 KGy jusqu'à la fin de la période de stockage. Les taux de la PPO des échantillons témoins et ceux irradiés à 0,6 KGy

de la datte Ghars ont augmenté dans leur majorité durant le stockage. Néanmoins, ceux irradiés aux doses 1,3 et 2 KGy étaient plus faibles, même, en comparaison aux taux des activités initiales.

2.5. Activité enzymatique de la POD

Des fluctuations moins prononcées ont été observées en mesurant les taux de l'activité enzymatique de la POD pour les échantillons des deux variétés stockés aux deux températures.

Pour la datte Deglet Nour, la plus haute valeur s'est observée dans le cas de l'échantillon irradié à 2 KGy après sept mois de stockage à température ambiante et les échantillons irradiés à 1,3 et 2 KGy au bout des dix mois de stockage à basse température (Figure 21. A). En revanche, les valeurs les plus basses de cette activité sont données par l'échantillon irradié à 2 KGy à dix mois de stockage à température ambiante et l'échantillon irradié à 1,3 KGy à deux mois et demi de stockage à basse température.

Dans le cas de la datte Ghars (Figure 21. B), l'augmentation d'activité de la POD s'observe beaucoup plus chez les échantillons irradiés et à un degré plus bas chez les échantillons témoins et cela entre les sept et dix mois de stockage aux deux températures différentes. En effet, le maximum d'activité a été obtenu avec l'échantillon irradié à 2 KGy, suivi de l'échantillon irradié à 0,6 KGy au bout de dix et sept mois et demi de stockage à basse température respectivement.

Lors du stockage à basse température, l'activité de la POD de Deglet Nour était diminuée sous l'effet d'irradiation à la dose de 0,6 KGy jusqu'à 2,5 mois de stockage et aux doses 1,3 et 2 KGy jusqu'à 7,5 et 5 mois de stockage respectivement. Dans les mêmes conditions cette activité est diminuée également dans le cas des échantillons de la datte Ghars irradiés à 0,6 et à 2 KGy jusqu'au 5^{ème} mois de stockage.

Dans le cas du stockage à température ambiante l'altération d'activité de la POD est observée seulement chez l'échantillon de Deglet Nour irradié à 2 KGy jusqu'au 5^{ème} mois.

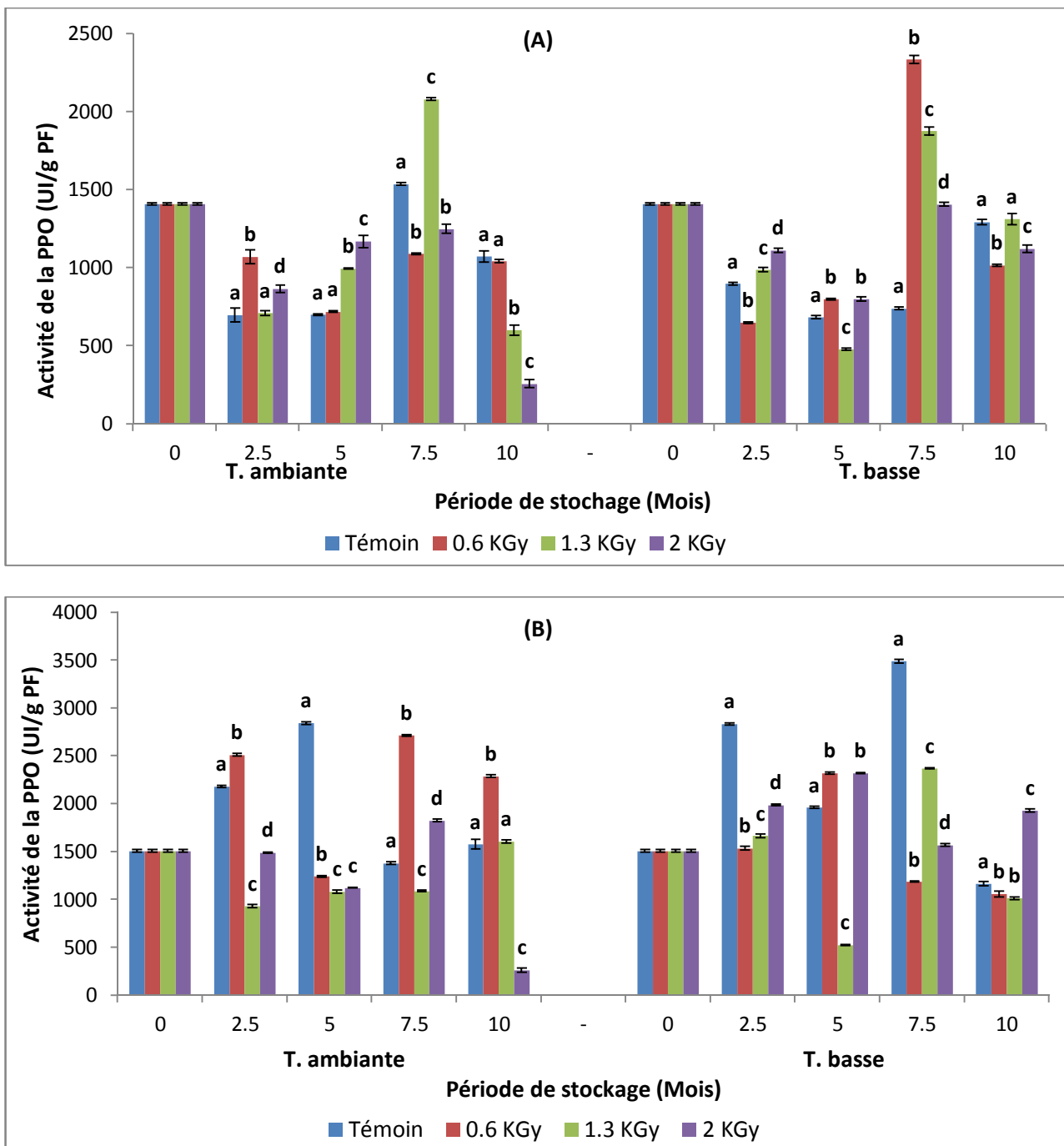


Figure 20. Evolution de l'activité de la polyphénoloxydase des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

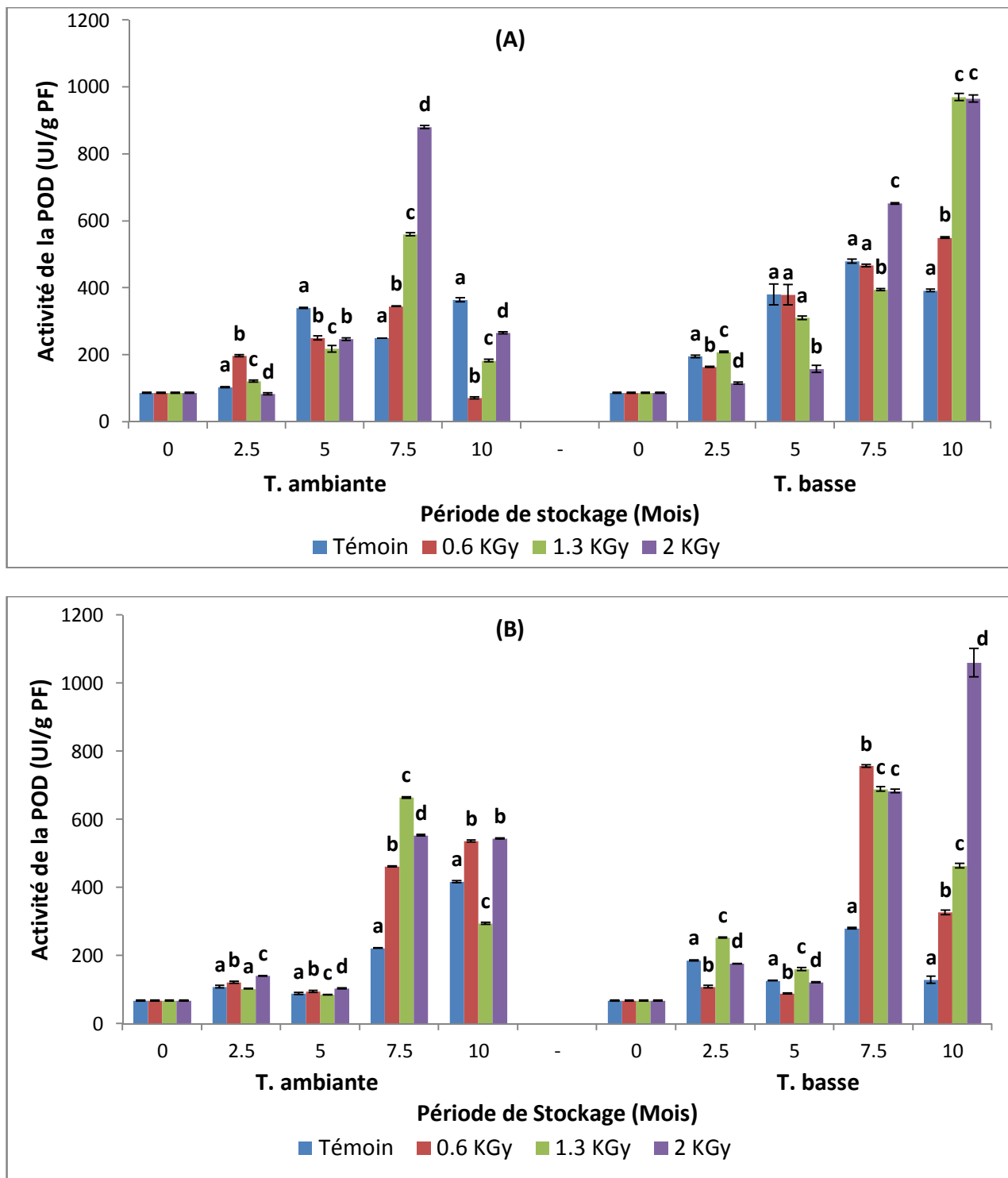


Figure 21. Evolution de l'activité de la peroxydase des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

2.6. Teneur en polyphénols totaux

Les teneurs en composés phénoliques totaux obtenues suite aux cinq analyses réalisées au cours des 10 mois de stockage des échantillons irradiés et témoins des dattes Deglet Nour et Ghars sont représentées dans la figure 22.

Les teneurs en composés phénoliques extractibles totaux des échantillons témoins et irradiés de la datte Deglet Nour ont subi une diminution progressive au cours des dix mois de stockage à température ambiante et à température basse et cela par comparaison à la teneur initiale avant irradiation qui était de 259,85 mg EAG/100 g de pulpe fraîche (Figure 22. A). Cette teneur s'est abaissée de façon plus prononcée, jusqu'à 50,95 mg EAG/100 g, dans le cas de l'échantillon témoin stocké à température ambiante versus une diminution encore plus accentuée dans le cas de l'échantillon témoin stocké à température basse (32,25 mg EAG/100 g). La plus faible diminution dans la teneur en polyphénols totaux était celle de l'échantillon irradié à 2 KGy, stocké à température basse ayant conservé 169,21 mg EAG/100 g ; suivie de la teneur de celui irradié à 0,6 KGy, stocké à température ambiante qui a donné 155,99 mg EAG/100 g. Les échantillons irradiés à 2 et 1,3 KGy n'ont conservé que 75,98 et 55,65 mg EAG/100 g respectivement au bout des dix mois de stockage à température ambiante. Alors que les échantillons irradiés à 1,3 et 0,6 KGy ont donné des teneurs de 120,14 et 69,55 mg EAG/100 g à dix mois de stockage à basse température.

Contrairement à ce qui a été obtenu avec les échantillons de la datte Deglet Nour, les teneurs en composés phénoliques extractibles totaux des échantillons irradiés de la datte Ghars ont subi une augmentation progressive au bout des dix mois de stockage allant de 145,21 mg obtenu avant irradiation à un maximum de 389,54 mg EAG /100 g de pulpe fraîche de l'échantillon irradié à 2 KGy et stocké à température ambiante et un maximum de 256,22 mg EAG/100 g de pulpe fraîche obtenu dans le cas de l'échantillon irradié à 0,6 KGy et stocké à température basse (Figure 22. B).

La forte obéissance à l'oscillation des valeurs d'activité enzymatique de la PPO et de la POD au cours du stockage, nous a incités à évaluer les coefficients de corrélations linéaires entre les variations des teneurs en polyphénols d'une part et les taux des activités enzymatiques d'autre part (Tableau 25) pour les échantillons des deux variétés stockés aux deux différentes températures.

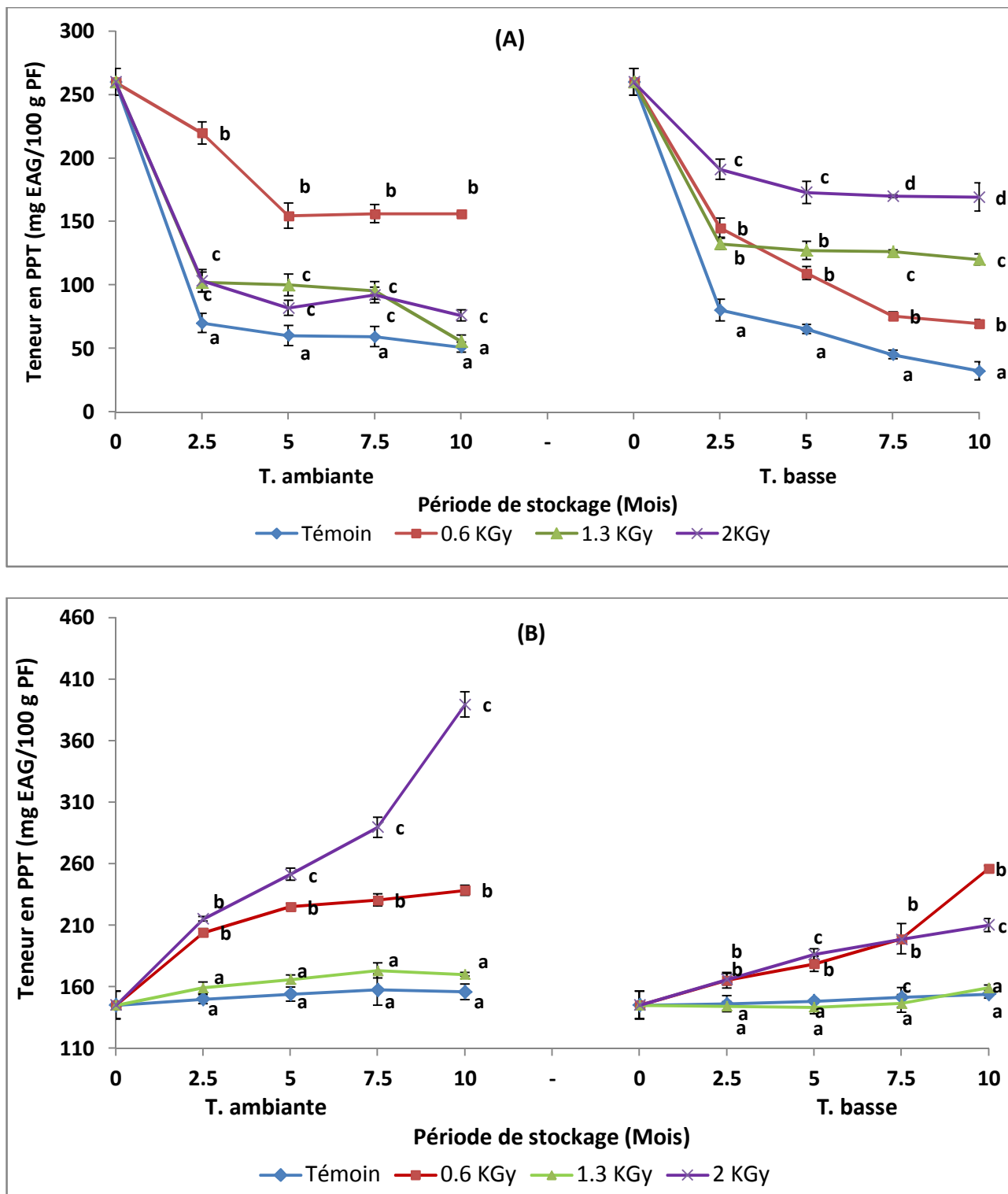


Figure 22. Evolution de la teneur en phénols totaux des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

Tableau 25. Valeurs des coefficients de régression linéaire (r) obtenus par corrélation entre la variation d'activité de la PPO et de la POD versus la variation des teneurs en PPT de Deglet Nour et Ghars

Extraits de dattes			r PPT/PPO	r PPT/POD
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation		
Deglet Nour	Ambiante	0 (témoin)	0,45	0,66
		0,6	0,78	0,45
		1,3	0,33	0,38
		2,0	0,56	0,38
	Basse	0 (témoin)	0,60	0,84
		0,6	0,14	0,91
		1,3	0,20	0,55
		2,0	0,50	0,57
Ghars	Ambiante	0 (témoin)	0,10	0,64
		0,6	0,42	0,67
		1,3	0,24	0,70
		2,0	0,70	0,83
	Basse	0 (témoin)	0,10	0,31
		0,6	0,51	0,47
		1,3	0,17	0,42
		2,0	0,28	0,84

Une corrélation linéaire plus au moins significative se voit entre la variation d'activité de la PPO et celle de la teneur en PPT de la datte DN au cours des dix mois de stockage à température ambiante ($0,33 < r < 0,78$). Une corrélation linéaire moins significative a été notée dans le cas du stockage à basse température ($0,14 < r < 0,60$). En revanche, une corrélation linéaire plus significative se voit entre le changement d'activité de la POD et celui de la teneur en PPT de la datte Deglet Nour au cours des sept premiers mois de stockage à température ambiante, cette corrélation est rompue vers la fin de la période de stockage, ce qui est vérifié beaucoup plus par l'obtention de valeurs plus basses de r (0,38 ; 0,45). La corrélation linéaire entre la variation d'activité de la POD et celle de la teneur en PPT de Deglet Nour s'est révélé plus significative ($0,55 < r < 0,91$) lors du stockage à température basse. La corrélation entre la teneur en PPT et la variation de l'activité de la PPO des échantillons de Ghars est faible dans l'ensemble pour les deux types de stockage. Tandis qu'elle est plus significative dans le cas de la POD, notamment lors du stockage à basse température.

2.7. Teneur en flavonoïdes

Une forte ressemblance des changements des teneurs en flavonoïdes avec ceux des composés phénoliques totaux a été obtenue pour les deux variétés de dattes. En effet, la diminution des teneurs en flavonoïdes des échantillons de Deglet Nour par rapport à l'état initial est faible devant celle des échantillons témoins (Figure 23. A). Les échantillons irradiés aux doses 0,6 et 2 KGy ont conservé plus de contenu en flavonoïdes pour les deux températures de stockage ; suivi des échantillons irradiés à 1,3 KGy. Le témoin n'a conservé qu'une teneur minimale.

Les échantillons irradiés de la datte Ghars ont augmenté de teneurs en flavonoïdes par rapport à l'état initial et à l'échantillon témoin au bout des dix mois de stockage (Figure 23. B). L'augmentation était plus élevée dans le cas de l'échantillon irradié à 2 KGy et stocké à température ambiante ainsi que celui irradié à 0,6 KGy et stocké à basse température.

2.8. Identification et quantification par chromatographie liquide à haute performance

L'analyse qualitative et quantitative des phénols totaux par chromatographie liquide à haute performance (HPLC), avant irradiation et juste après 10 mois de stockage à températures basse et ambiante, a permis d'identifier et quantifier dans les extraits des dattes Deglet Nour et Ghars, les phénols notés dans les tableaux 26-32. Les plus importants chromatogrammes de ces molécules sont représentés dans les figures 24-32 ; le reste des chromatogrammes figure dans les annexes.

Par rapport à l'état initial avant irradiation, l'échantillon de la datte Deglet Nour irradié à 0,6 KGy et stocké à température ambiante a augmenté de teneur en acide gallique, passant de l'état de traces à $4,3 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait ; en acide caféique (de traces à $2,2 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en acide chlorogénique (de traces à $19 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en acide salicylique (de 0 à traces) ; en épicatechine, passant de 0 à $5,5 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait ; en rutine (de 0 à $0,73 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en 4-méthyl catéchol (de traces à $10,7 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en cyanidine chloride (de 0 à $25 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) et en procyanidine B₂, passant d'une teneur de 0 à $8,6 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait.

Ce même échantillon a vu une diminution de sa teneur en quercétine (de $0,28 \cdot 10^{-2}$ à 0 mg/g d'extrait) et en lutéoline (de $199 \cdot 10^{-2}$ à 0 mg/g d'extrait).

Les augmentations des teneurs phénoliques des autres échantillons de la datte Deglet Nour stockés à température ambiante sont négligeables, devant celles de l'échantillon précédent. En revanche et contrairement à l'échantillon irradié à 0,6 KGy, l'échantillon témoin et ceux irradiés à 1,3 et 2 KGy ont connu une augmentation de la teneur en quercétine passant de $0,28 \cdot 10^{-2}$ mg/g avant irradiation à $6,14 \cdot 10^{-2}$; $6,1 \cdot 10^{-2}$ et $8,72 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait respectivement vers la fin de la période de stockage.

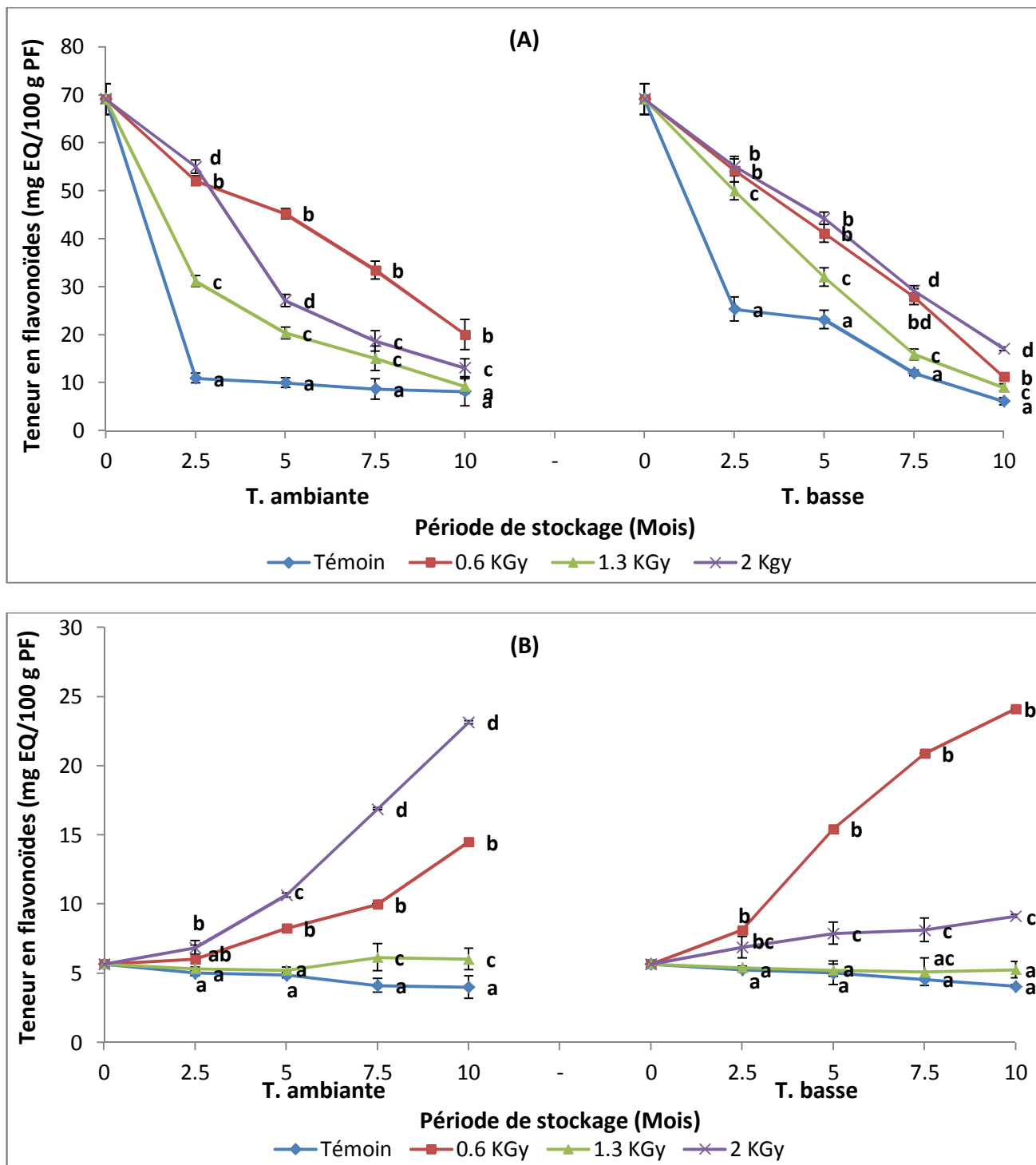


Figure 23. Evolution de la teneur en flavonoïdes des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

D'autre part, l'échantillon irradié à 2 KGy a conservé une partie de sa teneur en lutéoline ($5,18 \cdot 10^{-2}$ mg/g) inversement aux autres échantillons de cette variété stockés à la même température qui ont perdu la totalité de leurs teneurs en ce flavonoïde.

Par ailleurs, une augmentation de $3,8 \cdot 10^{-2}$ mg/g a été observée dans la teneur de la catéchine de l'échantillon témoin de la datte Deglet Nour stocké à température ambiante.

Les échantillons de la datte Deglet Nour stockés à basse température, à l'exception du témoin, ont connu de légères augmentations des teneurs en acides salicylique et tannique ; aussi des augmentations plus grandes des teneurs en coumarine et vanilline. D'autre part, les valeurs de $06,40 \cdot 10^{-2}$; $07,46 \cdot 10^{-2}$; $07,08 \cdot 10^{-2}$ et $05,45 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait ont fait l'objet d'une augmentation de la teneur en quercétine dans le cas du témoin et des échantillons irradiés aux doses 0,6 ; 1,3 et 2 KGy respectivement.

Par comparaison à l'état initial avant irradiation, l'échantillon de la datte Ghars irradié à 2 KGy a subi durant les dix mois de stockage à température ambiante une augmentation de sa teneur en acide gallique, passant de traces à $6,84 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait, en acide p-hydroxybenzoïque (de 0 à $604 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en acide caféique (de 0 à $6,51 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en acide chlorogénique (de traces à $27,13 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en catéchine (de 0 à $10,12 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en épicatechine, passant de 0 à $8,88 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait ; en 4-méthyl catéchol (de 0 à $15,38 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) ; en cyanidine chlorure (de 0 à $41,56 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) et en procyanidine B₂, passant d'une teneur de 0 à $13,93 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait en plus d'une légère augmentation en acide tannique. Ce même échantillon a perdu une partie de sa teneur en quercétine (de $3,5 \cdot 10^{-2}$ à 0 mg/g d'extrait) et en lutéoline (de $5,3 \cdot 10^{-2}$ à 0 mg/g d'extrait). Comparées aux taux élevés des phénols cités précédemment, acquis par l'échantillon irradié à 2 KGy, les augmentations pour les autres échantillons de la datte Ghars stockés à température ambiante sont négligeables voire mêmes nulles. En revanche et contrairement à l'échantillon irradié à 2 KGy, l'échantillon témoin et ceux irradiés à 0,6 et 1,3 KGy ont connu une augmentation de la teneur en quercétine passant de $3,5 \cdot 10^{-2}$ mg/g avant irradiation à $9,7 \cdot 10^{-2}$; $11,56 \cdot 10^{-2}$ et $10,55 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait respectivement vers la fin de la période de stockage.

De même, l'échantillon irradié à 1,3 KGy a vu une diminution de sa teneur en lutéoline passant de $5,3 \cdot 10^{-2}$ à $4,06 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait) et celui irradié à 0,6 KGy a acquis $10,7 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait en 4-méthyl catéchol.

Dans le cas des échantillons de la datte Ghars stockés à température basse, c'est l'échantillon irradié à 0,6 KGy qui a eu plus d'augmentations dans ses teneurs en composés phénoliques. Comparé à l'état initial avant irradiation, ce dernier a acquis une teneur de l'ordre de $13,52 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait en acide hydroxybenzoïque ; des quantités infimes en acides salicylique, tannique, chlorogénique, coumarique et gallique ainsi qu'en épicatechine et vanilline ; $0,42 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait en catéchine ; $0,18 \cdot 10^{-2}$ mg/g d'extrait en acide caféique ;

$5,56.10^{-2}$ mg/g d'extrait en quercétine ; $0,02.10^{-2}$ mg/g d'extrait en coumarine ; $4,78.10^{-2}$ mg/g d'extrait en cyanidine chlorure et $0,25.10^{-2}$ mg/g d'extrait en procyanidine B₂.

D'autre part, une augmentation en lutéoline de 51.10^{-2} mg/g d'extrait à partir d'une valeur initiale de $5,3.10^{-2}$ mg/g a été aussi observée pour cet échantillon.

Les augmentations des taux de phénols des autres échantillons, irradiés et témoin, de la datte Ghars stockés à basse température sont négligeables devant celles de l'échantillon irradié à 0,6 KGy et stocké à la même température ; hormis l'augmentation en quercétine aboutissant aux valeurs : $8,66.10^{-2}$; $6,39.10^{-2}$; $13,2.10^{-2}$ mg/g d'extrait observée dans le cas du témoin et des échantillons irradiés à 1,3 et 2 KGy respectivement et ainsi en coumarine, dont les teneurs observées sont : $0,1.10^{-2}$; $0,05.10^{-2}$; $0,22.10^{-2}$ mg/g d'extrait pour les mêmes échantillons respectivement. Ceux-ci ont connu également une augmentation en vanilline de l'ordre de $0,19.10^{-2}$; $0,11.10^{-2}$; $0,43.10^{-2}$ mg/g d'extrait respectivement. Par ailleurs, de légères élévations ont été aussi mises en évidence dans le cas de l'échantillon irradié à 2 KGy, il s'agit d'une hausse de $0,48.10^{-2}$ mg/g d'extrait de la teneur en catéchine et de $1,17.10^{-2}$ mg/g d'extrait dans la teneur en lutéoline.

Les taux les plus élevés de composés phénoliques des échantillons des deux variétés de datte sont observés chez les échantillons irradiés à 0,6 et 2 KGy de la datte Deglet Nour stockés à température ambiante et température basse respectivement ; ainsi que chez les échantillons irradiés à 0,6 et 2 KGy de la datte Ghars stockés à température basse et à température ambiante respectivement.

Tableau 26. Teneurs en acides hydroxybenzoïque, salicylique et gallique des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et à 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.

Extraits de dattes			Teneurs en composés phénoliques (mg g ⁻¹ d'extrait)				
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation	Acide P-hydroxybenzoïque	Acide salicylique	Acide gallique		
Deglet Nour	-	Avant irradiation	0	Traces (+)	Traces (+)		
		Ambiante	0 (témoin)	0	Traces (+)	Traces (+)	
			0,6	0	00	04,30.10 ⁻²	
			1,3	0	00	0	
	2,0		0	Traces (++)	0		
	Basse	0 (témoin)	0	Traces (+)	0		
		0,6	0	Traces (++++)	0		
		1,3	0	Traces (++)	0		
		2,0	0	Traces (++)	0		
	Ghars	-	Avant irradiation	0	0	0	
			Ambiante	0 (témoin)	0	Traces (+)	0
				0,6	0	Traces (++++)	0
1,3				0	Traces (++++)	0	
2,0		604.10 ⁻²		0	06,84.10 ⁻²		
Basse		0 (témoin)	0	Traces (++)	0		
		0,6	13,52.10 ⁻²	Traces (++++)	Traces (++)		
		1,3	0	Traces (++)	0		
		2,0	0	Traces (++)	0		

Tableau 27. Teneurs en acides hydroxy-cinnamique, trans-cinnamique et caféique des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et à 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.

Extraits de dattes			Teneurs en composés phénoliques (mg g ⁻¹ d'extrait)				
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation	Acide hydroxy-cinnamique	Acide trans-cinnamique	Acide caféique		
Deglet Nour	-	Avant irradiation	Traces (+)	0	Traces (+)		
		Ambiante	0 (témoin)	0	0	Traces (+)	
			0,6	0	0	02,20.10 ⁻²	
			1,3	0	0	00	
			2,0	0	0	Traces (+)	
	Basse	0 (témoin)	0	0	Traces (+)		
		0,6	0	0	Traces (+)		
		1,3	0	0	Traces (+)		
		2,0	0	0	Traces (+)		
		Ghars	-	Avant irradiation	0	0	0
	Ambiante			0 (témoin)	0	0	0
				0,6	0	0	0
1,3				0	0	0	
2,0				0	0	06,51.10 ⁻²	
Basse	0 (témoin)		0	0	0		
	0,6		0	0	0,18.10 ⁻²		
	1,3		0	0	0		
	2,0		0	0	0		

Tableau 28. Teneurs en acides chlorogénique, coumarique et tannique des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et à 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.

Extraits de dattes			Teneurs en composés phénoliques (mg g ⁻¹ d'extrait)		
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation	Acide chlorogénique	Acide coumarique	Acide tannique
Deglet Nour	-	Avant irradiation	Traces (+)	0	Traces (+)
		Ambiante	0 (témoin)	0	0
	0,6		19.10 ⁻²	0	00
	1,3		0	0	Traces (+++)
	2,0		0	0	Traces (+++)
	Basse	0 (témoin)	0	0	Traces (+++)
		0,6	0	0	Traces (++++)
		1,3	0	0	Traces (++++)
		2,0	0	0	Traces (++++)
	Ghars	-	Avant irradiation	0	0
Ambiante			0 (témoin)	0	0
		0,6	0	0	Traces (++++)
		1,3	0	0	Traces (++++)
		2,0	27,13.10 ⁻²	0	0
Basse		0 (témoin)	0	0	Traces (++++)
		0,6	Traces (++)	Traces (++)	Traces (+++)
		1,3	Traces (+)	0	Traces (++++)
		2,0	0	0	Traces (++++)

Tableau 29. Teneurs en catéchine, épicatechine et quercétine des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et à 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.

Extraits de dattes			Teneurs en composés phénoliques (mg g ⁻¹ d'extrait)			
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation	Catéchine	Épicatéchine	Rutine	Quercétine
Deglet Nour	-	Avant irradiation	Traces (+)	0	0	0,28.10 ⁻²
		Ambiante	0 (témoin)	03,8.10 ⁻²	0	0
	0,6		0	05,5.10 ⁻²	0,73.10 ⁻²	00
	1,3		0	0	0	06,10.10 ⁻²
	2,0		0	0	0	08,72.10 ⁻²
	Basse	0 (témoin)	0	0	0	06,40.10 ⁻²
		0,6	0	0	0	07,46.10 ⁻²
		1,3	0	0	0	07,08.10 ⁻²
		2,0	0	0	0	05,45.10 ⁻²
	Ghars	-	Avant irradiation	0	0	00
Ambiante			0 (témoin)	0	0	0
		0,6	0	0	0	11,56.10 ⁻²
		1,3	0	0	0	10,55.10 ⁻²
		2,0	10,12.10 ⁻²	08,88.10 ⁻²	0	0
Basse		0 (témoin)	0	0	0	08,66.10 ⁻²
		0,6	0,42.10 ⁻²	Traces (+)	0	05,56.10 ⁻²
		1,3	0,48.10 ⁻²	0	0	06,39.10 ⁻²
		2,0	0	0	0	13,20.10 ⁻²

Tableau 30. Teneurs en coumarine, 4-méthylcatéchol et lutéoline des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et à 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.

Extraits de dattes			Teneurs en composés phénoliques (mg g ⁻¹ d'extrait)		
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation	Coumarine	4-méthyl catéchol	Lutéoline
Deglet Nour	-	Avant irradiation	Traces (+)	Traces (++)	199.10 ⁻²
		Ambiante	0 (témoin)	0,01.10 ⁻²	0
	0,6		00	10,7.10 ⁻²	0
	1,3		0,03.10 ⁻²	0	0
	2,0		00	0	05,18.10 ⁻²
	Basse	0 (témoin)	0	0	0
		0,6	0,08.10 ⁻²	0	0
		1,3	0,07.10 ⁻²	0	0
		2,0	0,02.10 ⁻²	0	11,05.10 ⁻²
	Ghars	-	Avant irradiation	Traces (++)	0
Ambiante			0 (témoin)	0,11.10 ⁻²	0
		0,6	0,17.10 ⁻²	0	0
		1,3	0,15.10 ⁻²	0	04,06.10 ⁻²
		2,0	0	15,38.10 ⁻²	0
Basse		0 (témoin)	0,10.10 ⁻²	0	0
		0,6	0,02.10 ⁻²	0	51,73.10 ⁻²
		1,3	0,05.10 ⁻²	0	05,08.10 ⁻²
		2,0	0,22.10 ⁻²	0	06,47.10 ⁻²

Tableau 31. Teneurs en cyanidine chloride, vanilline et procyanidine B₂ des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et à 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse.

Extraits de dattes			Teneurs en composés phénoliques (mg g ⁻¹ d'extrait)			
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation	Cyanidine chloride	Vanilline	Procyanidine B ₂	
Deglet Nour	-	Avant irradiation	0	Traces (+)	0	
		Ambiante	0 (témoin)	0	Traces (+++++)	0
	0,6		25.10 ⁻²	0	08,6.10 ⁻²	
	1,3		0	Traces (+++++)	0	
	2,0		0	0	0	
	Basse	0 (témoin)	0	0	0	
		0,6	0	0,20.10 ⁻²	0	
		1,3	0	0,16.10 ⁻²	0	
		2,0	0	0,03.10 ⁻²	0	
	Ghars	-	Avant irradiation	0	Traces (+++++)	0
			Ambiante	0 (témoin)	0	0,08.10 ⁻²
		0,6		0	0,25.10 ⁻²	0
1,3		0		0,15.10 ⁻²	0	
2,0		41,56.10 ⁻²		0	13,93.10 ⁻²	
Basse		0 (témoin)	0	0,19.10 ⁻²	0	
		0,6	04,78.10 ⁻²	Traces (+++)	0,25.10 ⁻²	
		1,3	0	0,11.10 ⁻²	0	
		2,0	0	0,43.10 ⁻²	0	

Tableau 32. Récapitulatif des teneurs en flavonoïdes et en polyphénols totaux des extraits des échantillons de Deglet Nour et Ghars avant irradiation et à 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse (dosage par HPLC).

Extraits de dattes			Teneurs en composés phénoliques (mg g^{-1}) d'extrait	
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation	Flavonoïdes identifiés	Polyphénols totaux identifiés
Deglet Nour	-	Avant irradiation	199.10^{-2}	$200,5.10^{-2}$
	Ambiante	0 (témoin)	$09,49.10^{-2}$	$10,95.10^{-2}$
		0,6	$41,93.10^{-2}$	$86,83.10^{-2}$
		1,3	$06,10.10^{-2}$	$06,95.10^{-2}$
		2,0	$13,90.10^{-2}$	$14,25.10^{-2}$
	Basse	0 (témoin)	$06,40.10^{-2}$	$06,61.10^{-2}$
		0,6	$07,46.10^{-2}$	$08,15.10^{-2}$
		1,3	$07,08.10^{-2}$	$15,82.10^{-2}$
		2,0	$16,50.10^{-2}$	$17,22.10^{-2}$
	Ghars	-	Avant irradiation	$08,80.10^{-2}$
Ambiante		0 (témoin)	$09,70.10^{-2}$	$10,18.10^{-2}$
		0,6	$36,66.10^{-2}$	$37,84.10^{-2}$
		1,3	$14,61.10^{-2}$	$14,19.10^{-2}$
		2,0	$60,56.10^{-2}$	$734,35.10^{-2}$
Basse		0 (témoin)	$08,66.10^{-2}$	$09,45.10^{-2}$
		0,6	$62,49.10^{-2}$	$77,95.10^{-2}$
		1,3	$11,95.10^{-2}$	$13,11.10^{-2}$
		2,0	$19,67.10^{-2}$	$21,08.10^{-2}$

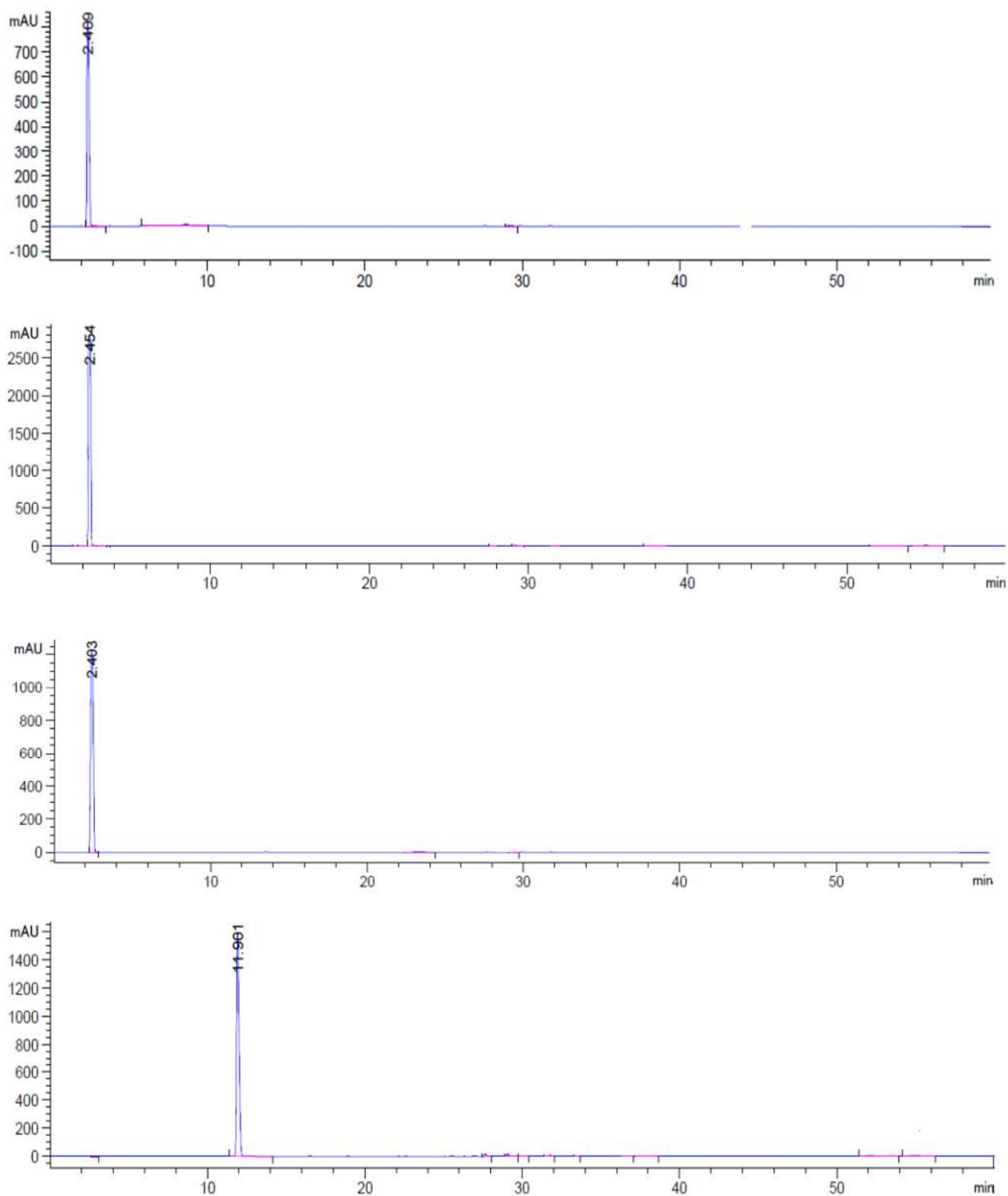


Figure 24. Chromatogrammes, de haut au bas, des acides chlorogénique, gallique, caféique et p-hydroxybenzoïque.

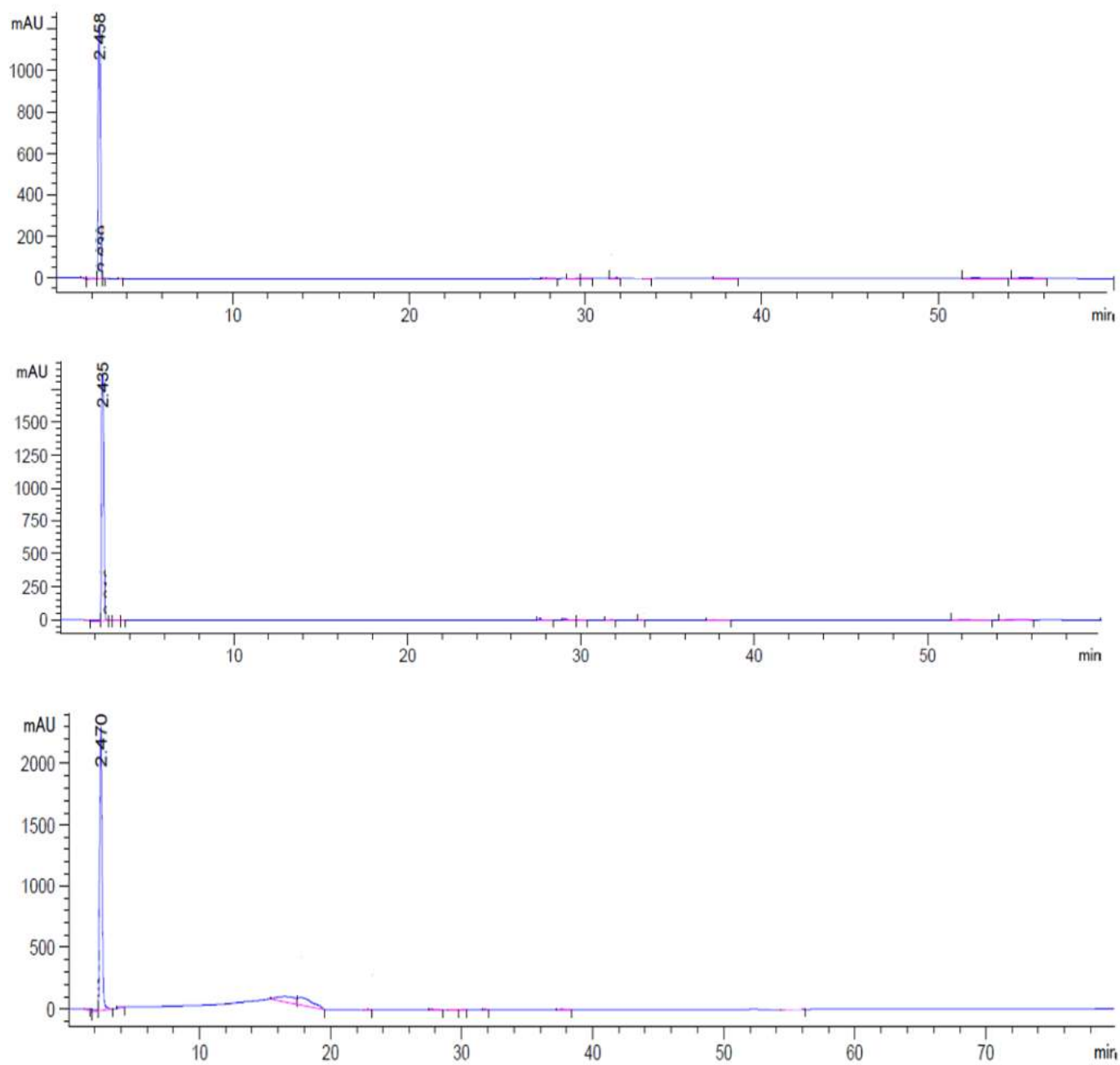


Figure 25. Chromatogrammes, de haut au bas, de catéchine, épicatechine et quercétine

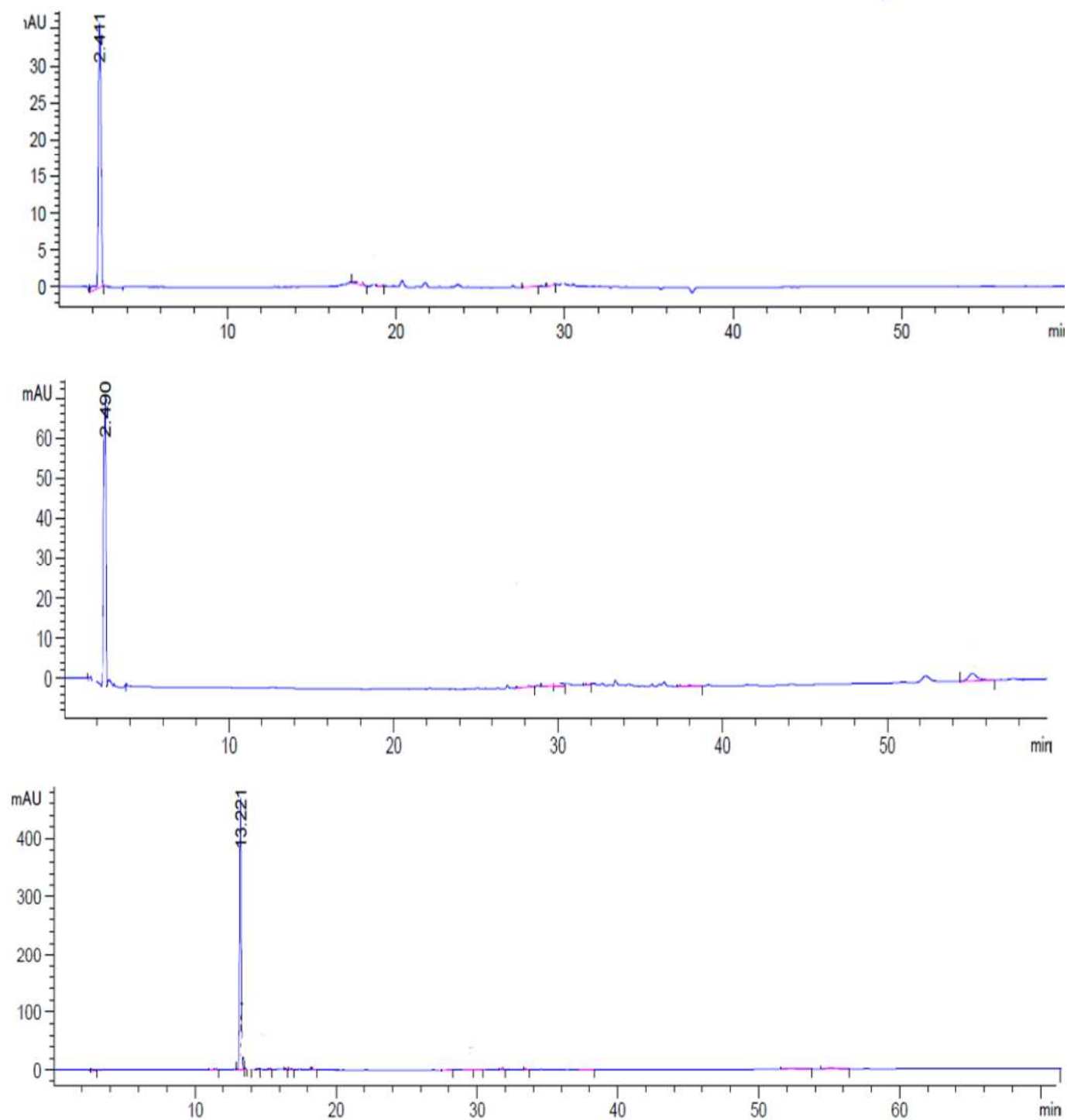


Figure 26. Chromatogrammes, de haut au bas, de lutéoline, cyanidine chloride et procyanidine B2

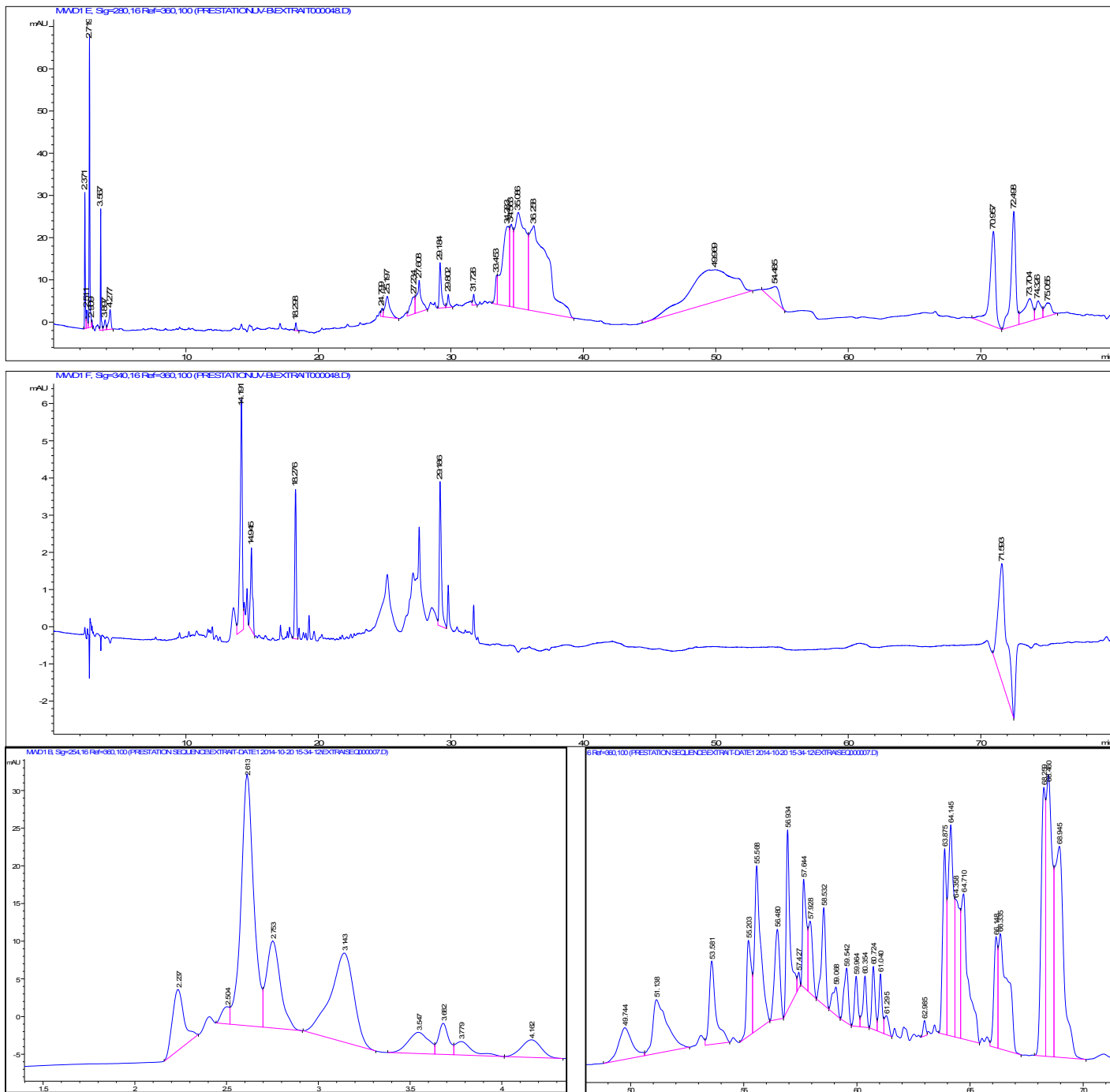


Figure 27. Chromatogrammes de l'extrait de Deglet Nour avant irradiation (Détection à 280 et 340 nm)

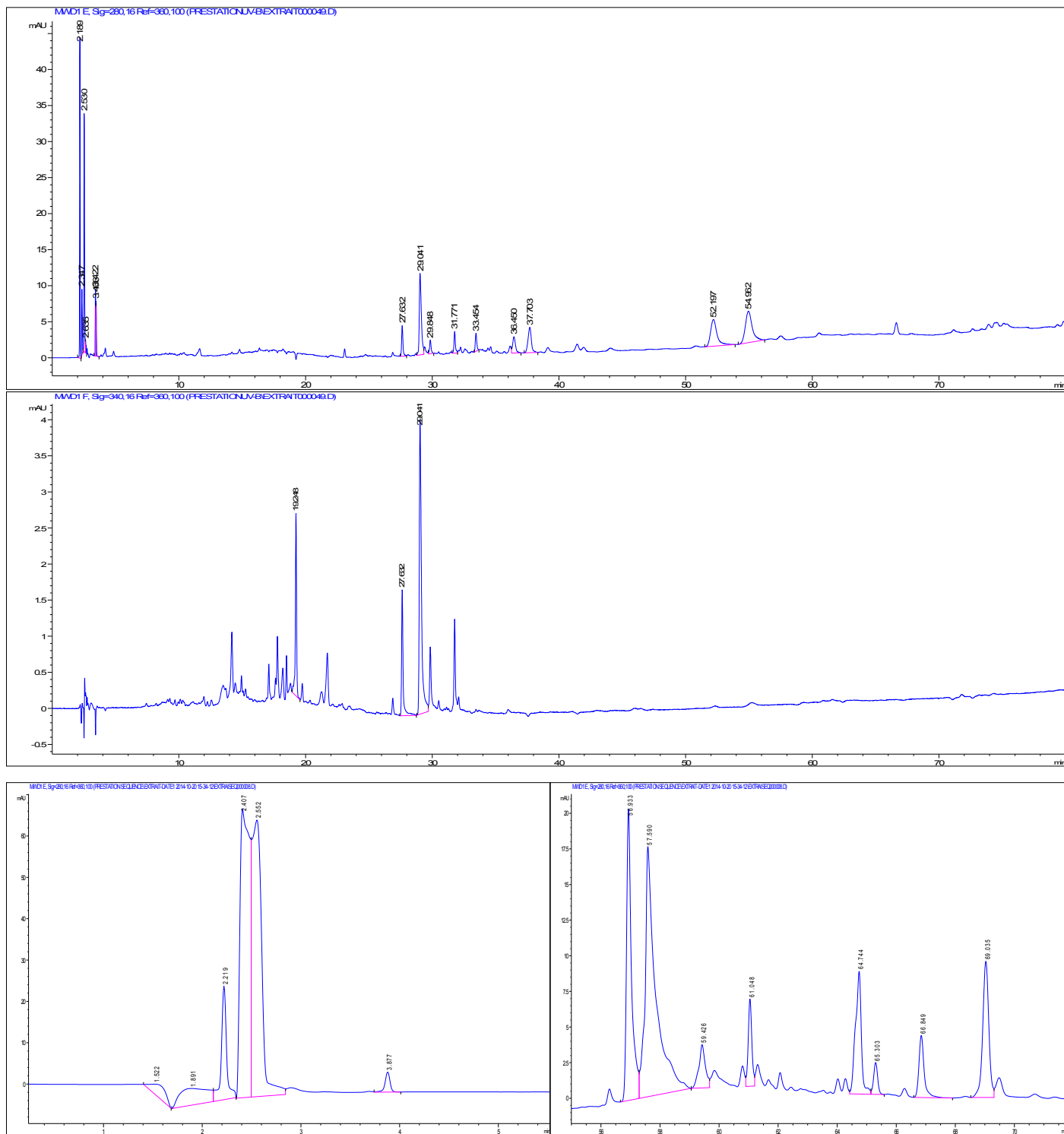


Figure 28. Chromatogrammes de l'extrait de Ghars avant irradiation (Détection à 280 et 340 nm).

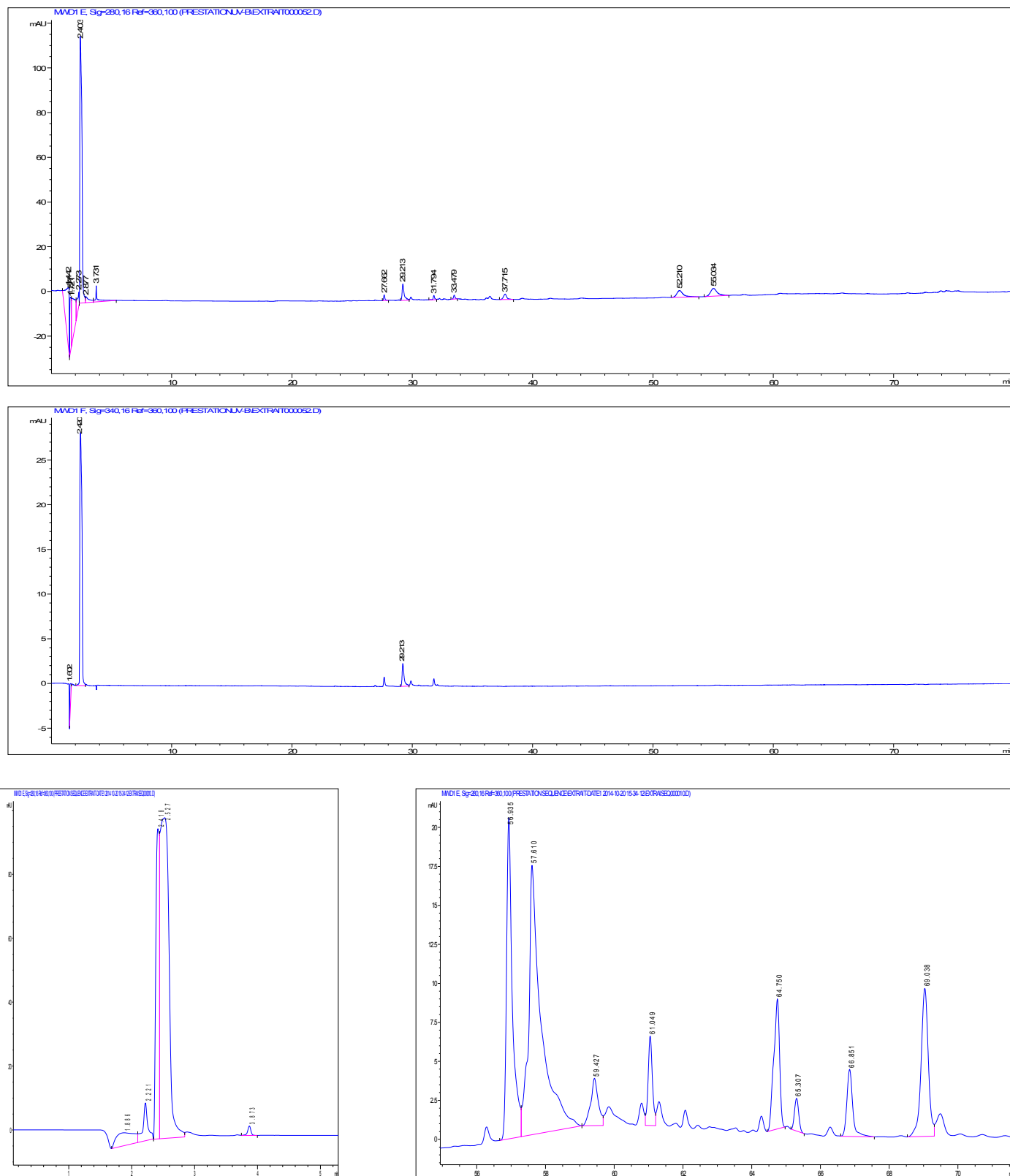


Figure 29. Chromatogramme de l'extrait de Deglet Nour (0,6 KGy) à 10 mois de stockage à température ambiante (Détection à 280 et 340 nm)

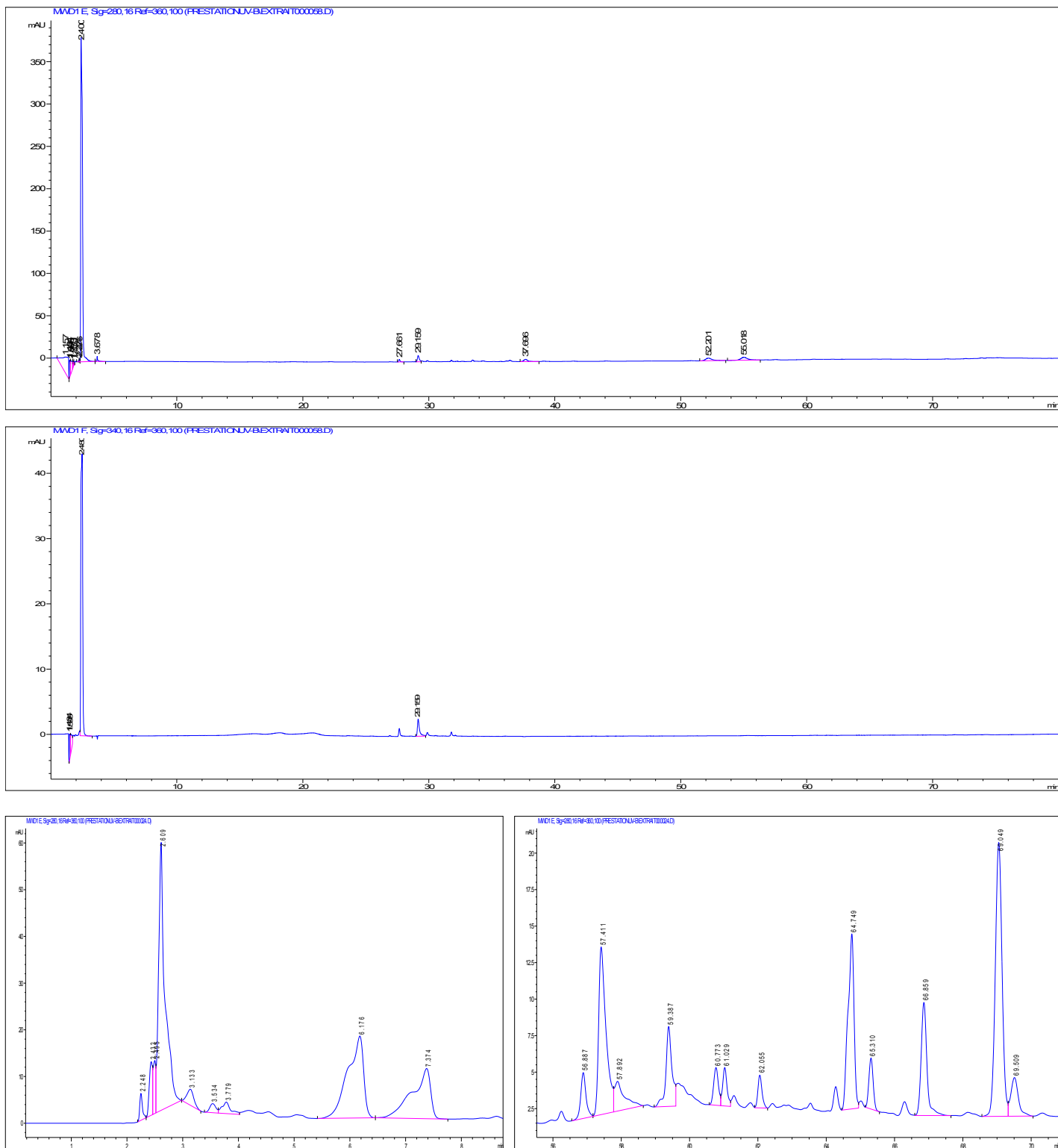


Figure 30. Chromatogramme de l'extrait de Ghars (2 KGy) à 10 mois de stockage à température ambiante (Détection à 280 et 340 nm).

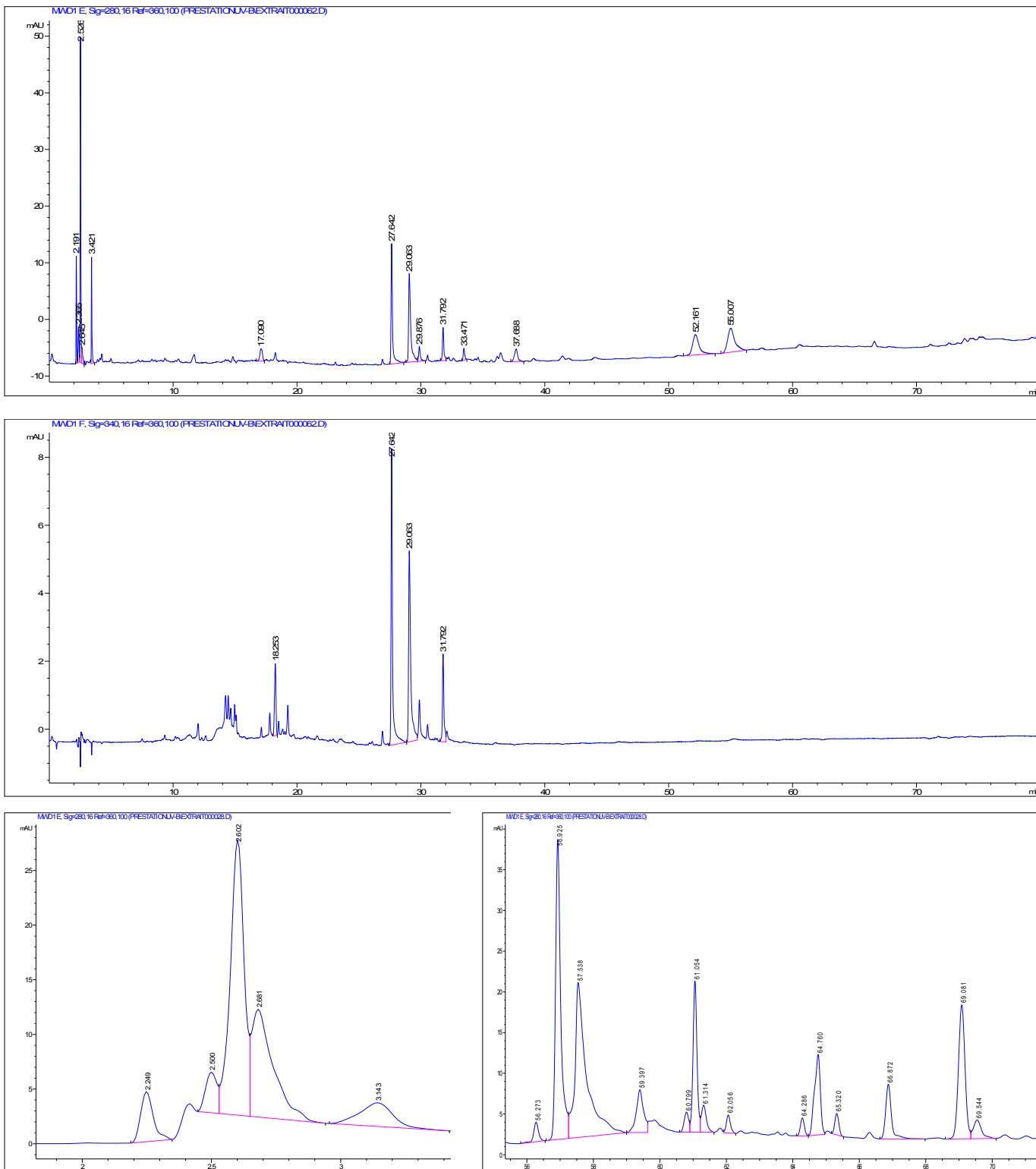


Figure 31. Chromatogramme de l'extrait de Deglet Nour (2 KGy) à 10 mois de stockage à température basse (Détection à 280 et 340 nm).

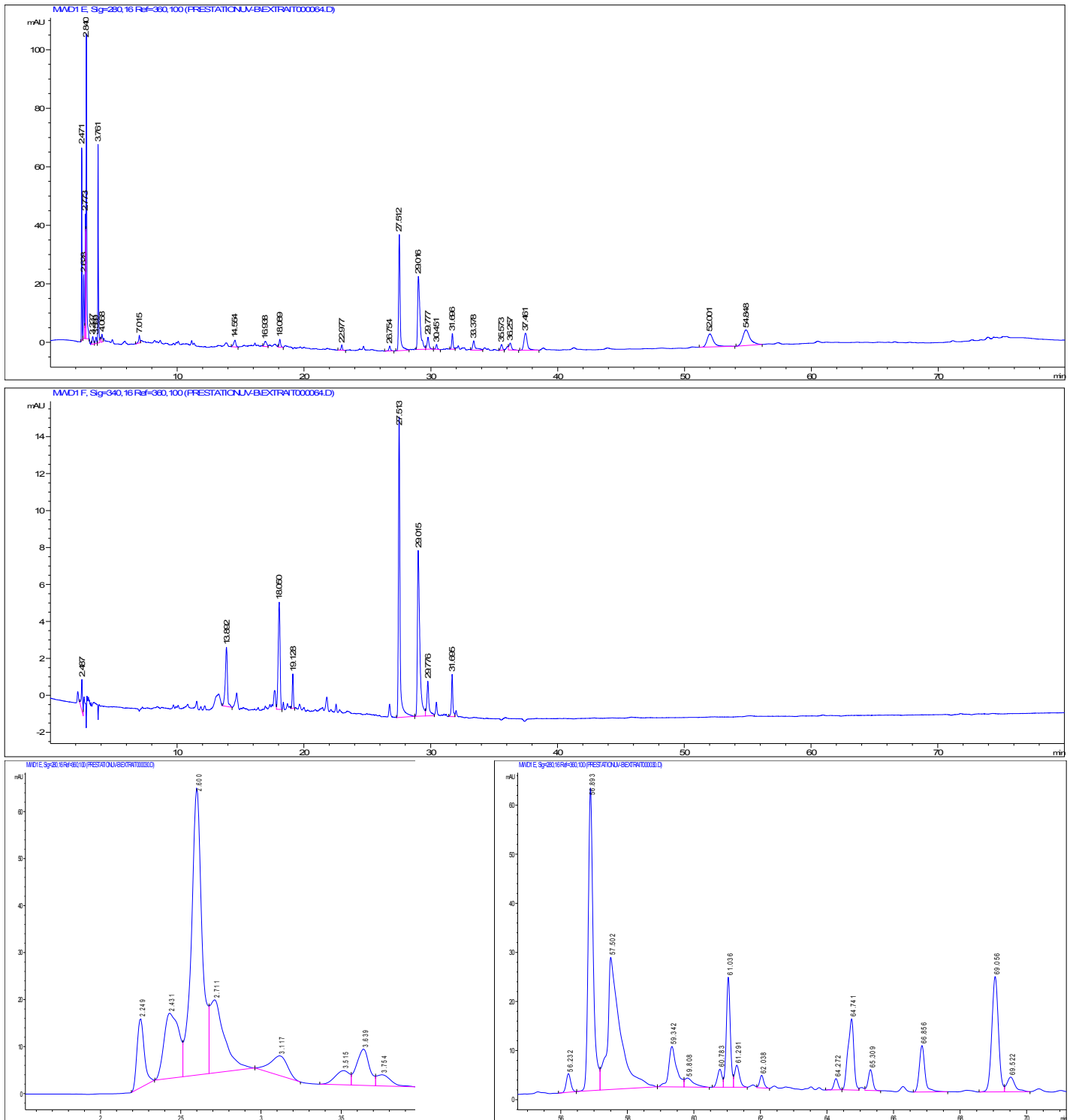


Figure 32. Chromatogramme de l'extrait de Ghars (0,6 KGy) à 10 mois de stockage à température basse (Détection à 280 et 340 nm).

2.9. Indice de brunissement

L'évolution de la couleur des échantillons comme indice de brunissement a été mesurée par la lecture des absorbances à 430 nm. Les résultats sont exprimés en Abs g^{-1} PF et résumés dans la figure 20. Par rapport à l'état initial, une augmentation modérée dans l'intensité de coloration des extraits des échantillons de la datte Deglet Nour a été observée (Figure 33. A). En effet, elle est passée de 0,210 à un maximum de 0,430 donné par l'échantillon témoin et celui irradié à 1,3 KGy stockés tous deux à température ambiante, cette valeur initiale est aussi passée à un maximum de 0,470 donné par l'échantillon irradié à 0,6 KGy, stocké à température basse.

Une augmentation plus prononcée a été marquée dans le cas des échantillons de la datte Ghars (Figure 33. B) ; où on a eu un passage de 0,169 aux valeurs de 0,6 ; 0,625 ; 0,7 et 0,745 à dix mois de stockage à température ambiante des échantillons irradiés à 1,3 ; 2,0 ; témoin et échantillon irradié à 0,6 KGy respectivement. La valeur maximale de l'absorbance des échantillons stockés à température basse a été obtenue avec l'échantillon témoin, elle est de 0,653.

2.10. Activité de piégeage du radical DPPH

Les résultats du suivi de changement des pourcentages d'activité antiradicalaire des échantillons irradiés et témoins des dattes Deglet Nour et Ghars au cours des dix mois de stockage à température ambiante et à température basse sont indiqués dans la figure 34.

A dix mois de stockage des échantillons de la datte Deglet Nour, l'activité antiradicalaire contre le DPPH de l'échantillon irradié à 0,6 KGy et stocké à température ambiante est totalement préservée par comparaison à son taux initial avant irradiation (Figure 34. A). Les autres échantillons irradiés et stockés à la même température ont subi, par contre, une diminution aboutissant à des taux de 57% et 48,25% dans le cas de la dose de 2 et 1,3 KGy respectivement. La diminution du taux de l'activité antioxydante de l'échantillon témoin était plus prononcée dès les premiers mois de stockage et dont le taux final est comparable à celui de l'échantillon irradié à 1,3 KGy.

En revanche, lors du stockage à basse température, la diminution du pourcentage de l'activité antiradicalaire a été observée dans le cas de tous les échantillons et dont la plus grande diminution était celle du témoin, non irradié, suivie de celles des échantillons irradiés à 0,6 ; 1,3 et 2 KGy respectivement.

Le pouvoir réducteur des composés phénoliques et de l'acide ascorbique a été élucidé dans maintes études de recherche, ce qui nous a incités à établir une corrélation linéaire entre les teneurs en phénols et en vitamine C versus le pouvoir de piégeage du radical DPPH des échantillons des deux fruits et dont les résultats sont donnés dans le tableau 33.

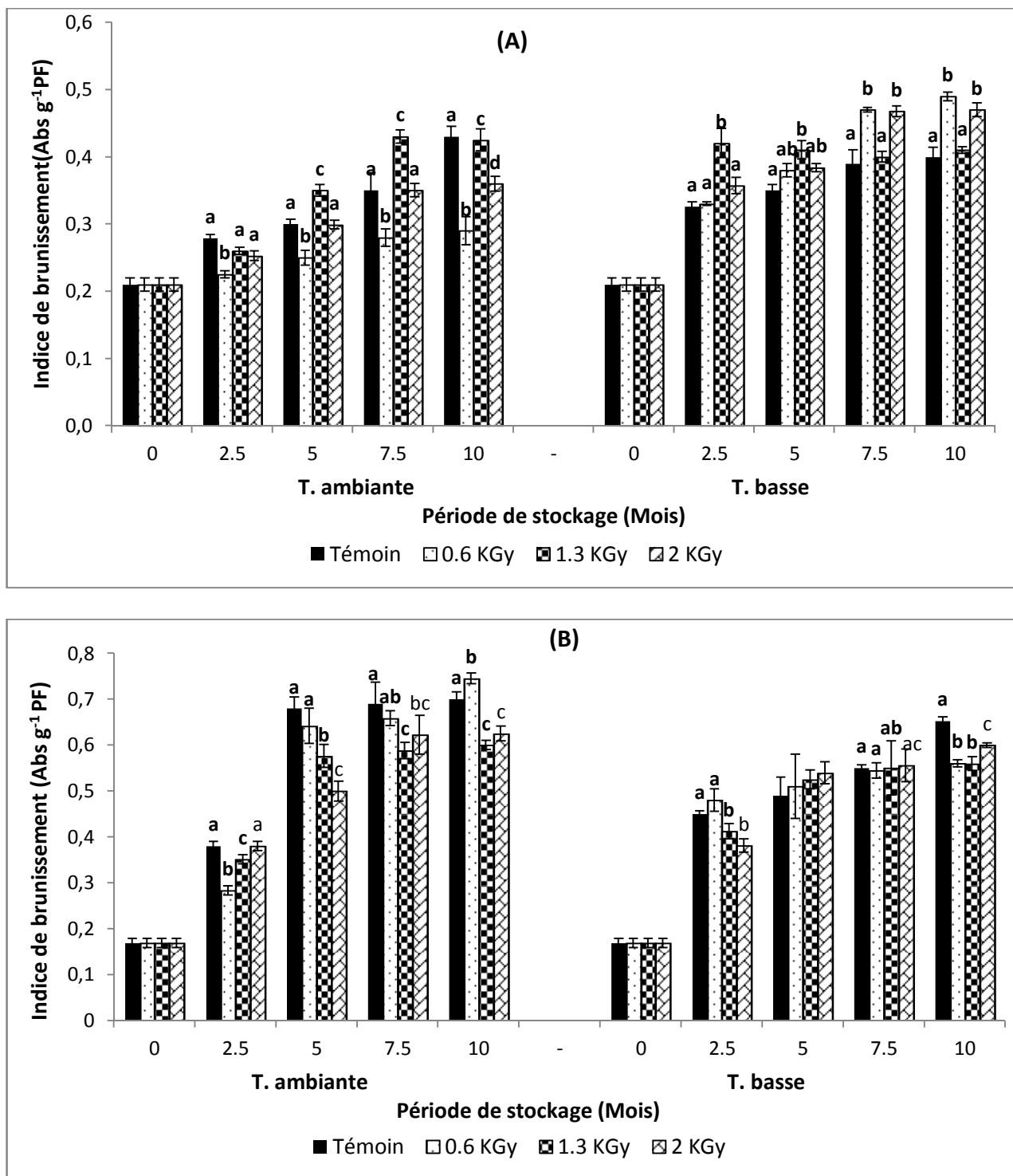


Figure 33. Evolution de l'indice du brunissement des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) pendant 10 mois de stockage à température ambiante et à température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

D'autre part une augmentation considérable des pourcentages des activités antiradicalaires des échantillons irradiés de la variété Ghars a été observée (Figure 34. B). Cette hausse est maximale dans les cas des échantillons irradiés à 2 et 0,6 KGy, stockés à température ambiante et basse respectivement, l'allure de cette augmentation paraît ascendante durant la première moitié de la période de stockage et tend à se stabiliser pendant la seconde.

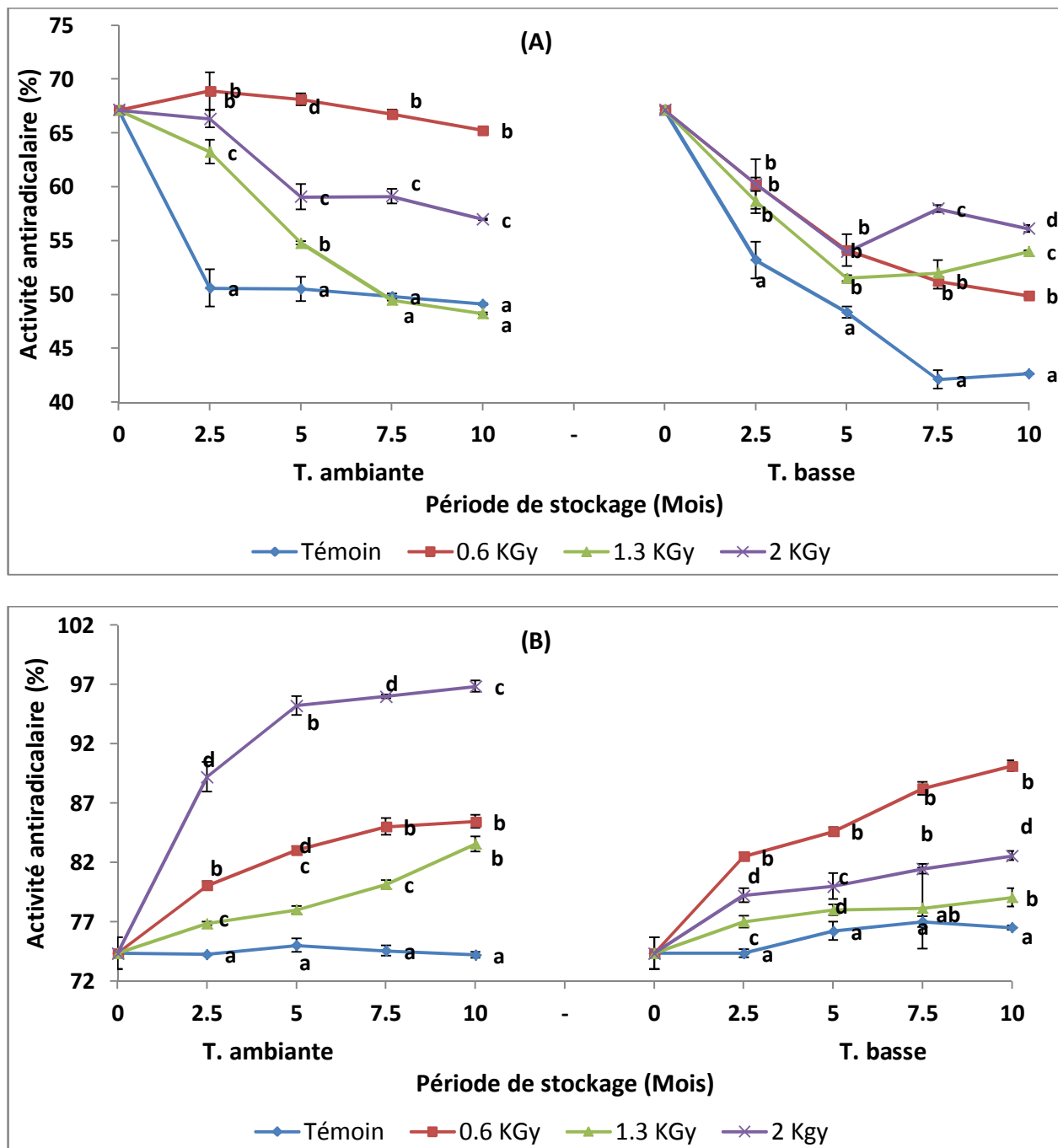


Figure 34. Evolution du taux de l'activité antiradicalaire des échantillons témoins et irradiés (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) de Deglet Nour (A) et Ghars (B) au cours de 10 mois de stockage à température ambiante et température basse. Chaque valeur est la moyenne de trois répétitions. Les barres verticales représentent les erreurs types des moyennes. Les lettres différentes indiquent une différence significative entre les trois doses à chaque période de stockage.

Tableau 33. Valeurs des coefficients de régression linéaire (r) obtenus par corrélation entre teneurs en polyphénols totaux (PPT), en flavonoïdes et en vitamine C versus l'activité antiradicalaire des extraits des échantillons durant le stockage.

Extraits de dattes			r	r	r
Variété	T° de stockage	Dose d'irradiation	PPT/DPPH	Flavonoïdes/DPPH	vitamine C/DPPH
Deglet Nour	Ambiante	0 (témoin)	0,99	0,99	0,01
		0,6	0,35	0,63	0,22
		1,3	0,79	0,90	0,12
		2,0	0,73	0,98	0,03
	Basse	0 (témoin)	0,96	0,97	0,02
		0,6	0,97	0,95	0,03
		1,3	0,91	0,87	-0,20
		2,0	0,94	0,74	-0,42
Ghars	Ambiante	0 (témoin)	0,28	0,22	-0,23
		0,6	0,97	0,80	-0,15
		1,3	0,85	0,60	-0,41
		2,0	0,83	0,72	-0,04
	Basse	0 (témoin)	0,85	0,82	-0,13
		0,6	0,87	0,93	0,53
		1,3	0,52	0,90	0,07
		2,0	0,95	0,96	0,12

De fortes corrélations ont été obtenues entre teneurs en flavonoïdes et activité antiradicalaire et ainsi entre polyphénols totaux et activité antiradicalaire. Cependant, de très faibles corrélations, voire mêmes négatives ont été obtenues entre teneurs en vitamine C et activité antiradicalaire des extraits des deux fruits.

2.11. Récapitulatif des résultats de la deuxième étude

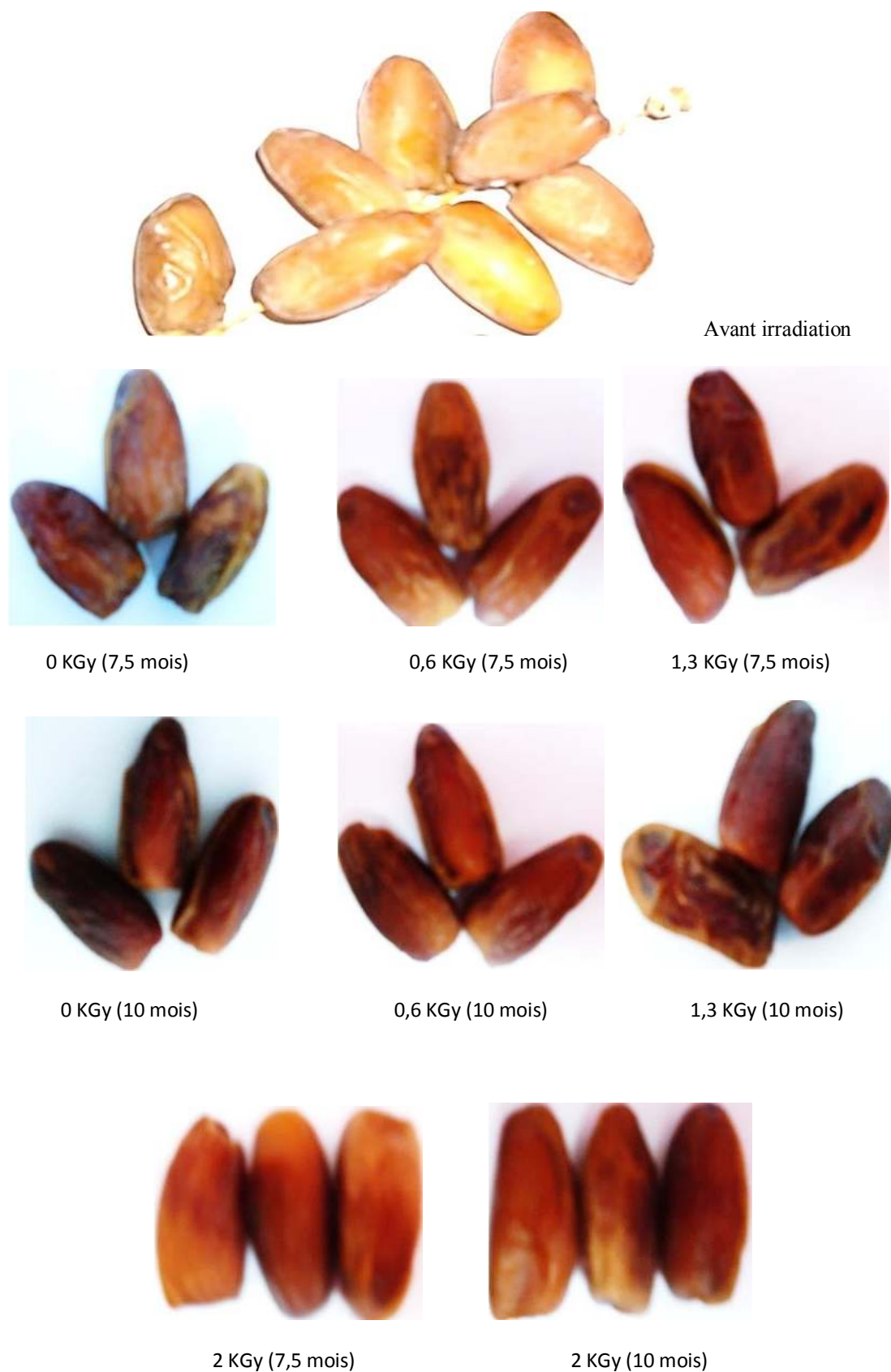
Dans le but de résumer les résultats obtenus dans la deuxième étude et pour mieux cerner l'effet des radiations gamma sur le brunissement enzymatique et par conséquent, la qualité nutritionnelle et les propriétés organoleptiques des échantillons des fruits étudiés, Deglet Nour et Ghars, un tableau comparatif par rapport aux échantillons témoins a été établi (Tableau 34). Dans ce tableau le symbole de comparaison ' $>$ ' ou ' $<$ ' est répété selon le taux de signification de la différence.

Les photographies prises pour le suivi visuel du changement de la couleur des fruits irradiés et témoins au cours des 10 mois de stockage sont donnés ci-dessous (Photos 10-13).

Tableau 34. Récapitulatif des résultats de la 2^{ème} étude par comparaison avec les résultats des échantillons témoins

Variété	T. de stockage	Dose (KGy)	Période de stockage	Paramètres									
				pH	AT	Vit.C	IB	PPO	POD	PPT	Flav	AA	
Deglet Nour	T. ambiante	0,6	2,5	<	=	>	<<	>	>	>	>>	>>	
			5	<<	<	>	<<	=	<	>	>>	>>	
			7,5	<<	<	>>	<<	<	>	>	>>	>>	
			10	<<	>>	<	<<	=	<<	>	>	>>	
		1,3	2,5	=	=	>	=	=	>	>	>	>	>>
			5	<<	<	>	>	>	<	>	>	>	>
	T. basse	0,6	2,5	>	=	>	=	<	<	>	>>	>>	
			5	>	=	>	=	>	=	>	>>	>	
			7,5	>	>	=	>	>>	=	>	>>	>	
			10	>	<	>	>	<	>	>	>	>	
		1,3	2,5	>>	=	>>	>	>	>	>	>	>>	>
			5	>	=	>>	>	<	=	>	>	>	>
T. haute	0,6	2,5	>	=	>>	=	>	<	>>	>>	>>		
		5	>>	=	>>	=	>	<<	>>	>>	>>		
		7,5	>>	=	>	<	>>	>>	>>	>>	>>		
		10	>>	>	=	>	>	>>	>>	>>	>>		
	1,3	2,5	>	<	>>	<	<<	=	>	>	=	>	
		5	<	=	>>	<	<<	<	>	>	=	>	
Ghars	T. ambiante	0,6	2,5	>>	<	>>	<	>	>>	>>	=	>	
			5	>>	=	>>	=	<<	>	>>	>	>	
			7,5	>>>	=	>	<	>>	>>	>>	>>	>>	
			10	>>	>	=	>	>	>>	>>	>>	>>	
		1,3	2,5	>	<	>>	<	<<	=	>	>	=	>
			5	<	=	>>	<	<<	<	>	>	=	>
T. basse	0,6	2,5	<	=	>>>	=	<	>	>>	>	>>		
		5	<	=	>>	<<	<<	>	>>>	>>	>>		
		7,5	>>	=	>	<<	>	>>	>>>	>>>	>>		
		10	<	>>>	>	<<	<<	>>	>>>	>>>	>>		
	1,3	2,5	>	=	>>>	<	<<	>	=	=	=	>	
		5	>	>	=	=	<<<	>	=	=	=	>	
2	2,5	<	>	>>>	<	<<	<	>	>>	>	>		
	5	>	=	=	=	>	<	>	>	>	>		

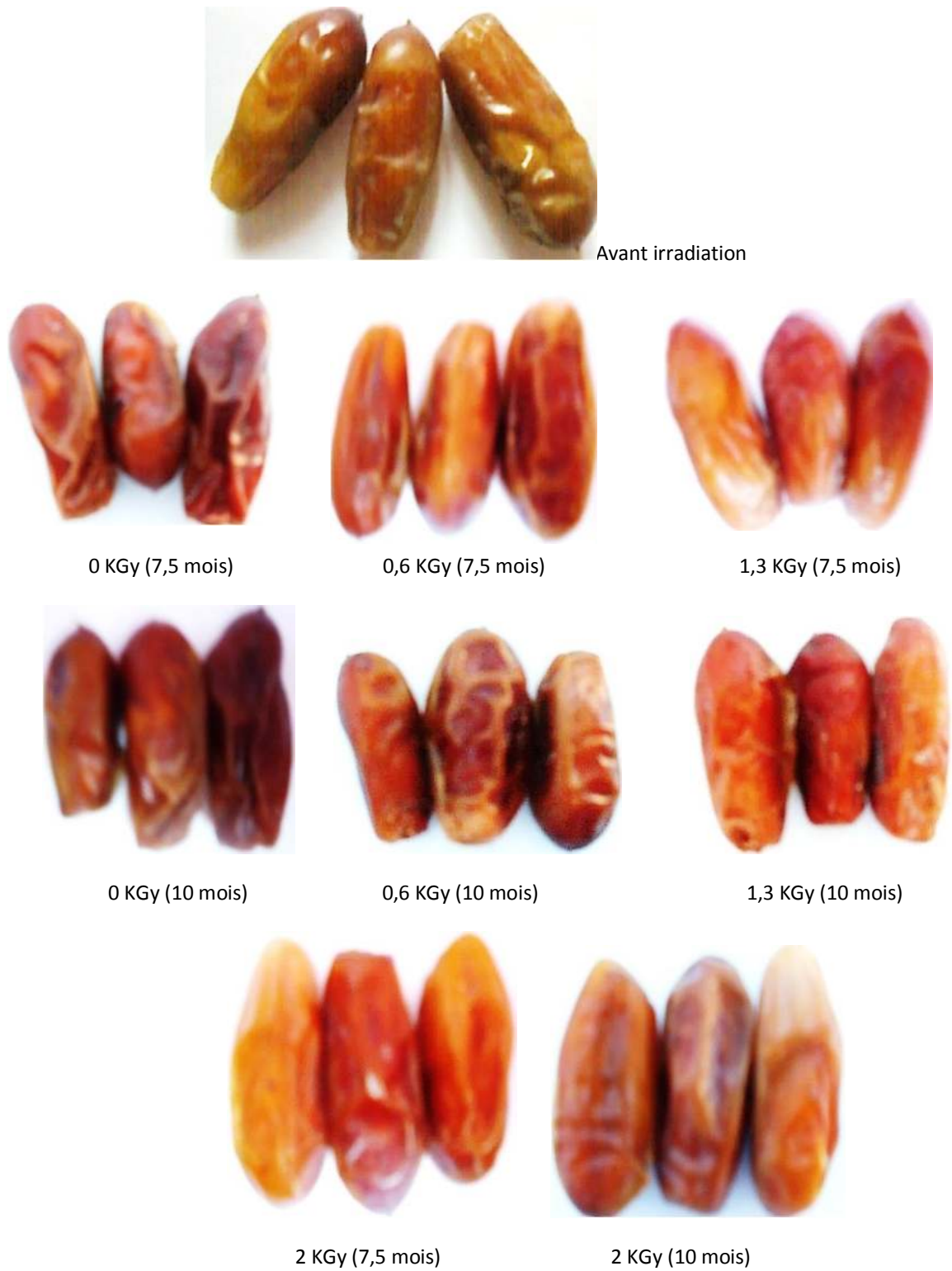
< : Inférieure à la valeur donné par l'échantillon témoin.
 > : Supérieure à la valeur donné par l'échantillon témoin.
 = : Egale à la valeur donné par l'échantillon témoin.



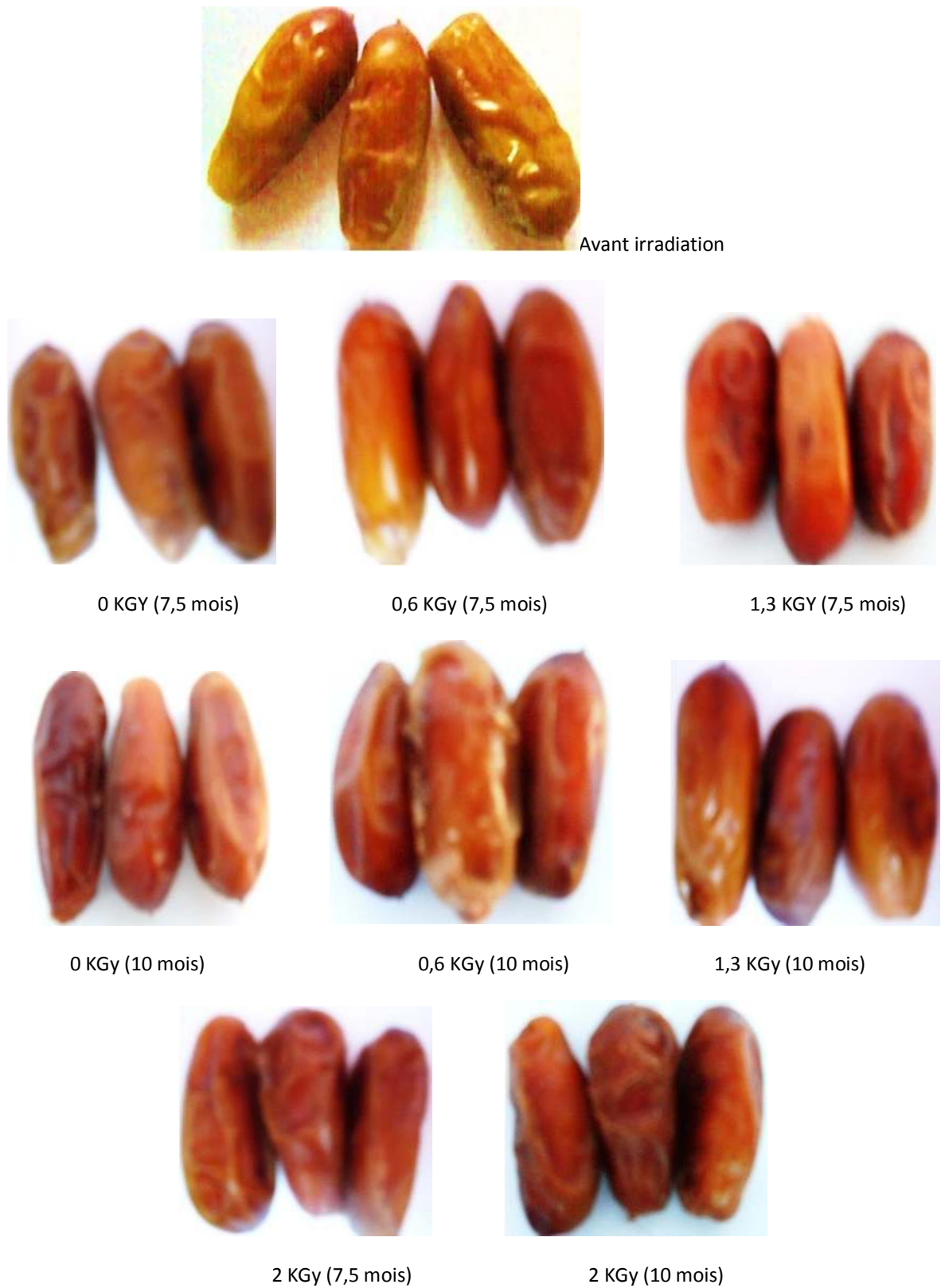
Photos 10. Echantillons de Deglet Nour avant irradiation et à 7,5 et 10 mois de stockage à température basse.



Photos 11. Echantillons de Deglet Nour avant irradiation et à 7,5 et 10 mois de stockage à température ambiante.



Photos 12. Echantillons de Ghars avant irradiation et à 7,5 et 10 mois de stockage à température ambiante.



Photos 13. Echantillons de Ghars avant irradiation et à 7,5 et 10 mois de stockage à température basse.

2.12. Discussion

Il y a deux concepts inter-reliés dans l'analyse des fruits qui traitent de l'acidité: le pH et l'acidité titrable. Chacun de ces paramètres est déterminé séparément et chacun a son propre impact particulier sur la qualité des fruits (Nielsen, 2010). L'acidité titrable concerne la mesure de la concentration totale d'acide contenu dans un aliment. Cette quantité est déterminée par titrage exhaustif d'acides intrinsèques à base standard. L'acidité titrable est un meilleur prédicteur de l'impact d'un acide sur la saveur du fruit que le pH. Sachant que les acides organiques, fréquemment évalués comme acidité titrable, sont considérés comme des composants primaires de la saveur des fruits (Pelayo - Zaldivar, 2010).

Dans cette étude, l'effet des radiations gamma sur le pH et l'acidité titrable des échantillons des deux fruits étudiés était minime, se traduisant par de légères diminutions ou de légères augmentations pour certains d'entre eux tout en demeurant sans modification pour le reste. Ces modifications ont élargi les intervalles de pH des échantillons ; en aboutissant à la valeur de 4,27 comme borne inférieure obtenue avec Deglet Nour et à 6,45 comme borne supérieure obtenue avec Ghars. En faisant référence aux résultats obtenus dans la première étude, cette variation de pH ne semble pas être inhibitrice des activités enzymatiques de la PPO et de la POD.

Des diminutions légères de pH, semblables à ceux de la présente étude, ont été obtenues vers la fin d'une période de 6 mois de stockage de la poudre du ginseng rouge irradiée aux gamma à des doses allant de 2,5 à 10 KGy et stockée à température ambiante (Byun *et al.*, 1997). Les résultats de pH de la datte Deglet Nour présentent une similitude avec ceux de Cia *et al.* (2007) ayant signalé une diminution des valeurs du pH après 7 jours de stockage à 25°C des fruits de papaye irradiés à des doses allant de 0,12 à 1 KGy, suivie d'augmentation au cours du reste de la période de stockage. D'autre part, Fernandes et collaborateurs (2012) ont indiqué que généralement l'irradiation aux gamma n'a pas d'effet notable sur le pH des champignons.

Dans le même contexte, Emam *et al.* (1994) ont signalé que l'irradiation à deux doses différentes (1,5 et 3,0 KGy) du cultivar de datte 'El-Seidi' n'a pas eu d'effet significatif sur le pH du fruit durant huit mois de stockage à température ambiante.

La datte renferme des acides organiques représentés essentiellement par les acides citrique et malique. En effet, ces deux acides représentent les acides organiques majeurs des fruits (Paliyath *et al.*, 2008).

L'augmentation des acidités titrables de certains échantillons irradiés peut être le résultat de leur libération de la vacuole suite à la diminution de la raideur élevée des tissus sous l'influence du rayonnement gamma.

La légère diminution des taux d'acidité titrable de certains échantillons durant le stockage peut être due en partie à la copolymérisation des acides organiques avec les produits des réactions de brunissement (Lozano, 2006).

Les résultats de l'acidité titrable concordent partiellement avec ceux d'Azemat *et al.* (2006), ayant obtenu une augmentation des acidités titrables des dattes "Boufeggous" non irradiées et celles irradiées aux doses 0,6 pendant huit mois de stockage à $18\pm 4^{\circ}\text{C}$. Cette augmentation a permis le passage des taux d'acidité titrable de 0,084 à 0,14% et de 0,098 à 0,15 % respectivement. Toutefois, une diminution a été observée dans le cas des échantillons de dattes "Boufeggous" irradiées aux doses 0,9 et 1,8 KGy ; marquée par le passage de 0,16 à 0,13% et de 0,2 à 0,14% respectivement.

D'autre part les résultats d'Al-Bachir (2015) ont exprimé des augmentations des taux des acidités titrables d'amandes irradiées aux doses 1 ; 2 et 3 KGy par le biais des valeurs 0,20 ; 0,21 et 0,18 % respectivement versus 0,16 % comme taux d'augmentation de l'acidité titrable de l'échantillon non irradié.

De légères augmentations avec certains échantillons seulement ont été obtenues par la présente étude, alors que des augmentations identiques pour toutes les doses ont été obtenues après 6 mois de stockage à température ambiante de la poudre du ginseng rouge irradiée à des doses allant de 2,5 à 10 KGy de radiations gamma (Byun *et al.*, 1997).

Par ailleurs, Drake *et al.* (1999) ont constaté que l'acidité titrable des pommes "Gala" a été réduite par irradiation à des doses de 0,6 KGy et ci-dessus. Toutefois, aucune diminution du taux de l'acidité titrable n'a été observée pour "Fuji" ou "Granny Smith" ayant reçu la même dose de rayonnement. Fan et Mattheis (2001) ont constaté aussi que l'irradiation à des doses de 0,44 à 1,32 KGy a réduit l'acidité titrable des pommes "Gala" au cours de stockage à 20°C .

D'autre part, Emam *et al.* (1994) ont signalé que l'irradiation à deux doses différentes (1,5 et 3,0 KGy) du cultivar de datte 'El-Seidi' n'a pas eu d'effet significatif sur l'acidité titrable du fruit durant huit mois de stockage à température ambiante.

Les résultats du pH et de l'acidité titrable reflètent la préservation de la qualité des fruits durant le stockage.

Les échantillons irradiés de Deglet Nour ont donné des teneurs plus élevées en vitamine C durant toute la période de stockage à basse température. Les teneurs en vitamine C des échantillons témoins de Ghars étaient toujours plus basses que celles des échantillons irradiés et cela au cours de toute la période de stockage aux deux températures différentes. Ce qui présente une forte similitude avec les résultats de Joshi *et al.* (1990) qui confirment que les pertes de vitamine C étaient plus faibles dans la pomme de terre irradiée pour le contrôle de la germination et stockées à 15°C que dans les tubercules non irradiés, stockés à $2-4^{\circ}\text{C}$.

Les résultats donnés par nos échantillons témoins et certains irradiés obéissent à la déduction d'Adisa (1986) ayant conclu que les fruits et légumes montrent une diminution progressive de la teneur en acide ascorbique lorsque la température et la durée de stockage augmentent.

L'évolution de la teneur en vitamine C des échantillons de Deglet Nour et Ghars irradiés est différente de celle de Lalaguna, (1998) ayant trouvé que l'irradiation du melon 'Galia' à des doses allant jusqu'à 1 KGy n'avait aucun effet sur la teneur de cette vitamine. Il en est de même pour Mitchell *et al.* (1992) qui ont étudié l'influence de l'irradiation sur certains végétaux à des doses relativement faibles et ont constaté que l'irradiation à 0,3 KGy n'avait aucun effet significatif sur l'acide ascorbique et l'acide déhydro-ascorbique (DHA).

Les élévations des taux de la vitamine C de tous les échantillons irradiés durant les premiers mois de stockage est due probablement à l'élévation de la teneur en ascorbate suite à une réponse des deux variétés de dattes à la situation de stress causé par les radiations gamma, voire même par l'abaissement de la température de stockage ce qui se voit clairement dans le cas des échantillons stockés à basse température. Sachant que, pendant le stockage, les tissus végétaux sont également capables de synthétiser de l'acide ascorbique (Lee et Kader, 2000) ; et cela en réponse à certains stress abiotiques comme le stress salin qui induit la synthèse de molécules antioxydantes telle que l'ascorbate et les caroténoïdes chez la tomate (Pascale *et al.*, 2001 ; Dorais *et al.*, 2008).

La concentration de l'acide ascorbique en solution diminue avec les augmentations de la dose d'irradiation tandis que le contenu de l'acide déhydro-ascorbique augmente ; car l'acide ascorbique est relativement sensible aux rayonnements et il est converti, après irradiation, en acide déhydro-ascorbique (Fan et Sommers, 2013). Par conséquent, la diminution de la vitamine C après irradiation à faible dose n'est pas toujours observée dans les fruits et légumes frais et fraîchement coupés (Fan et Sommers, 2013).

Malgré les nombreux travaux de recherches dans le domaine de la nutrition, les connaissances sur les changements de la teneur en vitamine C des fruits et légumes récoltés avant et après les traitements sont insuffisantes (Lee et Kader, 2000). Par ailleurs, il a été trouvé que le brunissement qui se produit au niveau des fruits et légumes suite à une altération par le froid influe sur la teneur en vitamine C. En effet, la vitamine C se trouvant dans les parties brunies est dégradée plus vite que celle des parties saines (Lee et Kader, 2000).

Par ailleurs, de Man (1999) a signalé que la présence de composés chélatant les métaux comme les anthocyanes et les flavonols ainsi que les poly-hydroxyacides tels que les acides malique et citrique stabilise la vitamine C ; tout en confirmant qu'elle est plus stable en pH acide. Cela peut expliquer la préservation de cette vitamine pendant le stockage des échantillons des deux variétés de datte ; étant trouvé que le taux de quercétine s'est élevé dans le cas de la majorité des échantillons à côté de certains taux importants d'acidités titrables ainsi que les pH acides marquant toute la période de stockage.

La comparaison des résultats des activités enzymatiques de la PPO des échantillons de Deglet Nour irradiés avec ceux des échantillons témoins permet de déduire qu'aux doses étudiées, l'irradiation aux gamma n'altère pas vraiment l'activité de cette enzyme ; ce qui

concorde avec le résultat de Kim *et al.* (2007) qui ont signalé que l'activité enzymatique de la PPO des échantillons du jus de chou frisé n'est pas affectée par les radiations gamma.

En revanche, à dix mois de stockage celle-ci se voyait plus altérée au niveau des échantillons irradiés et cette altération augmentait par l'augmentation de la dose d'irradiation dans le cas du stockage à température ambiante.

Néanmoins, pour la datte Ghars l'activité de cette enzyme a été inhibée de manière significative, notamment par la dose de 1,3 KGy durant toute la période de stockage aux deux différentes températures. Témoinnant d'une altération profonde de l'activité enzymatique de la PPO de ce fruit après irradiation aux rayonnements gamma. Ce qui est en accord avec le résultat de Beaulieu *et al.* (1999) ayant trouvé que l'activité de la polyphénoloxydase des champignons irradiés a été réduite de façon significative par rapport au témoin.

Ces résultats concordent en partie avec ceux de Lu *et al.* (2005) qui a remarqué que l'activité de la PPO de céleri irradié était d'environ 100 U inférieur à celle du céleri non irradié au bout de trois jours de stockage ; ce qui indique que l'activité de la PPO de céleri frais coupé a été inhibée de manière significative par irradiation. Cependant, l'activité de la PPO du céleri irradié a augmenté par augmentation du temps de stockage. D'autre part, les résultats de Zhang *et al.* (2006) indiquent aussi que l'activité de la PPO de la laitue coupée, non irradiée a augmenté au bout de trois jours, puis a diminué pour plus de temps de stockage ; résultante de sénescence naturelle des tissus. L'activité de la PPO de la laitue coupée a été inhibée par l'irradiation et l'efficacité de l'inhibition a augmenté avec l'augmentation de la dose de l'irradiation.

Notant que ce traitement peut provoquer des modifications chimiques et conformationnelles des protéines par oxydation des acides aminés et/ou scission de liaisons covalentes conduisant à la fragmentation des protéines (Shawrang *et al.*, 2008). Il a été montré également que le rayonnement gamma affecte le réarrangement secondaire de la protéine (Kojthung *et al.*, 2008).

Le traitement d'irradiation à la plus forte dose a permis d'altérer l'activité enzymatique de la POD de Deglet Nour jusqu'au 5^{ème} mois de stockage aux deux différentes températures.

L'inhibition de cette activité enzymatique pour la même période au sein de la datte Ghars a été aussi observée et dont la dose variait selon la température de stockage. Il s'agit de la dose de 1,3 KGy à la température ambiante versus 0,6 et 2 KGy à basse température.

En effet, l'inactivation de la POD ne semble pas obéir aux taux des doses d'irradiation ; avec lesquels la variation de son activité n'est pas directement proportionnelle. Néanmoins, cette dose d'inhibition varie selon la variété du fruit traité. Notant que cela a été confirmé par d'autres études de recherche. En effet, l'activité de la peroxydase des feuilles de pois chiche 'Desi' était plus élevée après irradiation aux doses 400, 600, 800 et 1000 Gy ; tout en étant plus faible après irradiation aux autres doses par rapport au témoin non irradié. Cette activité peroxydasique a montré une tendance à la baisse jusqu'à la dose de 200 Gy suivie

d'une augmentation jusqu'à 400 Gy, puis une diminution cyclique et augmentation après chaque intervalle de dose de 100 Gy jusqu'à 1000 Gy dose (Hameed *et al.*, 2008). Indiquant ainsi des fluctuations semblables aux nôtres.

D'autre part, l'irradiation aux rayonnements gamma des graines de pois chiches 'Kabuli' a donné des résultats similaires présentant toujours des oscillations dans le taux de l'activité peroxydasique.

Notant que la diminution maximale de l'activité a été observée à la dose de 100 Gy. Par ailleurs, dans l'étude menée sur l'effet des radiations gamma sur la qualité biochimique de la betterave fraîche coupée, Latorre *et al.* (2010) ont constaté que l'activité peroxydasique a augmenté de façon significative avec la dose de l'irradiation. Selon eux, cette augmentation peut être associée à l'augmentation de l'élasticité des tissus après irradiation et la diminution de leur raideur élevée. Cela peut être à l'origine de l'augmentation des activités des deux enzymes, PPO et POD, au sein de certains échantillons irradiés.

La diminution de la teneur en phénols totaux de tous les échantillons, y compris le témoin, de Deglet Nour concorde avec celui de Khali et Selselet-Attou (2007) qui ont étudié les effets de traitement thermique (55°C/20 min) sur la teneur en composés phénoliques d'échantillons de datte Deglet Nour matures stockées pendant 5 mois à températures basse et ambiante. En effet, ils ont obtenu une diminution de la teneur en polyphénols pendant le stockage des deux échantillons traité et non traité thermiquement.

Sachant que dans la présente étude, la diminution de la teneur en phénols était moins accentuée dans le cas des échantillons irradié. Ce qui peut être interprété par la réduction des quinones, issus de l'oxydation des phénols par la PPO, en phénols par le biais de l'acide ascorbique qui a fortement augmenté de teneur suite à l'irradiation, ou par altération de l'activité peroxydasique et/ou l'activation de la phénylalanine-ammonia lyase.

Les échantillons irradiés de la datte Ghars ont connu une augmentation dans leurs teneurs phénoliques totales par rapport à la teneur initiale avant irradiation et par rapport aux échantillons témoins qui ont seulement conservé leurs teneurs initiales.

Ces résultats peuvent être interprétés aussi par l'éventuelle activation de la PAL, l'enzyme clé de la biosynthèse et l'accumulation de composés phénoliques, en réponse au stress imposé au fruit par l'irradiation et/ou par libération de phénols simples à partir de polyphénols de haut poids moléculaire.

Les résultats de la variation des teneurs phénoliques de la datte Ghars sont en accord avec ceux de Beaulieu *et al.* (1999) ayant trouvé une augmentation du taux des composés phénoliques des Champignons (*Agaricus bisporus*) irradiés à 2 KGy après une période de stockage de 9 jours. Les composés phénoliques ont aussi augmenté de teneur dans l'étude menée par Bhat *et al.* (2007) sur les fèves exposés à différentes doses de radiations gamma (0 ; 2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 ; 15 et 30 KGy). D'autre part, une augmentation significative dans la teneur en polyphénols totaux de légumes coupés irradiés à différentes doses (0 ; 0,5 ; 1 et 2 KGy) a

été aussi observée (Fan, 2005). Par ailleurs, Harrison et Were (2007) ont trouvé que le contenu phénolique des extraits de la peau d'amandes, irradiée à différentes doses allant de 2 KGy jusqu'à 16,3 KGy, augmente à partir de la dose 2,8 KGy mais reste à des teneurs plus basses et comparables à celle du témoin à la dose de 2 KGy.

En revanche, Koseki et collaborateurs (2002) ont rapporté une diminution de la quantité de composés phénoliques totaux dans le romarin déshydraté suite à l'exposition aux doses d'irradiation comprises entre 10 et 30 KGy, par rapport aux témoins.

Par conséquent, il apparaît que la différence dans l'effet du rayonnement gamma sur le contenu phénolique total peut être due au type de la plante, aux conditions environnementales et géographiques, à l'état de l'échantillon (solide ou sec), à son contenu phénolique, aux solvants et procédures d'extraction, à la température et la dose d'irradiation ... etc (Khattak *et al.*, 2008).

En outre, les différences dans les effets de l'irradiation ont été attribuées aux différents composés phénoliques présents dans les diverses espèces végétales. Les tanins hydrolysables des clous de girofles et de la noix muscade peuvent être plus sensibles aux radiations gamma que les tanins condensés de la cannelle (Harrison et Were, 2007). De plus, les augmentations des teneurs phénoliques ont été associées à la dégradation des tanins (Variyar, Bandyopadhyay, & Thomas, 1998) et les changements dans la conformation des molécules (Topuz & Ozdemir, 2004), à la suite du traitement par irradiation.

Il en est de même pour d'autres auteurs comme Harrison et Were (2007) qui voient que l'augmentation du contenu phénolique des végétaux, gamma-irradiés, pourrait être attribuée à la libération de composés phénoliques à partir de composants glycosidiques et la dégradation des grands composés phénoliques aux plus petits par l'effet du rayonnement.

L'augmentation des activités enzymatiques de la PPO et de la POD était corrélée significativement au changement de la teneur phénolique au sein des échantillons des deux variétés. La corrélation linéaire entre la variation d'activité de la POD et la diminution de la teneur en PPT de Deglet Nour s'est révélé plus significative ($0,55 < r < 0,91$) lors du stockage à basse température. En admet dans ce cas que c'est l'augmentation d'activité des deux enzymes qui a engendré l'oxydation des phénols de cette variété de datte, conduisant ainsi à une baisse progressive dans leurs teneurs.

Une forte corrélation entre la teneur phénolique des échantillons de la datte Ghars stockés à température ambiante et leur taux d'activité peroxydasique, peut être interprétée par une bonne disponibilité de substrats ce qui a activé davantage l'enzyme. Cependant, le stockage à basse température n'obéit pas à la même règle, étant donné que la corrélation entre les deux paramètres est faible dans ce cas.

Les valeurs du coefficient de corrélation (r), étant variables entre 0,14 et 0,91 dans le cas de la PPO et la POD de la datte Deglet Nour et entre 0,10 et 0,84 dans le cas de la PPO et de la POD de la datte Ghars, témoignant de la variation de la spécificité vis-à-vis des substrats

phénoliques des deux enzymes. En effet, les phénols ne constituent pas tous de bons substrats pour la PPO et la POD comme reporté dans la littérature du deuxième chapitre de la bibliographie.

Par ailleurs, il a été signalé dans d'autres études que la faiblesse de l'activité de la PPO des échantillons de champignons irradiés contrastait avec leurs concentrations inférieures en phénols (Beaulieu *et al.*, 1999).

L'augmentation des taux d'activité des deux enzymes au sein des échantillons irradiés des deux variétés de datte pendant le stockage par rapport aux taux initiaux et aux échantillons témoins semble obéir en partie, notamment dans le cas de la datte Ghars, au changement de la teneur phénolique comme a été confirmé précédemment ; ce qui est en accord avec la déduction de Paliyath et collaborateurs (2008), ayant trouvé que des teneurs plus élevées en composés phénoliques dans la laitue ont augmenté l'activité de la PPO et de la POD, ce qui a induit le brunissement. Ce résultat a été aussi confirmé par Fan et Sommers (2013) qui ont signalé que la synthèse des composés phénoliques dus aux radiations augmente le potentiel de brunissement des tissus. D'autre part ces mêmes auteurs ont mentionné que l'activité de la PPO des poires, peut élever l'activité de la POD en générant l' H_2O_2 lors de l'oxydation des phénols (Paliyath *et al.*, 2008). Fan et Mattheis (2001) ont également constaté que les pommes irradiées à des doses allant jusqu'à 1,3 KGy et conservées à 20°C pendant 3 semaines ont développé du brunissement interne.

Les résultats obtenus de l'analyse des phénols des échantillons des dattes Deglet Nour et Ghars par chromatographie liquide à haute performance ont indiqué qu'après dix mois de stockage à température ambiante et à température basse certains phénols ont disparu des extraits des deux fruits et que cette disparition est moins accentuée dans le cas de certains extraits irradiés déjà cités.

Cela met en exergue les substrats des enzymes PPO et POD impliquées dans le phénomène du brunissement. Il s'agit principalement de la lutéoline qui a totalement disparu de tous les échantillons témoins et à un degré moindre, les acides hydroxycinnamique, chlorogénique, gallique et salicylique ; la catéchine et le 4-méthyl catéchol.

Par ailleurs, l'augmentation significative de la teneur en phénols de certains échantillons irradiés des deux fruits est due éventuellement à une augmentation d'activité de la phénylalanine ammonia-lyase (PAL). En effet, cette enzyme est responsable de la synthèse des substances phénoliques (Lassouane *et al.*, 2005). La PAL convertit la phénylalanine en mono- et diphénols, qui sont des substrats de PPO (Tomas Barberan *et al.*, 1997). Notant que, l'augmentation d'activité de la PAL a été trouvée liée à des troubles induits par le stress, y compris la blessure par le froid (Parkin *et al.*, 1989). Les phénols dont l'augmentation de la teneur était plus prononcée dans les échantillons irradiés, comme vu précédemment sont : les acides gallique, p- hydroxybenzoïque, caféique et chlorogénique, épicatechine, lutéoline, 4-méthyl catéchol, cyanidine chloride et procyanidine B₂. Cette augmentation peut être issue

également de la réduction des quinones en phénols en présence de l'ascorbate ; voire même de la décomposition de certains polyphénols de haut poids moléculaire.

L'augmentation des taux de la quercétine au niveau de la majorité des échantillons, témoins et irradiés, renforce la déduction que cette molécule ne constitue pas un bon substrat de la PPO. Sa disparition de deux échantillons irradiés peut être due à une éventuelle polymérisation avec d'autres molécules.

Les travaux de recherches antérieurs concernant l'effet des radiations gamma sur les teneurs des différents composés phénoliques ont présenté des résultats qui diffèrent d'une étude à l'autre et qui présentent une certaine ressemblance aux nôtres. On a noté que de faibles doses de radiations gamma (0-2 KGy) ont empêché la perte d'anthocyanines des grignons du raisin alors que des doses plus élevées ont diminué la teneur en anthocyanes (Ayed *et al.*, 1999).

Par ailleurs, des doses d'irradiation de (0, 10, 20, 30 KGy) n'ont pas provoqué de changements significatifs dans les flavonoïdes, les tanins et le contenu phénolique total de l'artichaut (Koseki *et al.*, 2002). Il en est de même pour les concentrations des dérivés de l'acide ellagique et de la quercétine qui n'ont pas été affectés par l'irradiation des fraises à 1,6 KGy versus une diminution sensible des teneurs en catéchine et kaempférol de ces fruits (Breitfellner *et al.*, 2002).

D'autre part, il a été trouvé que le traitement d'irradiation (2, 4 et 6 KGy) réduit significativement la concentration des composés phénoliques (p-hydroxybenzaldéhyde, l'acide p-coumarique, l'acide férulique, la rutine, la naringénine) dans la tomate (Schindler *et al.*, 2005).

Dans une autre étude de l'effet de l'irradiation γ sur les phénols des grains de riz de trois génotypes (noir, rouge et blanc), la plupart des doses ont significativement diminué les teneurs en acides phénoliques présents dans tous les échantillons et les teneurs en anthocyanes du riz noir. En revanche, les doses 6 et 8 KGy ont significativement augmenté le contenu total des anthocyanes et des acides phénoliques dans le riz noir ; ces modifications n'étaient pas doses dépendantes (Zhu *et al.*, 2010).

L'augmentation des absorbances à 430 nm, en tant que mesure de l'indice du brunissement, est directement proportionnelle à l'intensification de la coloration. Elle est proportionnelle à l'augmentation des taux de composés colorés dans l'échantillon en question. Il s'agit notamment des quinones issus de l'oxydation des phénols par les enzymes PPO et POD et dont la polymérisation aboutit à la formation des mélanines de coloration brune, conduisant ainsi au brunissement enzymatique.

En effet, la cinétique d'oxydation des phénols peut être suivie par des mesures de couleur, ce qui est un moyen simple et efficace pour étudier le phénomène (Lozano, 2006).

Mis à part le cas de l'échantillon irradié à 0,6 KGy, stocké à température ambiante, lequel a donné un indice de brunissement très significativement inférieur à celui du témoin ; il

semble que l'intensification de la coloration n'a pas été freinée par les autres doses d'irradiation de la datte Deglet Nour par comparaison avec les échantillons témoins. Néanmoins les échantillons irradiés de la datte Ghars ont donné des absorbances plus faibles que celles des échantillons témoins lors du stockage à température ambiante. Ces dernières ont été trouvées comparables et des fois inférieures à celles des échantillons témoins au cours de toute la période de stockage à basse température.

Les résultats obtenus pour Deglet Nour sont partiellement concordants avec ceux de Wani *et al.* (2009), qui, en travaillant sur le champignon *Agaricus bisporus* gamma irradié aux doses rangeant de 0,5 à 2 KGy, ont trouvé que l'indice de brunissement augmentait régulièrement pendant le stockage de tous les échantillons et que l'augmentation était plus rapide et plus accentuée dans le cas de l'échantillon témoin. L'augmentation de cet indice était inversement proportionnelle à l'augmentation de la dose d'irradiation.

Par ailleurs, Kim *et al.* (2007) ont noté que les changements de l'indice du brunissement entre les échantillons gamma irradiés et non irradiés du jus de chou frisé ne sont pas statistiquement significatives ($P < 0,05$).

L'effet des radiations gamma s'est manifesté par un ralentissement de la diminution du pourcentage de l'activité antiradicalaire de la datte Deglet Nour par rapport à l'état initial. En effet, les taux de cette activité se voyaient toujours supérieurs à ceux des échantillons témoins durant toute la période de stockage. Par conséquent, l'activité antiradicalaire des échantillons irradiés de Deglet Nour a été augmentée par rapport à celle des échantillons témoins.

L'effet des radiations gamma sur les échantillons de la variété Ghars était plus intéressant car il s'est révélé via des augmentations plus prononcées par rapport même à l'état initial.

Il a été trouvé que l'irradiation aux gamma des graines de niger à des doses variant de 2 à 16 KGy a augmenté l'activité antiradicalaire contre le DPPH (Khattak *et al.*, 2008) ce qui est pareil à nos résultats. De même, une augmentation significative du pourcentage d'activité de piégeage du DPPH a été observée avec l'augmentation de la dose d'irradiation dans le cas du soja (Variyar *et al.*, 2004).

Notant également que Fan (2005) a étudié les effets des rayonnements ionisants sur la capacité antioxydante, contenu phénolique et le brunissement des tissus de trois variétés de laitue irradiées par des rayons gamma à 0 ; 0,5 ; 1 et 2 KGy puis stockées à 7-8°C pendant 8 jours. Il a constaté que d'une manière générale, l'irradiation a augmenté la teneur en composés phénoliques et la capacité antioxydante avec le temps de stockage versus le brunissement de certains tissus seulement.

Néanmoins, Lee et collaborateurs (2006) ont trouvé que l'irradiation aux rayons gamma des sous-produits du thé vert et de ses feuilles à une dose de 20 KGy n'a aucun effet sur leur activité antioxydante mesurée par la méthode du DPPH et la méthode FRAP, notant également qu'aucun changement significatif n'a été observé dans la teneur phénolique de tous

les échantillons. D'autre part et en travaillant sur le gingembre, la noix muscade, la cannelle, l'anis, la vanille, la réglisse et la menthe, Murcia *et al.* (2004) ont noté que le traitement par des radiations gamma à des doses de 1, 3, 5 et 10 KGy ne cause aucune différence significative dans l'activité antioxydante contre le DPPH.

Le pouvoir réducteur des composés phénoliques et de l'acide ascorbique a été élucidé dans maintes études de recherche. La corrélation linéaire entre les teneurs en phénols et en vitamine C versus le pouvoir de piégeage du radical DPPH des échantillons des deux fruits a été étudiée. Elle a permis d'aboutir à une corrélation très significative dans la majorité des cas et moyennement significative dans certains cas, d'une part entre les teneurs en polyphénols totaux et les pourcentages de l'activité antiradicalaire des extraits des échantillons et d'autre part entre leurs teneurs en flavonoïdes et leurs pourcentages d'activité antiradicalaire. Cela témoigne de l'implication d'une bonne partie des composés phénoliques, notamment les flavonoïdes dans l'activité réductrice du radical DPPH. Ces composés semblent être de bons antioxydants du fait de la présence dans leurs structures de nombreux hydroxyles, pouvant réagir avec les radicaux libres (Heim *et al.*, 2002 ; Sokol-Letowska, 2007). En effet, l'activité antioxydante observée dans les études sur la datte a été attribuée, le plus souvent, à des composés phénoliques, notamment les anthocyanes, les flavonoïdes glycosides et les procyanidines présents dans ce fruit (Baliga *et al.*, 2011). Des études sur des animaux ont également montré que l'acide p-coumarique présent dans la datte joue un rôle important dans l'activité antioxydante, suite à une alimentation par voie orale à base de ce fruit (Yeh *et al.*, 2008).

Par ailleurs, la faiblesse des valeurs de certains coefficients de régression linéaire confirme que l'activité antiradicalaire des extraits peut impliquer aussi les caroténoïdes et le sélénium présents dans la datte, même en faibles quantités. En effet, plusieurs études ont montré que cet oligo-élément essentiel exerce sa fonction antioxydante principalement sous la forme de résidus de sélénio-cystéine qui font partie intégrante des sélénio-enzymes ROS-détoxifiantes (Steinbrenner *et al.*, 2009). Notant également que la synthèse des caroténoïdes augmente dans les états de stress des plantes, même après récolte (Dorais *et al.*, 2008).

En revanche, l'implication de la vitamine C semble être rejetée puisque la corrélation entre la teneur en vitamines C et le taux de l'activité antiradicalaire est faible, voire négative. La conversion rapide et continue de l'ascorbate réduit à l'ascorbate oxydé (DHA) est éventuellement à l'origine de ce résultat. En effet, Fan et Sommers (2013) ont signalé que l'acide ascorbique est relativement sensible aux rayonnements et qu'il est converti, après irradiation, en acide déhydro-ascorbique possédant également une activité vitaminique malgré qu'il manque de propriétés antioxydantes.

2.13. Conclusion

L'irradiation aux gamma a permis de préserver les pH de tous les échantillons de Deglet Nour en freinant leur diminution durant 10 mois de stockage à basse température ainsi que les pH des échantillons de la datte Ghars irradiés à 0,6 KGy lors du stockage à température ambiante.

L'irradiation aux rayons gamma a augmenté, indépendamment de la dose, les taux des acidités titrables des échantillons de la datte Ghars au cours des 10 mois de stockage à basse température.

Une augmentation dose dépendante de la vitamine C au bout des cinq premiers mois de stockage était la conséquence de l'irradiation aux rayons gamma des échantillons des deux variétés de dattes étudiées.

L'irradiation aux rayons gamma a permis une moindre intensification de la coloration des échantillons de Deglet Nour (0,6 et 2 KGy) stockés à température ambiante ainsi que de tous les échantillons irradiés de la datte Ghars, s'exprimant via de faibles indices de brunissement.

Elle a permis également une altération profonde de l'activité de la PPO de l'échantillon Ghars irradié à 1,3 KGy jusqu'à 7,5 mois de stockage à température ambiante et 10 mois de stockage à température basse. Ainsi que celle de l'échantillon irradié à 2 KGy du même fruit jusqu'à 5 mois de stockage à température ambiante et 2,5 mois de stockage à température basse à l'inverse des échantillons de Deglet Nour où l'activité était des fois plus favorisée.

En revanche, ce traitement a conduit à l'inhibition de l'activité de la POD des échantillons de Deglet Nour irradiés à 2 KGy jusqu'à 5 mois de stockage à température ambiante et basse. L'irradiation aux doses, 0,6 et 2 KGy a permis aussi de diminuer l'activité de la POD de la datte Ghars jusqu'au 5^{ème} mois de stockage à basse température.

Les radiations gamma ont freiné la perte en composés phénoliques de la datte Deglet Nour et d'autre part, elles ont augmenté la teneur en ces composés dans la datte Ghars, pour les deux températures de stockage.

L'irradiation aux rayons gamma a limité, indépendamment de la dose, la perte en capacité antiradicalaire des échantillons de la datte Deglet Nour pendant dix mois de stockage à température ambiante et à température basse. Par ailleurs, elle a permis d'augmenter les taux de cette activité dans le cas des échantillons de la datte Ghars, cette augmentation n'est pas dose dépendante et elle est corrélée significativement avec la teneur phénolique.

*Conclusion Générale
et Perspectives*

Conclusion générale

Généralement les données sur les enzymes de la datte sont très rares et peu disponibles, alors que celles qui concernent les enzymes impliquées dans le métabolisme phénolique de ce fruit sont inexistantes.

Ce travail de recherche s'intéresse à la mise en évidence d'un phénomène biochimique important, à savoir le brunissement enzymatique, se produisant au sein des dattes Deglet Nour et Ghars post récolte et qui conduit à leur altération et la perte de leur qualité nutritionnelle et leur valeur marchande. Cette mise en évidence est accompagnée de tests de méthodes physiques importantes de l'inactivation et/ou du ralentissement des réactions d'oxydation des phénols aboutissant au brunissement ; il s'agit du pH, de la température et des radiations Gamma. En sus, l'inhibition par des produits chimiques (acides ascorbique, citrique, tartrique et oxalique ; cystéine ; SDS ; EDTA et métabisulfite de sodium) a été testée.

Notre choix s'est porté sur ces deux fruits de grande importance socio-économique, entre lesquels les résultats de la présente étude ont révélé une certaine variabilité.

Cette étude nous a permis de souligner l'importance de l'activité enzymatique de la polyphénoloxydase et de la peroxydase au sein des dattes Deglet Nour et Ghars et leur implication directe dans le brunissement.

L'étude des effets des différents pH et températures sur ces activités enzymatiques nous a permis de déterminer les pH et températures optimaux ; ce qui nous a facilité la conduite des manipulations dans les deux études menées dans ce travail.

Le test de l'effet de certains produits chimiques sur les activités enzymatiques de la polyphénoloxydase et de la peroxydase des deux variétés de dattes a mis en exergue la grande capacité inhibitrice de certains d'entre eux; il s'agit principalement de l'acide ascorbique.

L'effet des radiations gamma sur le pH des échantillons se voit dans le cas de ceux de la datte Deglet Nour en freinant leur diminution durant 10 mois de stockage à basse température ainsi que dans le cas du pH de l'échantillon de la datte Ghars irradié à 0,6 KGy lors du stockage à température ambiante.

D'autre part, l'effet de ce rayonnement ionisant sur l'acidité titrable se traduit par une augmentation souvent dose dépendante au niveau des échantillons de la datte Ghars stockés à basse température.

De fortes augmentations de la teneur en vitamine C des échantillons irradiés des deux variétés par rapport aux témoins sont observées entre 2,5 et 7,5 mois de stockage aux deux différentes températures.

L'intensification de la coloration des échantillons de la datte Deglet Nour irradiés à 0,6 et 2 KGy est faible devant celle du témoin non irradié suite au stockage à température ambiante ; elle est pareille dans le cas des échantillons de la datte Ghars irradiés à 1,3 et 2 KGy stockés à température ambiante et ceux irradiés à 0,6 ; 1,3 et 2 KGy stockés à basse température.

Sous l'effet des radiations gamma, un ralentissement de la diminution de la teneur en polyphénols totaux des échantillons de la datte Deglet Nour est observé ; ce ralentissement est plus accentué dans le cas de l'échantillon irradié à 0,6 KGy, stocké à température ambiante et celui irradié à 2 KGy, stocké à température basse. Il en est de même pour la teneur en flavonoïdes de ces échantillons. En revanche, les échantillons irradiés de la datte Ghars ont connu une augmentation importante dans leurs teneurs en polyphénols totaux et flavonoïdes, notamment, ceux irradiés à 0,6 et 2 KGy, durant toute la période de stockage à températures ambiante et basse. Ces résultats ont été confirmés par une étude quantitative et qualitative de chromatographie liquide à haute performance.

De très importants taux d'activité antiradicalaire ont été obtenus avec les échantillons irradiés des deux variétés de dattes par rapport aux témoins non irradiés, en effet, une corrélation linéaire très significative a été obtenue entre ces taux d'activité et la teneur des extraits de ces échantillons en polyphénols totaux et flavonoïdes, ces derniers étant de très puissants antioxydants.

Par comparaison aux témoins, il semble que les taux d'activité enzymatique de la PPO des échantillons de Deglet Nour ne sont pas affectés par l'irradiation ; néanmoins ils obéissent beaucoup plus à la variation des teneurs phénoliques, substrats de ces enzymes. En revanche ce traitement paraît inhiber de manière significative l'activité de la PPO des échantillons de la datte Ghars irradiés à 1,3 KGy pendant toute la période de stockage à température ambiante et basse.

D'autre part le traitement à la plus forte dose (2KGy) a permis de ralentir l'augmentation de l'activité enzymatique de la POD jusqu'au 5^{ème} mois de stockage de Deglet Nour aux deux différentes températures. Notant, par ailleurs, que c'est la dose 1,3 KGy qui a permis de ralentir l'activité de la POD chez l'échantillon de la datte Ghars stocké à température ambiante ; alors que ce sont les doses 0,6 et 2 KGy qui ont permis cela chez les échantillons de la même variété stockés à basse température.

La récapitulation des résultats obtenus dans la deuxième étude permet de déduire que : Pour prévenir le brunissement enzymatique et préserver la qualité nutritionnelle des fruits de datte étudiées lors d'un stockage à température ambiante, la dose d'irradiation 0,6 KGy est préférable pour Deglet Nour et la dose de 2 suivie de 1,3 KGy pour Ghars. Alors que pour un stockage à basse température (10°C), 2 KGy est la plus convenable pour Deglet Nour et 0,6 KGy pour Ghars.

Au terme de ce travail de recherche et par considérations de tous les résultats trouvés, il convient de dire que l'irradiation aux rayons gamma peut jouer, via des doses propices, un rôle prometteur dans l'inhibition du brunissement enzymatique et permet donc de préserver les propriétés organoleptiques de Deglet Nour et Ghars durant le stockage après récolte.

Perspectives

Pour l'approfondissement et la continuité de ce travail, plusieurs pistes peuvent être envisagées telles que :

L'étude de la cinétique des deux enzymes en présence de différents substrats phénoliques et détermination des plus appropriés d'entre eux.

L'utilisation d'atmosphères contrôlées qui permettront, avec leur taux bas d'oxygène, d'inhiber l'oxydation des phénols pour une longue durée.

L'utilisation d'atmosphères modifiées avec capteurs d'oxygène ou emballages dits intelligents plus adaptables à la physiologie post récolte de la datte.

L'utilisation d'enrobages naturels comme la cellulose et le chitosane qui présentent des revêtements comestibles prometteurs pour améliorer la qualité et prolonger la durée de vie des fruits frais en agissant comme obstacles à la perte d'eau et l'échange de gaz par création d'une micro-atmosphère modifiée autour du fruit.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- Abeles, F. B., & Biles, C. L. (1991). Characterization of peroxidases in lignifying peach fruit endocarp. *Plant physiology*, 95(1), 269-273.
- Acourene, S., & Tama, M. (1997). Caractérisation physicochimique des principaux cultivars de datte de la région de Ziban. *Recherche Agronomique*, 1, 59-66.
- Adisa, V. A. (1986). The influence of molds and some storage factors on the ascorbic acid content of orange and pineapple fruits. *Food Chemistry*, 22(2), 139-146.
- AFNOR, Association Française de Normalisation. 1974. Recueil de normes françaises. Paris.
- Ahmed, J., Al-Jasass, F. M., & Siddiq, M. (2014). Date fruit composition and nutrition. *Dates: Postharvest Science, Processing Technology and Health Benefits*, 261-283.
- Ahmed, J., & Ramaswamy, H. S. (2006). Physico-chemical properties of commercial date pastes (*Phoenix dactylifera*). *Journal of Food Engineering*, 76(3), 348-352.
- Ait-Oubahou, A., & Yahia, E. M. (1999). Postharvest handling of dates. *Postharv. News Info*, 10(6), 67N-74N.
- Al-Abid, M. R. (2003). Date skin as a source of antioxidant activity and free radical scavenging. Dans: *First International Meeting of Date Palm Phoenix dactylifera L., Qassim* (pp. 643-658).
- Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M., & Al-Rawahy, F (2007 a), Maintaining the soft consistency of date paste, *Acta Horticulturae*, 736 , 523 – 530.
- Al-Abid M , Al-Shoaily K , Al-Amry M & Al-Rawahy F (2007 b), Preparation of caramel colour from dates , *Acta Horticulturae* , 736 , 537 – 541.
- Al Baker, A. J. (2002). The date palm: its past, recent, and modern ideas in plantation, industry and commerce. Arabian Dar for Encyclopédias. Beirut, Lebanon, pp.10-85.
- 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.
- Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M., & Al-Rawahy, F. (2007). Compositional and functional characteristics of dates, syrups, and their by-products. *Food Chemistry*, 104(3), 943-947.

[Références Bibliographiques]

- Al-Farsi, M. A., & Lee, C. Y. (2008). Nutritional and functional properties of dates: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(10), 877-887.
- Al-Hooti, S., Sidhu, S. S., & Gabazard, H. (1998). Chemical composition of seeds of date fruit cultivars of United Arab Emirates. *Journal of food science and technology*, 35(1), 44-46.
- Al-Hooti, S. N., Sidhu, J. S., Al-Saqer, J. M., & Al-Othman, A. (2002). Chemical composition and quality of date syrup as affected by pectinase/cellulase enzyme treatment. *Food chemistry*, 79(2), 215-220.
- Ali, B. H., Bashir, A. K., & Alhadrami, G. (1999). Reproductive hormonal status of rats treated with date pits. *Food chemistry*, 66(4), 437-441.
- Al-Jasim, H. A., & Al-Delaimy, K. S. (1972). Pectinesterase activity of some Iraqi dates at different stages of maturity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23(7), 915-917.
- Allaith, A. A. A. (2008). Antioxidant activity of Bahraini date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit of various cultivars. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(6), 1033-1040.
- Almeida, M. E. M., & Nogueira, J. N. (1995). The control of polyphenol oxidase activity in fruits and vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition*, 47(3), 245-256.
- Al-Ogaidi, H. K., & Mutlak, H. H. (1986). The phenolic compounds of four date cultivars during maturity stages. *Date Palm Journal*, 4 (2), 191 – 203.
- Al-Qarawi, A. A., Mousa, H. M., Ali, B. H., Abdel-Rahman, H., & El-Mougy, S. A. (2004). Protective effect of extracts from dates (*Phoenix dactylifera* L.) on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats. *Int J Appl Res Vet Med*, 2(3), 176-180.
- Al-Qarawi, A. A., Abdel-Rahman, H., Ali, B. H., Mousa, H. M., & El-Mougy, S. A. (2005). The ameliorative effect of dates (*Phoenix dactylifera* L.) on ethanol-induced gastric ulcer in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 98(3), 313-317.
- Al-Qarawi, A. A., Abdel-Rahman, H., Mousa, H. M., Ali, B. H., & El-Mougy, S. A. (2008). Nephroprotective action of *Phoenix dactylifera* in gentamicin-induced nephrotoxicity. *Pharmaceutical Biology*, 46(4), 227-230.
- Al-Redhaiman, K. N. (2004). Modified atmosphere improves storage ability, controls decay, and maintains quality and antioxidant contents of Barhi date fruits. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2, 25-32.

[Références Bibliographiques]

- Al-Senaidy, A. M., & Ismael, M. A. (2011). Purification and characterization of membrane-bound peroxidase from date palm leaves (*Phoenix dactylifera* L.). *Saudi journal of biological sciences*, 18(3), 293-298.
- Al-Shahib, W., & Marshall, R. J. (2003). The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future?. *International journal of food sciences and nutrition*, 54(4), 247-259.
- Altunkaya, A., & Gökmen, V. (2008). Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry*, 107(3), 1173-1179.
- Amiot, M. J., Tacchini, M., Aubert, S., & Nicolas, J. (1992). Phenolic composition and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal of Food Science*, 57(4), 958-962.
- Amorim, H.W. & Melo, M. (1991). Significance of enzymes in non-alcoholic coffee beverage. Dans: Fox, P.F. (Ed.) *Food enzymology*. Elsevier Science Publishing, New York, pp. 189-209.
- Andrews, J., Adams, S. R., Burton, K. S., & Evered, C. E. (2002). Subcellular localization of peroxidase in tomato fruit skin and the possible implications for the regulation of fruit growth. *Journal of Experimental Botany*, 53(378), 2185-2191.
- Anonyme (2002). Statistiques agricoles : Superficies et productions. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Série A, pp 5-6.
- Anonyme (2012). Direction .Service .Agricole, Statistiques de la commune de Ouargla. Rapport annuel.
- Aremu, A. O., Amoo, S. O., Ndhlala, A. R., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2011). Antioxidant activity, acetylcholinesterase inhibition, iridoid content and mutagenic evaluation of *Leucosidea sericea*. *Food and Chemical Toxicology*, 49(5), 1122-1128.
- Arvanitoyannis, I. S. (2010). Irradiation of food commodities: Techniques, applications, detection, legislation, safety and consumer Opinion). 1st Edition. London: Academic Press an imprint of Elsevier.
- Ayed, N., Yu, H. L., & Lacroix, M. (1999). Improvement of anthocyanin yield and shelf-life extension of grape pomace by gamma irradiation. *Food research international*, 32(8), 539-543.

[Références Bibliographiques]

- Azelmat, K., El Garrouj, D., Mouhib, M., & Sayah, F. (2006). Irradiation of Bouffegous dates: effects on chemical composition during storage. *Postharvest Biology and Technology* 39, 217–222.
- Baaziz, M., Aissam, F., Brakez, Z., Bendiab, K., El Hadrami, I., & Cheikh, R. (1994). Electrophoretic patterns of acid soluble proteins and active isoforms of peroxidase and polyphenoloxidase typifying calli and somatic embryos of two reputed date palm cultivars in Morocco. *Euphytica*, 76(3), 159-168.
- Baliga, M. S., Baliga, B. R. V., Kandathil, S. M., Bhat, H. P., & Vayalil, P. K. (2011). A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Research International*, 44(7), 1812-1822.
- Barrett, D.M., Somogyi, L.P., & Ramaswamy, H.S. (2005). Processing fruits (Sciences and Technology). Second ed. CRC Press, Orlando, USA, 841 p.
- Barrevel, W. H. (1993). Date palm products FAO Agricultural Services Bulletin, pp. 101, 211 *FAO*, Rome, Italie.
- Bayindirli, A. (2010). Enzymes in fruit and vegetable Processing: Chemistry and Engineering Applications. Taylor and Francis Publishing, CRC Press, London, pp. 197–214.
- Beaulieu, M., D'Apran, M. B. G., & Lacroix, M. (1999). Dose rate effect of γ irradiation on phenolic compounds, polyphenol oxidase, and browning of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(7), 2537-2543.
- Belarbi, A., Aymard, CH., & Hebert, J.P. (2001a). Evolution of *deglet-noor* date quality on it heat treatments (color and texture). Proc Second Intl Conf on Date Palms. Al-Ain, Emirats Arabes Unies. Mars 25–26.
- Belarbi, A., Aymard, CH., & Hebert, J.P. (2001b). Points of caution in studying heat inactivation of enzymes, exemplified by the polyphenoloxidase from the *deglet-nour* date (*Phoenix dactylifera* L.). Proc Second Intl Conf on Date Palms. Al-Ain, Emirats Arabes Unies. Mars 25–26.
- Belguedj, M. (2002). Les ressources génétiques du palmier dattier. Caractéristiques des cultivars de dattiers du Sud-Est du Sahara algérien. Dossiers-Documents-Débats (3D) No 1. Ed. INRAA. Alger, 289 p.
- Benamara, S., Chibane H. & Boukhelifa, M. (2004). Essai de formulation d'un yaourt naturel aux dattes. Revue Industrie Agricole et Alimentaire. *Actualités techniques et scientifiques*, N°1. 11-14 p.

[Références Bibliographiques]

- Benchabane, A. (1996). Rapport de synthèse de l'atelier "Technologie et qualité de la datte". Dans: Options méditerranéennes, série A, N° 28. Séminaires méditerranéens. Ed. IAM, Zaragoza, Spain, pp 205-210.
- Benchabane, A., Kechida, F., & Bellal, M. M. (2000). Caractérisation des substances pectiques et évaluation des autres composés pariétaux au cours de la maturation de deux variétés de datte d'Algérie. Dans: *Annales de l'Institut national agronomique El Harrach* (Vol. 21, No. 1-2, pp. 33-39). Institut national agronomique.
- Benchelah, A. C., & Maka, M. (2008). Les dattes: intérêt en nutrition. *Phytothérapie*, 6(2), 117-121.
- Bendiab, K., Baaziz, M., Brakez, Z., & Sedra, M. H. (1992). Correlation of isoenzyme polymorphism and Bayoud-disease resistance in date palm cultivars and progeny. *Euphytica*, 65(1), 23-32.
- Benjamin, N.D., Tonelli-Peres, K.C. Ali, N.M. Al-Drobi. & N.A. (1979). Date polyphenol oxidase: Partial purification and characterization. Tech Bull Palm Dates Research Center No. 9/79:1-25.
- Besbes, S., Drira, L., Blecker, C., Deroanne, C., & Attia, H. (2009). Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera* L.): Compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food chemistry*, 112(2), 406-411.
- Biglari, F., Alkarkhi, A.F.M. & Easa, A.M. (2008). Antioxidant activity and phenolic content of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Iran, *Food Chemistry* , 107 , 1636 – 1641.
- Blee, K. A., Jupe, S. C., Richard, G., Zimmerlin, A., Davies, D. R., & Bolwell, G. P. (2001). Molecular identification and expression of the peroxidase responsible for the oxidative burst in French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and related members of the gene family. *Plant Molecular Biology*, 47(5), 607-620.
- Boudries, H., Kefalas, P., & Hornero-Méndez, D. (2007). Carotenoid composition of Algerian date varieties (*Phoenix dactylifera*) at different edible maturation stages. *Food Chemistry*, 101(4), 1372-1377.
- Bouguedoura, N., Ibrahim, A., Ould Mohamed, A., Saker, M. & Trifi, M. (2008). A paper presented at NEPAD Biotechnology Workshop “Challenges for North Africa and Promises for a Regional Integrated Program”, Ezzahra, Tunisia, in collaboration with the Tunisian Society of Microbiology, pp: 22-25.
- Bouguedoura N., Bennaceur M., & Benkhelifa A. (2010). Le palmier dattier en algérie. Dans: Bertossi F-A (Ed.), *Biotechnologie de palmiers dattiers*, IRD, Paris, pp. 15-22.

[Références Bibliographiques]

- Brady, C. J. (1987). Fruit ripening. *Annual review of plant physiology*, 38(1), 155-178.
- Breitföllner, F., Solar, S., & Sontag, G. (2002). Effect of gamma irradiation on flavonoids in strawberries. *European Food Research and Technology*, 215(1), 28-31.
- Brody, A.L., Zhuang, H., & Han, J.H. (2011). Modified Atmosphere Packaging for Fresh cut Fruits and Vegetables, Blackwell Publishing Ltd., pp. 13-14.
- Byun, M. W., Yook, H. S., Kwon, O. J., & Kang, I. J. (1997). Effects of gamma irradiation on physicochemical properties of Korean red ginseng powder. *Radiation Physics and Chemistry*, 49, 483–489.
- C.D.A.R.S : ‘Le Patrimoine Phoenicicole National, Potentiel et Diversité’, Stage de perfectionnement sur la Phoeniciculture, INFSAS Ouargla (Janvier 1996).
- Chaira, N., Smaali, M. I., Martinez-Tomé, M., Mrabet, A., Murcia, M. A., & Ferchichi, A. (2009). Simple phenolic composition, flavonoid contents and antioxidant capacities in water–methanol extracts of Tunisian common date cultivars (*Phoenix dactylifera* L.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60, 316–329.
- Chakraverty, A., Mujumdar, A.S., Vijaya Raghavan, G. S., & Ramaswamy, H S. (2003). *Handbook of postharvest technology*. Marcel Dekker, Inc. New York, 907 P.
- Chandrasekaran, M., & Bahkali, A.H. (2013). Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology – Review. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 20 : 105–120.
- Chanforan, C. (2010). Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation: études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.
- Chao, C. T., & Krueger, R. R. (2007). The date palm (*Phoenix dactylifera* L.): overview of biology, uses, and cultivation. *HortScience*, 42(5), 1077-1082.
- Chazarra, S., García-Carmona, F., & Cabanes, J. (2001). Evidence for a tetrameric form of iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.) polyphenol oxidase: purification and characterization. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(10), 4870-4875.
- Cheftel, J., & Cheftel, C., (1978). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Vol I, 4^{ème} tirage. Ed.Tech et Doc-Lavoisier. Paris, 367 p.
- Cheftel, J & Cheftel, H. (1984). Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments Vol. I. Technique et documentation. Lavoisier (4^{ème} ed.). Paris. p. 333-363.

[Références Bibliographiques]

- Chehema, A., & Longo, H. F. (2001). Valorisation des sous-produits du palmier dattier en vue de leur utilisation en alimentation du bétail. *Rev. Energ. Ren.: Production et Valorisation-Biomasse*, 59-64.
- Cheikh-Rouhou, S., Baklouti, S., Hadj-Taïeb, N., Besbes, S., Chaabouni, S., Blecker, C., & Attia, H. (2006). Élaboration d'une boisson à partir d'écart de triage de dattes: clarification par traitement enzymatique et microfiltration. *Fruits*, 61(6), 389-399.
- Chibane, H., Benamara, S., Noui, Y., & Djouab, A. (2007). Some physicochemical and morphological characterizations of three varieties of Algerian common dates. *European Journal of Scientific Research*, 18(1), 134-140.
- Chisari, M., Barbagallo, R. N., & Spagna, G. (2007). Characterization of polyphenol oxidase and peroxidase and influence on browning of cold stored strawberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(9), 3469-3476.
- Cia, P., Pascholati, F.S., Benato, E.A., Camili, C.E. & Santos, A.C. (2007.) Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. *Postharvest Biology and Technology*, 43, 366-373.
- Codex Alimentarius Commission. (2003). Codex general standard for irradiated foods, CODEX STAN 106-1983, Rev. 1-2003. Rome: Author.
- Coggins Jr, C. W., Knapp, J. C. F., & Ricker, A. L. (1968). Postharvest softening of Deglet Noor date fruit: Physical, chemical and histological changes. *Date Growers' Institute Reports*, 45, 3-5.
- Corner, E.J.H. (1966). *The Natural History of Palms*. Weidenfeld & Nicolson, London. 393 p.
- Côme, D., & Corbineau, F. (1999). Bases de la physiologie des légumes après récolte, Dans Tirilly, Y., Bourgeois, C. M. (Eds.), *Technologie des légumes*. TEC et DOC, collection sciences et Techniques agroalimentaires. Paris, pp.207-224,
- Craig, J. S., Kerby, K. B., Stein, B. D., & Somerville, S. C. (1995). Expression of an extracellular peroxidase that is induced in barley (*Hordeum vulgare*) by the powdery mildew pathogen (*Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*). *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 47, 407-418.
- Crozier, A., Yokota, T., Jaganath, I. B., Marks, S. C., Saltmarsh, M., & Clifford, M. N. (2006). Secondary metabolites in fruits, vegetables, beverages and other plant based dietary components. *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet*, (pp. 208-302). Oxford, Blackwell.
- Celikel, F. G., Joyce, D. C., & Faragher, J. D. (2011). Inhibitors of oxidative enzymes affect water uptake and vase life of cut *Acacia holosericea* and *Chamelaucium uncinatum* stems. *Postharvest Biology and Technology*, 60(2), 149-157.

[Références Bibliographiques]

- Daas Amiour, S. (2009). Etude quantitative des composés phénoliques des extraits de trois variétés de dattes (*Phoenix dactylifera* L.) et évaluation in vitro de leur activité biologique. Mémoire de magister, Université de Batna.
- Daas Amiour, S., Alloui-Lombarkia, O., Bouhdjila, F., Ayachi, A., & Hambaba, L. (2014). Étude de l'implication des composés phénoliques des extraits de trois variétés de datte dans son activité antibactérienne. *Phytothérapie*, 12(2), 135-142.
- 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.
- Degl' Innocenti, E., Pardossi, A., Tognoni, F., & Guidi, L. (2007). Physiological basis of sensitivity to enzymatic browning in 'lettuce', 'escarole' and 'rocket salad' when stored as fresh-cut products. *Food Chemistry*, 104(1), 209-215.
- Delannoy, É., Marmey, P., Penel, C., & Nicole, M. (2004). Les peroxydases végétales de classe III. *Acta botanica gallica*, 151(4), 353-380.
- De la Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E., & Gonzalez-Aguilar, G. (2010). *Fruit and vegetable phytochemicals*. Wiley-Blackwell, USA, 355 p.
- De Man, J. M. (1999). *Principles of food chemistry* (3^{ème} éd). Aspen Publication, Maryland, 460 p.
- De Rigal, D. (2001). Recherches sur l'inhibition du brunissement enzymatique : utilisation de préparations enzymatiques, substituts aux sulfites. Thèse de doctorat, université d'aix-Marseille III. 208 p.
- Diao, M., N'cho, Ayékoué. B., Dibala, C.I., Dabonné, S., & Dicko, M.H. (2014). Purification and characterization of sweet potato (*Ipomoea Batatas*) peroxidase. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 22, 3419–3432.
- Dijkstra, L., & Walker, J. R. (1991). Enzymic browning in apricots (*Prunus armeniaca*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(2), 229-234.
- Dincer, B., Colak, A., Aydin, N., Kadioglu, A., & Güner, S. (2002). Characterization of polyphenoloxidase from medlar fruits (*Mespilus germanica* L., Rosaceae). *Food Chemistry*, 77(1), 1-7.
- Djerbi, M. (1991). Biotechnologie du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) : voies de propagation des clones résistants au bayoud et de haute qualité dattière. Dans: Demarly Y. (ed.). Place et rôle des biotechnologies dans les systèmes de recherche agronomique des pays méditerranéens. Zaragoza : Ciheam, p. 31-38 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 14).
- Djerbi, M. (1994). Récolte des dattes. Précis de phéniculture, FAO, Tunis, pp.101-109.

[Références Bibliographiques]

- Doha, A., & Al-Okbi, S.Y. (2004). In-vivo evaluation of antioxidant and anti-inflammatory activity of different extracts of date fruits in adjuvant arthritis. *Polish J Food Nutrition Science*, 13:397–402.
- Dorantes-Alvarez, L. & Chiralt, A. (2000). Color of minimally processed fruits and vegetables as affected by some chemical and biochemical changes, Dans: Alzamora, S.M., Tapia, M.S. & Lopez-Malo, A. (Eds.), *Minimally Processed Fruits and Vegetables*, Aspen Publications. Gaithersburg MD, pp. 111–126.
- Dorais, M., Ehret, D. L., & Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 231-250.
- Dowson, V.H.W. (1962). Date production and protection with special reference to North Africa and the Near East. FAO Plant Production and Protection Paper, No. 35. 469 p.
- Dowson, V. H. W. & Aten, A. (1963). Composition et maturation. Récolte et conditionnement des dattes. FAO, Rome, 10-43: 229-243.
- Drake, S.R., Sanderson, P.G. & Neven, L.G. (1999). Response of apple and winterpear fruit quality to irradiation as a quarantine treatment. *Journal of Food Processing and Preservation*, 23 (3), 203–216.
- Duan, X. W., Su, X. G., You, Y. L., Qu, H. X., Li, Y. B., & Jiang, Y. M. (2007). Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. *Food Chemistry*, 104, 571–576.
- Duarte, A. C. P., Coelho, M. A. Z., & Leite, S. G. F. (2002). Identification of peroxidase and tyrosinase in green coconut water identificación de peroxidasa y tirosinasa en jugo de coco verde identificación de peroxidasa e tirosinasa en xugo de coco verde. *CYTA-Journal of Food*, 3(5), 266-270.
- Dubost, D. (1991). Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse de Doctorat., Université François Rabelais, Tours.
- El-Arem, A., Flamini, G., Saafi, E. B., Issaoui, M., Zayene, N., Ferchichi, A., Hammami, M., Helal, A. N., Achour, L. (2011). Chemical and aroma volatile compositions of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits at three maturation stages. *Food Chemistry*, 127: 1744–1754.
- El-Arem, A., Saafi, E. B., Flamini, G., Issaoui, M., Ferchichi, A., Hammami, M., & Achour, L. (2012). Volatile and nonvolatile chemical composition of some date fruits (*Phoenix dactylifera* L.) harvested at different stages of maturity. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(3), 549-555.

[Références Bibliographiques]

- El-gasim, E. A., Alyousef, Y. A., & Humeid, A. M. (1995). Possible hormonal activity of date pits and flesh fed to meat animals. *Food Chemistry*, 52(2), 149-152.
- El Hadrami, I., & El Hadrami, A. (2009). Breeding date palm. Dans: *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species*. Springer, New York, pp. 191-216.
- El Hadrami, A., Daayf, F., & El Hadrami, I. (2011). Secondary metabolites of date palm. Dans: *Date palm biotechnology*. Springer, Netherlands, pp. 653-674.
- El Modafar, C., Tantaoui, A., & El Boustani, E. (2000). Effect of caffeoylshikimic acid of date palm roots on activity and production of *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* cell wall-degrading enzymes. *Journal of Phytopathology*, 148(2), 101-108.
- El-Mougy, S. A., Abdel-Aziz, S. A., Al-Shanawany, M., & Omar, A. (1991). The gonadotropic activity of *Palmae* in mature male rats. *Alexandria Journal of Pharmaceutical Science*, 5, 156-159.
- EI-Shaarawy, M., Mesallam, M.I., EI-Nakhal, A.S., & Wahdan, A.N. (1989). Studies on extraction of dates. Proc. of the 2nd Symp. On Date Palm, K.F. Univ., AI-Hassa, Saudi Arabia, March 3-6 : 259-271.
- El-Sharnouby, G. A., & Al-Eid, S. M. (2009). Utilization of enzymes in the production of liquid sugar from dates. *African Journal of Biochemistry Research*, 3(3), 41-47.
- Emam, O. A., Farag, S. E. A., & Hammad, A. I. (1994). Comparative studies between fumigation and irradiation of semi-dry date fruits. *Food/Nahrung*, 38(6), 612-620.
- Eskin, N.A.M. (1990). Biochemistry of food spoilage: Enzymatic browning. Dans Eskin, N.A.M. (Ed.), *Biochemistry of Foods*, Academic Press, New York, pp. 401-432.
- Espelie, K.E., Franceschi, V.R. & Kolattukudy, P.E. (1986) Immunocyto-chemical localization and time course of appearance of an anionic peroxidase associated with suberization in wound-healing potato tuber tissue. *Plant Physiology*, 87, 487-492.
- Espiard, E. (2002). Introduction à la transformation industrielle des fruits. Tech et Doc. Lavoisier, Paris. pp 147-155.
- Espin, J. C., Morales, M., Varon, R., Tudela, J., & Garcia-Canovas, F. (1995). Monophenolase activity of polyphenol oxidase from Verdedoncella apple. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(11), 2807-2812.
- Espín, J. C., Trujano, M. F., Tudela, J., & García-Cánovas, F. (1997). Monophenolase activity of polyphenol oxidase from Haas avocado. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(4), 1091-1096.

[Références Bibliographiques]

- Estanove, P. (1990). Note technique : Valorisation de la datte. Dans: Options méditerranéennes, série A, N°11. Systèmes agricoles oasiens. Ed. CIHEAM, Montpellier, pp 301-318.
- Eustice, R.F. & Bruhn, C.M. (2013). Consumer acceptance and marketing of irradiated foods. Dans: Fan, X. and Sommers, C.H. (Eds.), *Food irradiation research and technology*. Blackwell, Ames, Iowa, pp. 173-195.
- Fan, X. (2005). Antioxidant capacity of fresh-cut vegetables exposed to ionizing radiation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 995-1000.
- Fan, X. & Mattheis, J.P. (2001) 1-Methylcyclopropene and storage temperature influence responses of Gala' apple fruit to gamma irradiation. *Postharvest Biology and Technology*, 23, 143–151.
- Fan, X., 2013. Irradiation of fresh and fresh-cut fruits and vegetables: quality and shelf life (2^{ème} Ed), Dans : Fan X & Sommers, C.H. (eds.), *Food irradiation research and technology*. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, pp. 271–294.
- Fan, X., & Sommers, C. H. (2013). *Food Irradiation Research and Technology*, (2^{ème} Ed.). Blackwell Publishing, Ames, Iowa.
- FAO, (2003). The marketing potential of date palm fruits in the European market, FAO commodity and Trade Policy Research Working Paper No. 6, Pascal Liu (Ed.), Raw Materials, Tropical and Horticultural Products Service Commodities and Trade Division, FAO, Rome.
- FAO, (2004). FAO STAT statistics database agriculture. Rome
- FAO/IAEA/WHO (1999). High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Report of a Joint FAO IAEA WHO Study Group. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Favier, J.C., Ireland, R.J., Toque, C., & Feinberg M. (1995). Répertoire général des aliments. Tec et Doc- Lavoisier, INRA , p 897.
- Fernandes, Â., Antonio, A. L., Oliveira, M. B. P., Martins, A., & Ferreira, I. C. (2012). Effect of gamma and electron beam irradiation on the physico-chemical and nutritional properties of mushrooms: A review. *Food Chemistry*, 135(2), 641-650.
- Fernandez, D., Lourd, M., Ouinten, M., & Geiger, J. P. (1995). Le Bayoud du palmier dattier: une maladie qui menace la phoéniculture. *Phytoma: la Défense des Végétaux*, (469), 36-40.
- Finger, A. (1994). In-vitro studies on the effect of polyphenol oxidase and peroxidase on the formation of polyphenolic black tea constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66(3), 293-305.
- Fox, J. A. (2002). Influences on purchase of irradiated foods. *Food Technology*, 56, 1–8.

[Références Bibliographiques]

- Fraignier, M. P., Marques, L., Fleuriet, A., & Macheix, J. J. (1995). Biochemical and immunochemical characteristics of polyphenol oxidases from different fruits of Prunus. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(9), 2375-2380.
- Fraignier, M. P., Michaux-Ferrière, N., & Kobrehel, K. (2000). Distribution of peroxidases in durum wheat (*Triticum durum*). *Cereal Chemistry*, 77(1), 11-17.
- Ghoul, M., & Chebil, L. (2012). Enzymatic polymerization of phenolic compounds by oxidoreductases. Dans : *Enzymatic polymerization of phenolic compounds by oxidoreductases* Springer Netherlands, pp. 1-46.
- Goldberg, R., Imberty, A., Liberman, A., & Prat, R. (1986). Relationships between peroxidatic activities and cell wall plasticity. Dans : Greppin, H., Penel, C, & Gaspar, T. (Eds.), *Molecular and Physiological Aspects of Plant Peroxydases*. Université de Genève, Genève, pp.208-220.
- Goneum, S.I., El-Samahy, S.K. Ibrahim, S.S. El-Fadeel M.G.A., & Mohammed. S.M. (1993). Compositional changes in the date fruits during ripening by freezing. Program and Abstracts of the Third Symposium on the Date Palm in Saudi Arabia, King Faisal University, Al-Hassa, Saudi Arabia, Abstract No. I-14, p. 162.
- Grotewold, E. (2006). *The Science of Flavonoids*. Springer, Ohio, USA.
- Gualtieri, M., & Rapaccini, S. (1990). Date stones in broiler's feeding. *Tropicultura*, 8(4), 165-168.
- Habib, H. M., & Ibrahim, W. H. (2009). Nutritional quality evaluation of eighteen date pit varieties. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60, 99–111.
- Hallman, G.J. (2013) Control of stored product pests by ionizing radiation, *Journal of Stored Products Research*, 52, 36-41.
- Hameed, A., Shah, T. M., Atta, B. M., Haq, M. A., & Sayed, H. (2008). Gamma irradiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxidase and protease activity, lipid peroxidation in desi and kabuli chickpea. *Pakistan Journal of Botany*, 40(3), 1033-1041.
- Hannachi, S., Khitri, D., Benkhalifa, A., & Brac, D. L. P. R. (1998). Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. *Ministère de l'agriculture et de la pêche, Ministère de l'enseignement et de la recherche scientifique. Ed. CDARS-URZA, Algérie, 225p.*
- Harel, E., Mayer, A. M., & Lerner, H. R. (1970). Changes in the levels of catechol oxidase and laccase activity in developing peaches. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 21(10), 542-544.
- Harrison, K., & Were, L. M. (2007). Effect of gamma irradiation on total phenolic content yield and antioxidant capacity of Almond skin extracts. *Food Chemistry*, 102, 932-937.

[Références Bibliographiques]

- Haruta, M., Murata, M., Kadokura, H., & Homma, S. (1999). Immunological and molecular comparison of polyphenol oxidase in Rosaceae fruit trees. *Phytochemistry*, 50(6), 1021-1025.
- Hasegawa, S., Maier, V. P., Kaszycki, H. P., & Crawford, J. K. (1969). Polygalacturonase content of dates and its relation to maturity and softness. *Journal of Food Science*, 34(6), 527-529.
- Hasegawa, S., & Smolensky, D. C. (1971). A Research Note Cellulase in dates and its role in fruit softening. *Journal of Food Science*, 36(6), 966 – 967.
- Haslam *et al.* (1992). Polyphenol Complexation. Dans: Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health I; Ho, C., *et al.*; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC.
- Heim, K.E., Tagliaferro A.R., & Bobilya, D.J. (2002). Flavonoid antioxidants: Chemistry metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutrition and Biochemistry*, 13, 572–584.
- Hiraga, S., Yamamoto, K., Ito, H., Sasaki, K., Matsui, H., Honma, M. & Ohashi, Y. (2000). Diverse expression profiles of 21 rice peroxidase genes. *Febs Letters*, 471(2-3), 245-250.
- Hiraga, S., Sasaki, K., Ito, H., Ohashi, Y., & Matsui, H. (2001). A large family of class III plant peroxidases. *Plant and Cell Physiology*, 42(5), 462– 468.
- Holden, D.W. & Rohringer, R. (1985) Peroxidases and glycosidases in intercellular fluids from non-inoculated and rust-affected wheat leaves. *Plant Physiology* 79, 820 – 824.
- Hong, Y. J., Tomas-Barberan, F. A., Kader, A. A., & Mitchell, A. E. (2006). The flavonoid glycosides and procyanidin composition of Deglet Noor dates (*Phoenix dactylifera*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(6), 2405–2411.
- Hui, Y. H., Barte, J., Pilar-Cano, M., & Gusek, T. W. (2006). Handbook of fruit and fruit processing. John Wiley & Sons
- Hui, Y. H., Legarretta, I. G., Lim, M. H., Murrell, K. D., & Nip, W. K (2004). Handbook of frozen foods (Vol. 133). CRC Press, New York, 707 p.
- IAEA. (1982). Ionizing radiation: Sources and biological effects by United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Issue 18, Volume 14.
- IAEA. (1991). Analytical Detection Methods for Irradiated Foods. IAEA, TEC & DOC, Vienne, 578 p
- ICGFI. (1999). Facts about Food irradiation. A series of Fact Sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI).

[Références Bibliographiques]

- ICGFI. (2005). Facts about Food irradiation. A series of Fact Sheets from the International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI).
- IPGRI. (International Plant Genetic Resources Institute). (2004). Participative management on genetic resources of date palm in Maghreb oasis.
- Ishurd, O., & Kennedy, J. F. (2005). The anti-cancer activity of polysaccharide prepared from Libyan dates (*Phoenix dactylifera* L.). *Carbohydrate Polymers*, 59(4), 531-535.
- Ismail, B., Haffar, I., Baalbaki, R., & Henry, J. (2001). Development of a total quality scoring system based on consumer preference weightings and sensory profiles: application to fruit dates (Tamr). *Food quality and Preference*, 12(8), 499-506.
- Jain, S. M., Al-Khayri, J. M., & Johnson, D. V. (2011). Date palm biotechnology. Springer, New York. pp. 653–674.
- Janovitz-Klapp, A. H., Richard, F. C., Goupy, P. M., & Nicolas, J. J. (1990). Kinetic studies on apple polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(7), 1437-1441.
- Jassim, S. A. A., & Naji, M. A. (2008). In vitro evaluation of the antiviral activity of an extract of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pits on a pseudomonas phage. *Evidence based complementary and alternative medicine*, 15, 1–6.
- Jaiti, F., Verdeil, J. L., & El Hadrami, I. (2009). Effect of jasmonic acid on the induction of polyphenoloxidase and peroxidase activities in relation to date palm resistance against *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 74(1), 84-90.
- Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P. & Brulé G. (2006). Sciences des aliments, Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 383 p.
- Jiang, Y. M. (1999). Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. *Food Chemistry*, 66(1), 75-79.
- Jiang, Y., & Li, Y. (2001). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chemistry*, 73(2), 139-143.
- Jiang, Y., Li, J., & Jiang, W. (2005). Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. *LWT-food Science and Technology*, 38(7), 757-761.
- Jiang, Y., Li, J., & Jiang, W. (2005). Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. *LWT-food Science and Technology*, 38(7), 757-761.
- Jiménez, M., Escribano-Cebrián, J., & García-Carmona, F. (1998). Oxidation of the flavonol fisetin by polyphenol oxidase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1425(3), 534-542.

[Références Bibliographiques]

- Jiménez, M., & García-Carmona, F. (1999). Myricetin, an antioxidant flavonol, is a substrate of polyphenol oxidase. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(14), 1993-2000.
- Jiménez-Atienzar, M., Josefa Escribano, J., Cabanes, J., Gandia-Herrero, F., García-Carmona, F. Jiménez-Atienzar, M., Escribano, J., Cabanes, J., Gandia-Herrero, F., & García-Carmona, F. (2005). Oxidation of the flavonoid eriodictyol by tyrosinase. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43(9), 866-873.
- Joshi, M. R., Srirangarajan, A. N., & Thomas, P. (1990). Effects of gamma irradiation and temperature on sugar and vitamin C changes in five Indian potato cultivars during storage. *Food chemistry*, 35(3), 209-216.
- Joslyn, M. A., & Ponting, J. D. (1951). Enzyme-catalyzed oxidative browning of fruit products. *Advances in Food Research*, 3, 1-44.
- Kader, A. A. (1986). Potential applications of ionizing radiation in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Food Technology*, 40, 117-121.
- Kader, A. A., & Hussein, A. M. (2009). Harvesting and postharvest handling of dates. *ICARDA, Aleppo, Syria*. 15 p.
- Kader, F., Haluk, J. P., Nicolas, J. P., & Metche, M. (1998). Degradation of cyanidin 3-glucoside by blueberry polyphenol oxidase: kinetic studies and mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(8), 3060-3065.
- Kavrayan, D., & Aydemir, T. (2001). Partial purification and characterization of polyphenoloxidase from peppermint (*Mentha piperita*). *Food Chemistry*, 74(2), 147-154.
- Kerby, K., & Sommerville, S.c. (1992) Purification of an infection-related, extracellular peroxylase from barley. *Plant Physiology* 100, 397-402.
- Khali, M., & Selselet-Attou, G. (2007). Effect of heat treatment on polyphenol oxidase and peroxidase activities in Algerian stored dates. *African journal of biotechnology*. 6(6): 790-794.
- Khatri, N.K. (1997), Postharvest diseases of date palm. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 27: 218 – 219.
- Khattak, K. F., & Simpson, T. J. (2008). Effect of gamma irradiation on the extraction yield, total phenolic content and free radical-scavenging activity of *Nigella staiva* seed. *Food chemistry*, 110(4), 967-972.
- Khenfar, B. (2004). Contribution à l'étude de quelques caractéristiques morphologiques de quatre cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) dans la région de droh

[Références Bibliographiques]

- (Wilaya de Biskra). Mémoire d'Ingénieur. Département d'agronomie. Université de Batna.
- Kikuchi, N. & Miki, T. (1978). The separation of date (*Phoenix dactylifera*) sterols by liquid chromatography. *Microchimica Acta*, 69(1): 89–96.
- Kim, D., Song, H., Lim, S., Yun, H., & Chung, J. (2007). Effects of gamma irradiation on the radiation-resistant bacteria and polyphenol oxidase activity in fresh kale juice. *Radiation Physics and Chemistry*, 76(7), 1213-1217.
- Kojthung, A., Meesilpa, P., Sudatis, B., Treeratanapiboon, L., Lertyot, R., & Oonkhanond, B. (2008). Effects of gamma radiation on biodegradation of *Bombyx mori* silk fibroin. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62, 487–490.
- Koseki, P. M., Villavicencio, A. L. C., Brito, M. S., Nahme, L. C., Sebastião, K. I., Rela, P. R., & Freitas, P. C. (2002). Effects of irradiation in medicinal and eatable herbs. *Radiation Physics and Chemistry*, 63(3), 681-684.
- Kushad, M. M., Guidera, M., & Bratsch, A. D. (1999). Distribution of horseradish peroxidase activity in horseradish plants. *HortScience*, 34(1), 127-129.
- Lagnika, L. (2005). Etude phytochimique et activité biologique de substances naturelles isolées de plantes béninoises. Thèse de doctorat. Université d'Abomey-Calavi.
- Lalaguna, F. (1998). Response of *Galia* 'Muskmelons to Irradiation as a Quarantine Treatment. *HortScience*, 33(1), 118-120.
- Lamaison, J. L., & Carnart, A. (1991). Teneurs en principaux flavonoïdes des fleurs et des feuilles de *Crataegus monogyna* Jacq. et de *Crataegus laevigata* (Poiret) DC. en fonction de la période de végétation. *Plantes médicinales et phytothérapie*, 25(1), 12-16.
- Lassouane, N., Belkebir, A., & Aid, F. (2005). Régulation du métabolisme des substances phénoliques chez le soja (*Glycine max* L.). 1-Effets de l'obscurité. Dans: *Annales de l'Institut national agronomique El Harrach* (Vol. 26, No. 1-2, pp. 73-93). Institut national agronomique.
- Latorre, M. E., Narvaiz, P., Rojas, A. M., & Gerschenson, L. N. (2010). Effects of gamma irradiation on bio-chemical and physico-chemical parameters of fresh-cut red beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) root. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 178-191.
- Lee, N. Y., Jo, C., Sohn, S. H., Kim, J. K., & Byun, M. W. (2006). Effects of gamma irradiation on the biological activity of green tea byproduct extracts and a comparison with green tea leaf extracts. *Journal of food science*, 71(4), C269-C274.
- Lee, S. K., & Kader, A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20, 207–220.

[Références Bibliographiques]

- Lee, P. M., Lee, K. H., Ismail, M., & Karim, A. (1991). Biochemical studies of cocoa bean polyphenol oxidase. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 55(2), 251-260.
- Liu, P. (2003). The marketing potential of date palm fruits in the European market. *FAO Commodity and Trade Policy Research Working Paper (FAO)*.
- Lopez, A.S., & Dimick, P.S. (1991). Enzymes involved in cocoa curing. Dans: Fox, P.F. (Ed.), *Food Enzymology*, Elsevier Science Publishing, New York, pp. 211-236.
- Lopez-Molina, D., Heering, H. A., Smulevich, G., Tudela, J., Thorneley, R. N., García-Cánovas, F., & Rodríguez-López, J. N. (2003). Purification and characterization of a new cationic peroxidase from fresh flowers of *Cynara scolymus* L. *Journal of inorganic biochemistry*, 94(3), 243-254.
- López-Serrano, M., & Barceló, A. R. (1996). Purification and characterization of a basic peroxidase isoenzyme from strawberries. *Food chemistry*, 55(2), 133-137.
- Lozano, J. E. (2006). Fruit manufacturing Scientific Basis, Engineering properties, and deteriorative reactions of technological importance. Springer Sciences Business Media, LLC. Bahia Blanca, Argentine. 237 p.
- Lu, S., Luo, Y., Turner, E., & Feng, H. (2007). Efficacy of sodium chlorite as an inhibitor of enzymatic browning in apple slices. *Food Chemistry*, 104(2), 824-829.
- Lu, Z., Yu, Z., Gao, X., Lu, F., & Zhang, L. (2005). Preservation effects of gamma irradiation on fresh-cut celery. *Journal of food engineering*, 67(3), 347-351.
- Lourenço, E. J., Leão, J. D. S., & Neves, V. A. (1990). Heat inactivation and kinetics of polyphenoloxidase from palmito (*Euterpe edulis*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 52(2), 249-259.
- Macheix, J., Fleuriet, A., & Billot, J. (1990). Phenolic compounds in fruit processing. Dans: Macheix, J., Fleuriet, A., Billot, J. (eds.), *Fruit Phenolics*, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 239-312.
- Macheix, J. J., Sapis, J. C., Fleuriet, A., & Lee, C. Y. (1991). Phenolic compounds and polyphenoloxidase in relation to browning in grapes and wines. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 30(4), 441-486.
- MADR. (2007) Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural Algérien. Journée Mondiale de l'alimentation, Le droit à l'alimentation, 16 Octobre, 38 p.
- Majourhat, K., Bendiab, K., Medraoui, L., & Baaziz, M. (2002). Diversity of leaf peroxidases in date palm (*Phoenix dactylifera* L.) as revealed in an example of marginal (seedling derived) palm groves. *Scientia horticultrae*, 95(1), 31-38.

[Références Bibliographiques]

- Mann, H. S., Alton, J. J., Kim, S., & Tong, C. B. (2008). Differential expression of cell-wall-modifying genes and novel cDNAs in apple fruit during storage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(1), 152-157.
- Mansouri, A., Embarek, G., Kokkalou, E., & Kefalas, P. (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food chemistry*, 89(3), 411-420.
- Marques, L., Fleuriet, A., & Macheix, J. J. (1995). Characterization of multiple forms of polyphenoloxidase from apple fruit. *Plant physiology and biochemistry*, 33(2), 193-200.
- Márquez, O., Waliszewski, K. N., Oliart, R. M., & Pardio, V. T. (2008). Purification and characterization of cell wall-bound peroxidase from vanilla bean. *LWT-food science and technology*, 41(8), 1372-1379.
- Marshall, M. R., Kim, J., & Wei, C. (2000). Enzymatic browning in fruits, vegetables and sea foods. FAO: Rome, Italy, 40 p.
- Martinez, C. (1997). Rôles des peroxydases dans la résistance du cotonnier à la bactériose causée par *xanthomonas-campes tiuspathovar malvacearum*, thèse de doctorat, université de Montpellier II. 162 p.
- Matheis, G., & Whitaker, J. R. (1984). Peroxidase-catalyzed cross linking of proteins. *Journal of protein chemistry*, 3(1), 35-48.
- Mathew, A. G., & Parpia, H. A. B. (1971). Food browning as a polyphenol reaction. *Advances in food research*, 19, 75-145.
- Matsui, K. N., Granado, L. M., De Oliveira, P. V., & Tadini, C. C. (2007). Peroxidase and polyphenol oxidase thermal inactivation by microwaves in green coconut water simulated solutions. *LWT-food science and technology*, 40(5), 852-859.
- Mayer, A. M. (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Phytochemistry*, 67(21), 2318-2331.
- Mayer, A. M., & Harel, E. Polyphenol oxidase in plants. *Phytochemistry* 1979, 18, 193-215.
- Mc Evily et al. 1992. *Inhibition of Polyphenol Oxidase In Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health I; Ho, C., et al.; ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC, 1992.*
- Mesquita, V. L. V. & Queiroz, C. (2013). Enzymatic browning. *biochemistry of foods*, pp. 387-419.
- Mikki, M.S. & Al-Taisan, S.M. (1993). Physico-chemical changes associated with freezing storage of date cultivars at their rutab stage of maturity. Program and Abstracts of the Third Symposium on the Date Palm in Saudi Arabia, King Faisal University, Al-Hassa, Saudi Arabia, Abstract No. I-11, p. 160.

[Références Bibliographiques]

- Mimouni, Y. (2015). Développement de produits diététiques hypoglycémisants à base de dattes molles variété «Ghars», la plus répandue dans la cuvette de Ouargla. Thèse de doctorat, Université de Ouargla.
- Mitchell, G. E., McLauchlan, R. L., Isaacs, A. R., Williams, D. J., & Nottingham, S. M. (1992). Effect of low dose irradiation on composition of tropical fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 5(4), 291-311.
- Montalbini, P., Buonauro, R. & Umesh-Kumar, N.N. (1995) Peroxidase activity and isoperoxidase pattern in tobacco leaves infected with tobacco necrosis virus and other viruses inducing necrotic and non-necrotic alterations. *Journal of Phytopathology*, 143,295-301.
- Motamed, S., Ghaemmaghami, F., & Alemzadeh, I. (2009). Turnip (*Brassica rapa*) peroxidase: purification and characterization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(23), 10614-10618.
- Munie,r P. (1973). Le palmier-dattier. Techniques agricoles et productions tropicales, Maisonneuve et Larose, Paris, France. 221p.
- Murcia, M. A., Egea, I., Romojaro, F., Parras, P., Jime'nez, A. M., & Martinez-Tome, M. (2004). Antioxidant evaluation in dessert spices compared with common food additives. Influence of irradiation procedure. *Journal of agriculture and food chemistry*, 52, 1872-1881.
- Mutlak, H. H., & Mann, J. (1984). Darkening of dates: Control by microwave heating. *Date Palm Journal*, 3(1), 303-316.
- Myhara, R. M., Karkalas, J., & Taylor, M. S. (1999). The composition of maturing Omani dates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(11), 1345-1350.
- Myhara, R. M., Al-Alawi, A., Karkalas, J., & Taylor, M. S. (2000). Sensory and textural changes in maturing Omani dates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(15), 2181-2185.
- Nguyen, T. B. T., Ketsa, S., & van Doorn, W. G. (2003). Relationship between browning and the activities of polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, 30(2), 187-193.
- Nicolas, J. J., Richard-Forget, F. C., Goupy, P. M., Amiot, M. J., & Aubert, S. Y. (1994). Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 34(2), 109-157.
- Nielsen, S. Suzanne. (2010). Food analysis (2^{ème} éd.), Springer, New York, pp. 50-59.

[Références Bibliographiques]

- Obukowicz, M., & Kennedy, G. S. (1981). Phenolic ultracytochemistry of tobacco cells undergoing the hypersensitive reaction to *Pseudomonas solanacearum*. *Physiological plant pathology*, 18(3), 339IN10-344IN15.
- Oszmianski, J., & Lee, C. Y. (1990). Inhibition of polyphenol oxidase activity and browning by honey. *Journal of agricultural and food chemistry*, 38(10), 1892-1895.
- Paliyath, G, Murr, DP, Handa, AK, & Lurie S. (2008). Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers (1^{ère} éd.), Wiley-Blackwell Publishing, Iowa, USA, 497p.
- Parkin, K. L., Marangoni, A., Jackman, R. L., Yada, R. Y., & Stanley, D. W. (1989). Chilling injury. A review of possible mechanisms. *Journal of Food Biochemistry*, 13(2), 127-153.
- Pascale, S. D., Maggio, A., Fogliano, V., Ambrosino, P., & Ritieni, A. (2001). Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(4), 447-453.
- Passardi, F., Penel, C., & Dunand, C. (2004). Performing the paradoxical: how plant peroxidases modify the cell wall. *Trends in plant science*, 9(11), 534-540.
- Perry, C. R., Matcham, S. E., Wood, D. A., & Thurston, C. F. (1993). The structure of laccase protein and its synthesis by the commercial mushroom *Agaricus bisporus*. *Microbiology*, 139(1), 171-178.
- Peyron G. (2000). Cultiver le palmier dattier. Guide illustré de formation. Quae, France, 112 p.
- Polle, A., Otter, T. & Seifert, F. (1994) Apoplastic peroxidases and lignification in needles of norway spruce (*Picea abies* L.). *Plant Physiology*, 106,53-60.
- Préstamo, G., & Manzano, P. (1993). Peroxidases of selected fruits and vegetables and the possible use of ascorbic acid as an antioxidant. *HortScience*, 28(1), 48-50.
- Puri, A., Sahai, R., Singh, K. L., Saxena, R. P., Tandon, J. S., & Saxena, K. C. (2000). Immunostimulant activity of dry fruits and plant materials used in Indian traditional medical system for mothers after child birth and invalids. *Journal of ethnopharmacology*, 71(1), 89-92.
- Queiroz, C., Mendes Lopes, M. L., Fialho, E., & Valente-Mesquita, V. L. (2008). Polyphenol oxidase: characteristics and mechanisms of browning control. *Food Reviews International*, 24(4), 361-375.
- Ramadan, B.R. (1995) Biochemical, nutritional and technological studies on dates. Ph.D. Thesis. Food Sci. Tech. Dept. Fac. Of Agric. Université d'Assiut.

[Références Bibliographiques]

- Ramaswamy, H., & Riahi, E. (2003). High-pressure inactivation kinetics of polyphenol oxidase in apple juice. *Applied Biotechnology, Food Science and Policy*, 1, 189–197.
- Reuveni, R., & Ferreira, J. F. (1985). The relationship between peroxidase activity and the resistance of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) to *Verticillium dahliae*. *Journal of Phytopathology*, 112(3), 193-197.
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., & Lonvaud, A. (2006). Handbook of Enology, Volume 1, The Microbiology of Wine and Vinifications (2ème éd.) John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 497 p.
- Ribéreau-Gayon J., Peynaud E., Sudraud P., & Ribéreau-Gayon P. (1972). *Traité d'œnologie-Sciences et techniques du vin. Tome 1.* Dunod. Paris. 671 p.
- Richard-Forget, F. C., & Gaillard, F. A. (1997). Oxidation of chlorogenic acid, catechins, and 4-methylcatechol in model solutions by combinations of pear (*Pyrus communis* cv. Williams) polyphenol oxidase and peroxidase: a possible involvement of peroxidase in enzymatic browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(7), 2472-2476.
- Riganakos, K. A. (2010). Food Irradiation Techniques Dans: Arvanitoyannis I.S. (Ed), *Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion* (1^{ère} éd.), Elsevier, San Diego, USA, pp. 23-42.
- Robb, D. A. (1984). Tyrosinase. Dans: Lontie, R. (Ed), *Copper proteins and copper enzymes*. CRC Press, Boca Raton, FL, Vol. II, pp. 207-240.
- Robinson, D. S. (1991). Peroxidases and catalases in foods. Dans: Robinson, D. S. & Eskin N. A. M. (Eds.), *Oxidative enzymes in foods*. Elsevier Applied Science. New York, pp. 1–45.
- Robinson, S. P., Loveys, B. R., & Chacko, E. K. (1993). Polyphenol oxidase enzymes in the sap and skin of mango fruit. *Functional Plant Biology*, 20(1), 99-107.
- Rodrigo, C., Rodrigo, M., Alvarruiz, A., & Frígola, A. (1996). Thermal inactivation at high temperatures and regeneration of green asparagus peroxidase. *Journal of Food Protection®*, 59(10), 1065-1071.
- Rygg, G.L. (1975), Date development, handling and packing in the United States. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, USA, Agricultural Handbook No. 482 , 56 pp.

[Références Bibliographiques]

- Saafi, E. B., El Arem, A., Issaoui, M., Hammami, M., & Achour, L. (2009). Phenolic content and antioxidant activity of four date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruit varieties grown in Tunisia. *International journal of food science & technology*, 44(11), 2314-2319.
- Saafi, E. B., Louedi, M., Elfeki, A., Zakhama, A., Najjar, M. F., Hammami, M., & Achour, L. (2011). Protective effect of date palm fruit extract (*Phoenix dactylifera* L.) on dimethoate induced-oxidative stress in rat liver. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 63(5), 433-441.
- Saafi, E. B., Trigui, M., Thabet, R., Hammami, M., & Achour, L. (2008). Common date palm in Tunisia: chemical composition of pulp and pits. *International journal of food science & technology*, 43(11), 2033-2037.
- Saaidi, M. (1990). Amélioration génétique du palmier dattier Critères de selection, techniques et résultats. *Options Méditerranéennes*, N° 11, Ed CIHEAM, Montpellier, pp 133-154.
- Sajilata, M. G., & Singhal, R. S. (2006). Effect of irradiation and storage on the antioxidative activity of cashew nuts. *Radiation Physics and Chemistry*, 75, 297–300.
- Salgues, M., Cheynier, V., Gunata, Z., & Wylde, R. (1986). Oxidation of Grape Juice 2-S-Glutathionyl Caffeoyl Tartaric Acid by Botrytis cinerea Laccase and Characterization of a New Substance: 2, 5-di-S-Glutathionyl Caffeoyl Tartaric Acid. *Journal of Food Science*, 51(5), 1191-1194.
- Sánchez-Moreno, C. (2002). Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food science and technology international*, 8(3), 121-137.
- Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J. A., & Saura-Calixto, F. (1998). A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76(2), 270-276.
- Sawaya, W. N., Khalil, J. K., Safi, W. N., & Al-Shalhat, A. (1983). Physical and chemical characterization of three Saudi date cultivars at various stages of development. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 16(2), 87-92.
- Sawaya, W. N., Khalil, J. K., & Safi, W. J. (1984). Chemical composition and nutritional quality of date seeds. *Journal of Food Science*, 49(2), 617-619.
- Schindler, M., Solar, S., & Sontag, G. (2005). Phenolic compounds in tomatoes. Natural variations and effect of gamma-irradiation. *European Food Research and Technology*, 221(3-4), 439-445.

[Références Bibliographiques]

- Shawrang, P., Nikkhah, A., Zare-Shahneh, A., Sadeghi, A. A., Raisali, G., & Moradi-Shahrehabak, M. (2008). Effects of gamma irradiation on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal. *Radiation Physics and Chemistry*, 77, 918–922.
- Shraideh, Z. A., Khaled, H., Abu-Elteen, & Sallal, A. K. J. (1998). Ultrastructural effects of date extract on *Candida albicans*. *Mycopathologia*, 142, 119–123.
- Shui, G., & Leong, L. P. (2006). Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. *Food Chemistry*, 97(2), 277-284.
- Siboukeur, O. (1997). Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes. Thèse de Magister, INA. El-Harrach, Alger.
- Siddiq, M. & Greiby, I. (2014). Overview of Date Fruit Production, Postharvest handling, Processing, and Nutrition, Dans: Siddiq, M., Aleid S. M. & Kader A. A. (Eds.), *Dates: Postharvest Science, Processing Technology and Health Benefits* (1^{ère} éd.). John Wiley & Sons, Ltd, pp. 1-28.
- Sidhu, J.S. (2006). Date fruits production and processing. Dans: Hui, Y.H. (Ed.), *Handbook of Fruits and Fruit Processing*. Blackwell, Oxford, pp. 391–419.
- Singh, J., Dubey, A., Diwakar, S. K., Rawat, S. K., Batra, N., & Joshi, A. (2010). Biochemical characterization of peroxidases from the fruits of *Mallus pumilus*. *International Research Journal of Biotechnology*, 1(4), 50-58.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Slatnar, A., Mikulic Petkovsek, M., Halbwirth, H., Stampar, F., Stich, K., & Veberic, R. (2010). Enzyme activity of the phenylpropanoid pathway as a response to apple scab infection. *Annals of Applied Biology*, 156(3), 449-456.
- Sokol-Letowska, A., Oszmiansk, J., & wojdylo, A. (2007). Antioxydant activity of the phenolic compound of Hawthorn, pine and skullcap. *Food chemistry*, 103, 853-859.
- Sommers, C.H., Delincee, H., Smith, J.S., & Marchioni, E. (2013). Toxicological safety of irradiated foods. Dans: Sommers, C.H., Fan, X. (Eds.), *Food Irradiation Research and Technology* (2^{ème} éd.). Wiley-Blackwell Publishing, Ames, Iowa, pp. 53–73.
- Sommers, C.H., & Fan, X. (2006). *Food irradiation research and technology*. Blackwell Publishing, Ames.
- Steinbrenner, H., & Sies, H. (2009). Protection against reactive oxygen species by selenoproteins. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1790(11), 1478-1485.

[Références Bibliographiques]

- Suhaj, M., Ráčová, J., Polovka, M., & Brezová, V. (2006). Effect of γ -irradiation on antioxidant activity of black pepper (*Piper nigrum* L.). *Food Chemistry*, 97(4), 696-704.
- Suzuki, T., Honda, Y., Mukasa, Y., & Kim, S.J., (2006). Characterization of peroxidase in buckwheat seed. *Phytochemistry*, 67, 219–224.
- Šukalović, V. H. T., & Vuletić, M. (2003). The characterization of peroxidases in mitochondria of maize roots. *Plant Science*, 164(6), 999-1007.
- Šukalović, V., Veljović-Jovanović, S., Maksimović, J. D., Maksimović, V., & Pajić, Z. (2010). Characterisation of phenol oxidase and peroxidase from maize silk. *Plant Biology*, 12(3), 406-413.
- Takabe, K., Takeuchi, M., Sato, T., Ito, M., & Fujita, M. (2001). Immunocytochemical localization of enzymes involved in lignification of the cell wall. *Journal of Plant Research*, 114(4), 509-515.
- Talcott, S. T., Brenes, C. H., Pires, D. M., & Del Pozo-Insfran, D. (2003). Phytochemical stability and color retention of copigmented and processed muscadine grape juice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(4), 957-963.
- Tang, Z. X., Shi, L. E., & Aleid, S. M. (2013). Date fruit: chemical composition, nutritional and medicinal values, products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), 2351-2361.
- Terefe, N. S., Buckow, R., & Versteeg, C. (2014). Quality-related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(1), 24-63.
- Theilade, B., Rasmussen, S.K., Rosenkrands, I., Frfikiaer, H., Hejgaard, J., Theilade, J., Pihakaski-Maunsbach, K., & Maunsbach, A.B. (1993) Subcellular localization of barley grain peroxidase BP2 by immunoelectron microscopy. Dans: Welinder, K.G., Rasmussen, S.K., Penel, C. & Greppin, H. (Eds.), *Plant Peroxidases: Biochemistry and Physiology*. Université de Genève, Genève, pp 321-328.
- Thompson, L. U., Boucher, B. A., Liu, Z., Cotterchio, M., & Kreiger, N. (2006). Phytoestrogen content of foods consumed in Canada, including isoflavones, lignans, and coumestan. *Nutrition and cancer*, 54(2), 184-201.
- Thongsook, T., & Barrett, D. M. (2005). Purification and partial characterization of broccoli (*Brassica oleracea* Var. *Italica*) peroxidases. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(8), 3206-3214.
- Tomás-Barberán, F. A., Gil, M. I., Castaner, M., Artés, F., & Saltveit, M. E. (1997). Effect of selected browning inhibitors on phenolic metabolism in stem tissue of harvested lettuce. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(3), 583-589.

[Références Bibliographiques]

- Tomás-Barberán, F. A., & Espin, J. C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 853-876.
- Topuz, A. & Ozdemir, F. (2004). Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. *Food Chemistry*, 86, 509–515.
- Tortoe, C., Orchard, J., & Beezer, A. (2007). Prevention of enzymatic browning of apple cylinders using different solutions. *International journal of food science & technology*, 42(12), 1475-1481.
- Toutain, G. (1977). Eléments d'agronomie oasienne de la recherche du développement, INRA-GRET, Paris, 277 p.
- Ullah, M.R. (1991). Tea. Dans: Fox, P.F. (Ed.) *Food Enzymology*. Elsevier Science Publishing, New York, pp. 163-187.
- Underhill, S. J. R., & Critchley, C. (1995). Cellular localization of polyphenol oxidase and peroxidase activity in Litchi chinensis Sonn. Pericarp. *Australia Journal of Plant Physiology*, 22, 627–632.
- Valero, E., Varón, R., & García-Carmona, F. (1988). Characterization of polyphenol oxidase from Airen grapes. *Journal of Food Science*, 53(5), 1482-1485.
- Vámos-Vigyázó, L., & Haard, N. F. (1981). Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(1), 49-127.
- Vandercook, C.E., Hasegawa, S. & Maier, V.P. (1980). Dates. Dans: Nagy, S. & Shaw P.E. (Eds.). *Tropical and Subtropical Fruits*. AVI Publishing Co, Westport, Connecticut, pp. 506–541.
- Variyar, P. S., Bandyopadhyay, C., & Thomas, P. (1998). Effect of gamma-irradiation on the phenolic acid of some Indian spices. *International Journal of Food Science and Technology*, 33, 533–537.
- Variyar, P. S., Limaye, A., & Sharma, A. (2004). Radiation-induced enhancement of antioxidant contents of soybean (*Glycine max* Merrill). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 3385–3388.
- Varoquaux, P. (1978). Contribution à l'étude des propriétés de l'o- diphénoloxydase du champignon de Paris (*Agaricus bisporus*). Thèse de Doctorat., Université de Dijon, 131p.
- Vayalil, P. K. (2002). Antioxidant and antimutagenic properties of aqueous extract of date fruit (*Phoenix dactylifera* L. Arecaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 610–617.
- Vayalil, P. K. (2012). Date fruits (*Phoenix dactylifera* Linn): an emerging medicinal food. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(3), 249-271.

[Références Bibliographiques]

- Vermerris W. & Nicholson R. (2006). *Phenolic compound biochemistry*. Springer, Gainesville. U.S.A, 285 p.
- Walker, J. R., & Ferrar, P. H. (1998). Diphenol oxidases, enzyme-catalysed browning and plant disease resistance. *Biotechnology and genetic engineering reviews*, 15(1), 457-498.
- Wani, A. M., Hussain, P. R., Meena, R. S., Dar, M. A., & Mir, M. A. (2009). Effect of gamma irradiation and sulphitation treatments on keeping quality of white button mushroom *Agaricus bisporus* (J. Lge). *International journal of food science & technology*, 44(5), 967-973.
- Welinder, K.G. (1992). Plant peroxidases: structure–function relationships. Dans : Penel, C. *et al.* (Eds), *Plant Peroxidases*, Université de Genève, Suisse, pp. 1–24.
- Weng, Z., Hendrickx, M., Maesmans, G., & Tobback, P. (1991). Immobilized peroxidase: a potential bioindicator for evaluation of thermal processes. *Journal of Food Science*, 56(2), 567–570.
- Wesche-Ebeling, P. & Montgomery, M. W. (1990). Strawberry polyphenoloxidase: extraction and partial characterization. *Journal of Food Science*, 55(5), 1320-1324.
- Whitaker, J.R. (1994). *Principles of Enzymology for the Food Sciences* (2^{ème} Ed.). Marcel Dekker, New York, pp. 271-556,
- Whitaker, J.R. (1995). Polyphenol oxidase. Dans: Wong, D.W.S. (Ed), *Food Enzymes Structure and Mechanism*, Chapman and Hall, New York, pp. 271–307.
- Whitaker, J.R. (1996). Polyphenol oxidase. Dans: Fennema,, O.R. (ed.) *Food Chemistry*, Marcel Dekker, New York, pp. 492 – 494.
- Wrigley, G. (1995). Date-palm (*Phoenix dactylifera* L.). Dans: Smartt J., Simmonds N.W. (Eds.), *The evolution of crop plants* (2^{ème} ed.), Longman, Essex, United Kingdom, pp. 399–403.
- Yahia, E.M. (2005). Postharvest technology of food crops in the Near East and North Africa (NENA) region, Dans: Dris, R. (Ed.), *Crops: Quality, Growth and Biotechnology*, WFL Publisher, Helsinki , Finland , pp. 643 – 663.
- Yahia, E. M., & Kader, A.A. (2011). Date (*Phoenix dactylifera* L.). Dans: Yahia E. M (Ed), *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*. Woodhead Publishing, Sawston, Cambridge, pp. 41–79.
- Yeh, C. T., Ching, L. C., & Yen, G. C. (2008). Inducing gene expression of cardiac antioxidant enzymes by dietary phenolic acids in rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 20, 163–171.

[Références Bibliographiques]

- Yemenicioglu, A., Ozkan, M., & Cemeroglu, B. (1997). Heat inactivation kinetics of apple polyphenoloxidase and activation its latent form. *Journal of Food Science*, 62(3), 508–510.
- Young, S. A., Guo, A., Guikema, J. A., White, F. F., & Leach, J. E. (1995). Rice cationic peroxidase accumulates in xylem vessels during incompatible interactions with *Xanthomonas oryzae* pv *oryzae*. *Plant Physiology*, 107(4), 1333-1341..
- Yoruk, R., & Marshall, M. R. (2003). Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review1. *Journal of Food Biochemistry*, 27(5), 361-422.
- Zaid, A., & Arias-Jimenez, E.J. (2002) Date palm cultivation. FAO plant production and protection paper. 156, Rev. 1. FAO. Rome.
- Zawistowski, J., Biliaderis, C.G. & Eskin, N.A.M. (1991). Polyphenol oxidase. Dans: Robinson, D.S.R. & Eskin, N.A.M.(Eds.), *Oxidative enzymes in foods*. Elsevier Appl. Sci., London, pp. 217-273.
- Zhang, L., Lu, Z., Lu, F., & Bie, X. (2006). Effect of γ irradiation on quality-maintaining of fresh-cut lettuce. *Food Control*, 17(3), 225-228.
- Zhang, Z., Pang, X., Xuwu, D., Ji, Z. & Jiang, Y. (2005). Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp. *Food Chemistry*. 90:47–52.
- Zhu, F., Cai, Y. Z., Bao, J., & Corke, H. (2010). Effect of γ -irradiation on phenolic compounds in rice grain. *Food Chemistry*, 120(1), 74-77.

Webographie

- **Site 01**

<http://www.itis.gov> ITIS (2016) the Integrated Taxonomic Information System. (Consulté le 30 août 2016).

- **Site 02**

<http://www-export-forum.com> (Consulté le 18 septembre 2016).

- **Site 03**

<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>.FAO [Food and Agriculture Organization]. Crop production and trade data (2011).

- **Site 04**

<http://faostat.fao.org> FAOSTAT. 2013. Crop Production and Trade Data. Food and Agriculture Organization of the United Nation (Consulté le 21 décembre, 2012).

[Références Bibliographiques]

- **Site 05**

<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/USDA> [United States Department of Agriculture]. 2007. National Nutrient Database (Consulté le 15 mai 2012).

- **Site 06**

<http://www.nal.usda.gov> .USDA [United States Department of Agriculture]. 2012. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 21 (Consulté le 21 juillet 2012).

- **Site 07**

<http://www.fsai.ie/assets/0/86/204/a4f0c784-31d4-4f3f-96e17191b168154f.pdf>; FSAI: Food Safety Authority of Ireland (2005). Annual Report Dublin (Consulté le 9 février 2010).

- **Site 08**

<http://www.crna.dz> (Consulté le 18 juin 2016).

Annexes

Annexes 1. Courbes d'étalonnage

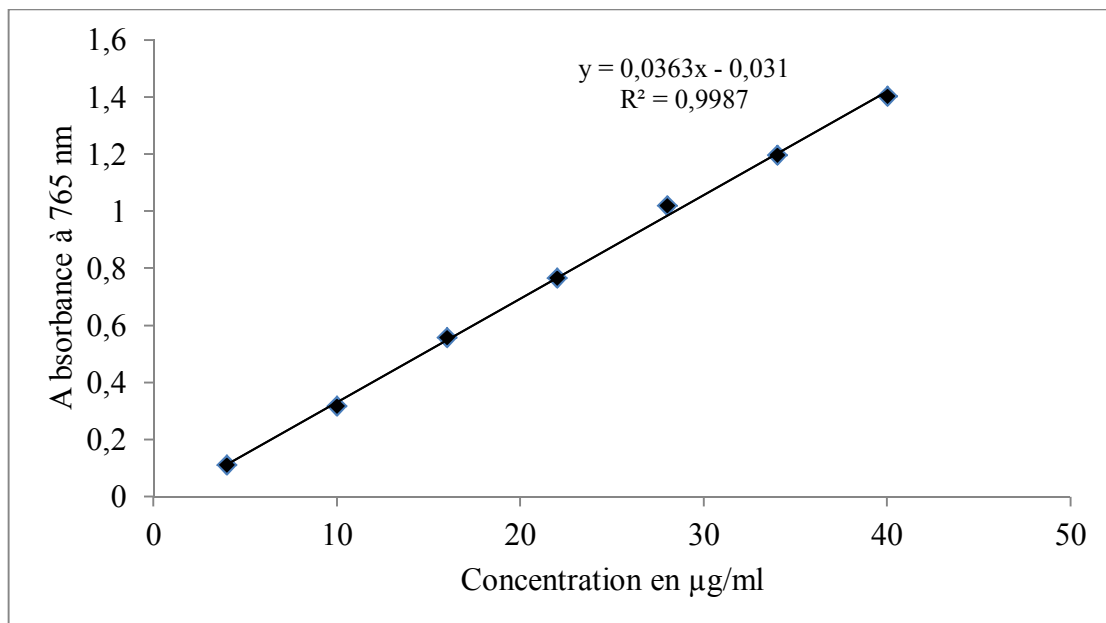


Figure 1. Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux établie par l'acide gallique

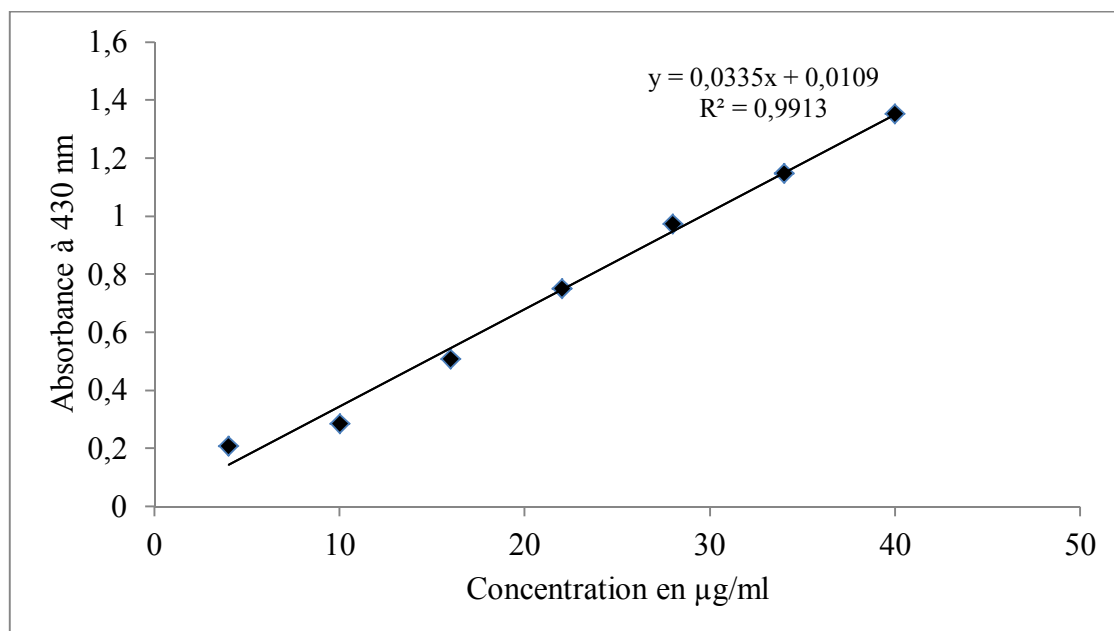


Figure 2. Courbe d'étalonnage des flavonoïdes établie par la quercétine

Annexes 2. Chromatogrammes des standards et des échantillons

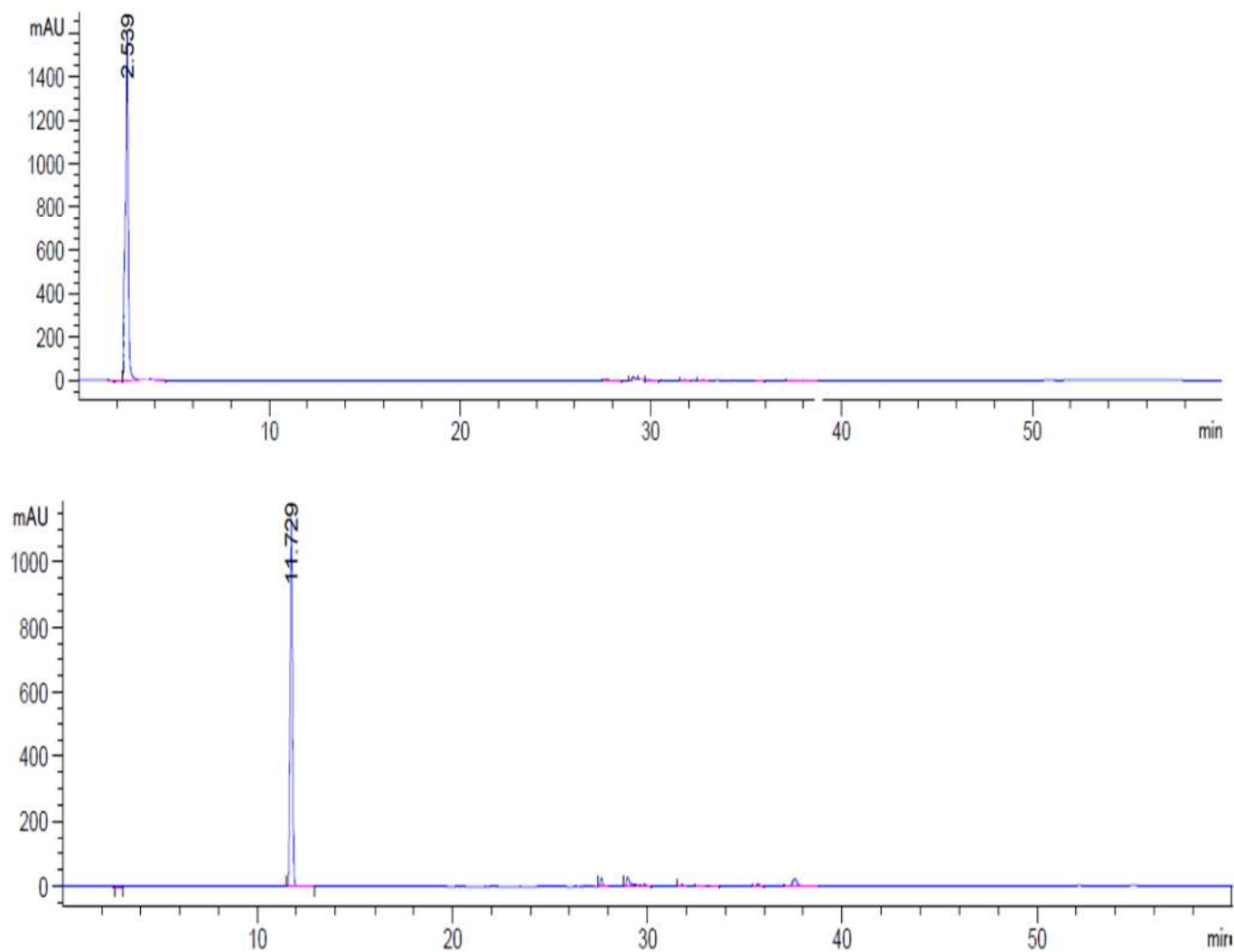


Figure 1. Chromatogrammes, de haut au bas, de l'acide hydroxycinnamique et du 4-méthyl catéchol (Détection à 280/340 nm).

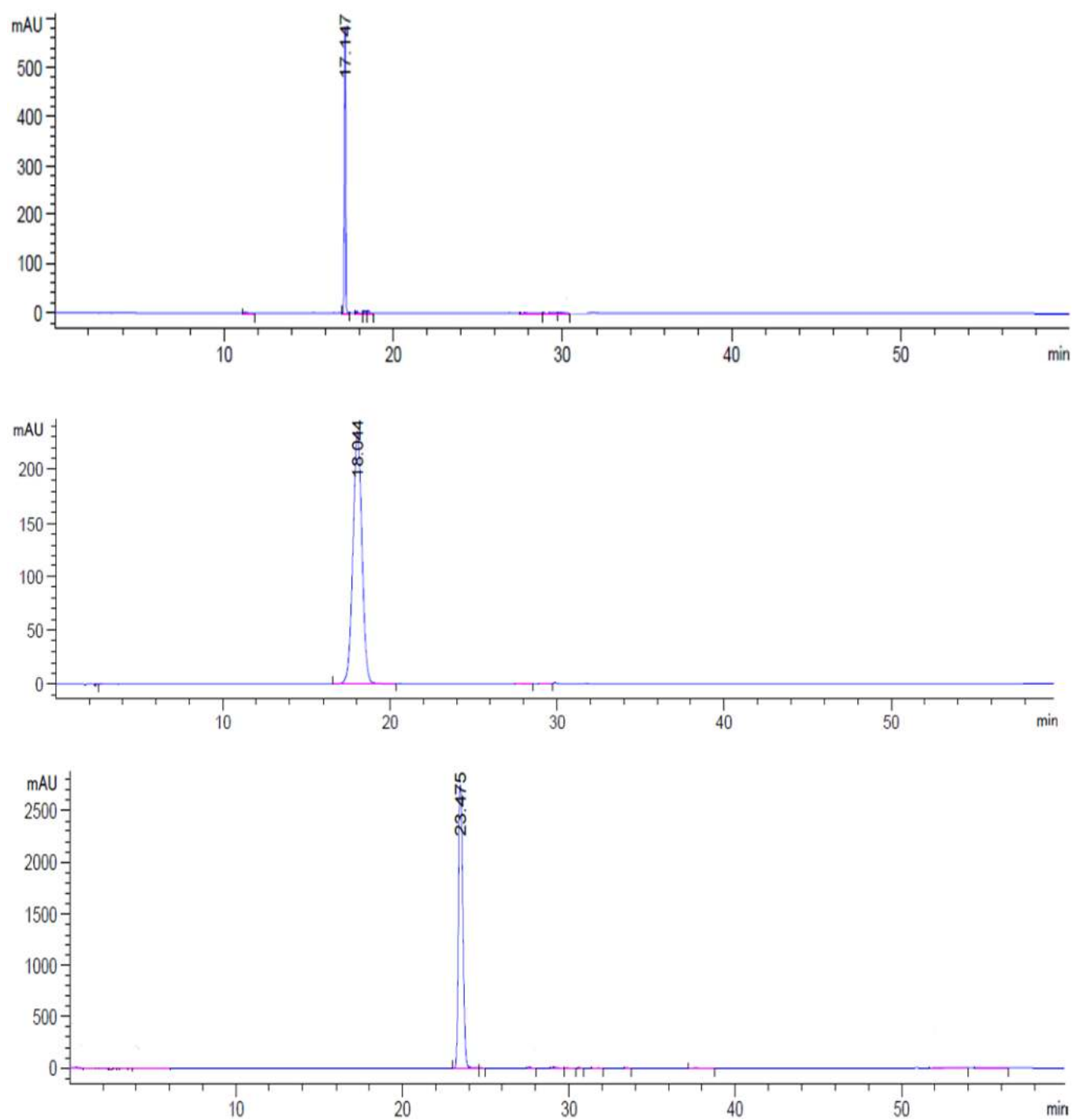


Figure 2. Chromatogrammes, de haut au bas, de la rutine, de l'acide coumarique et de l'acide trans-cinnamique (Détection à 280/340 nm).

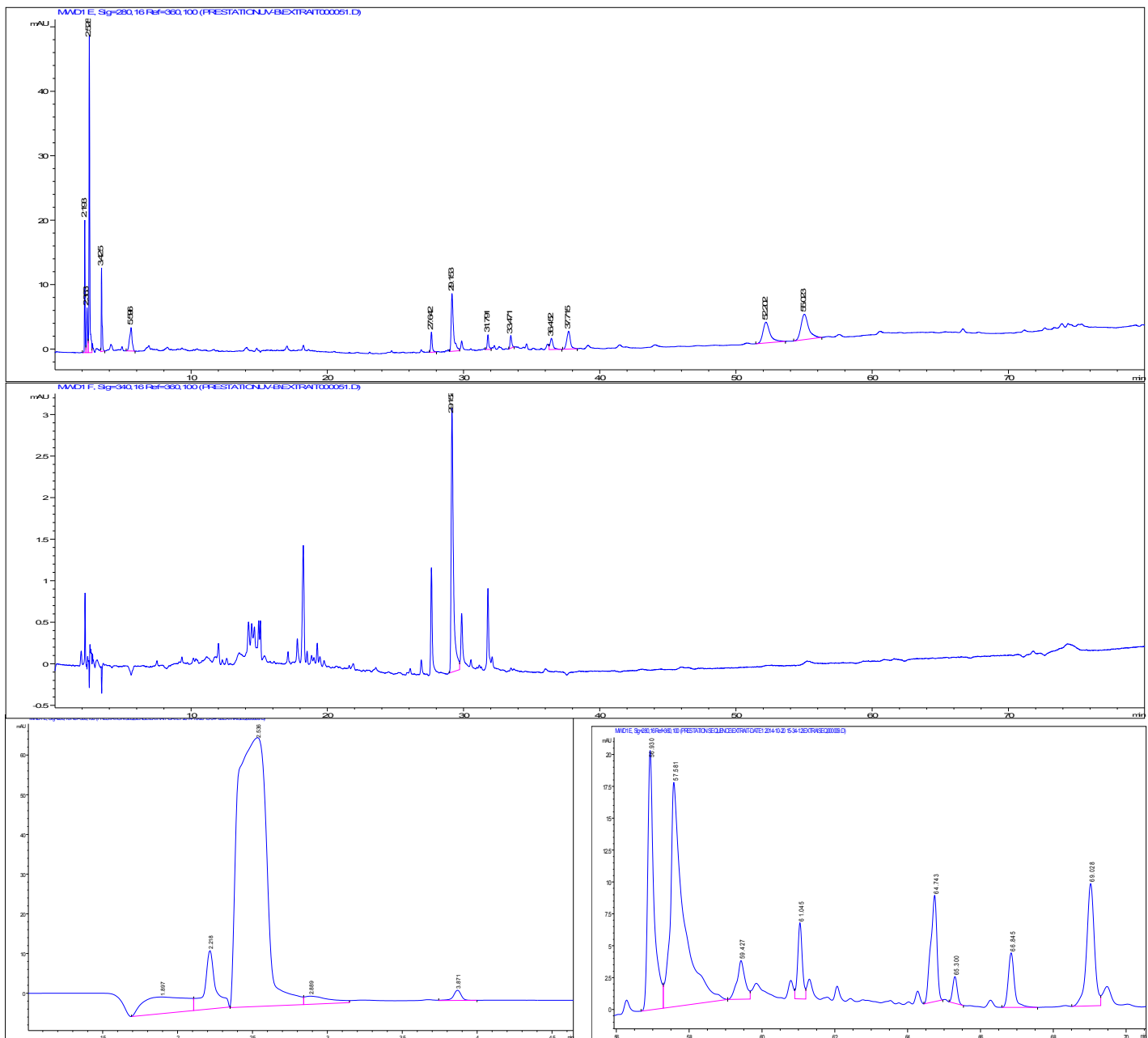


Figure 3. Chromatogramme de l'extrait témoin de Deglet Nour stocké à T ambiante (Détection à 280/340 nm)

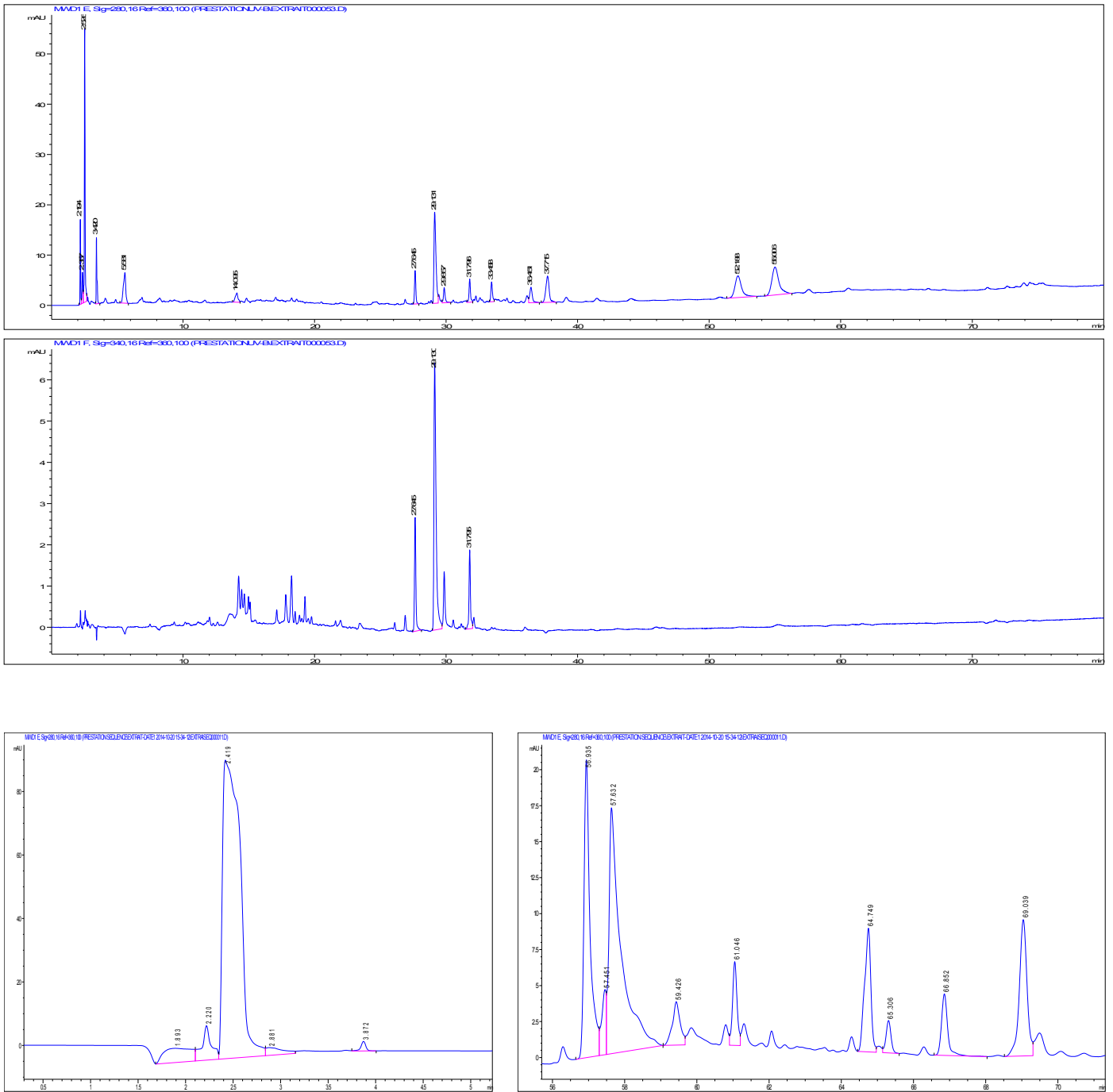


Figure 4. Chromatogramme de l'extrait de Deglet Nour irradié à 1,3 KGy stocké à T ambiante (Détection à 280/340 nm)

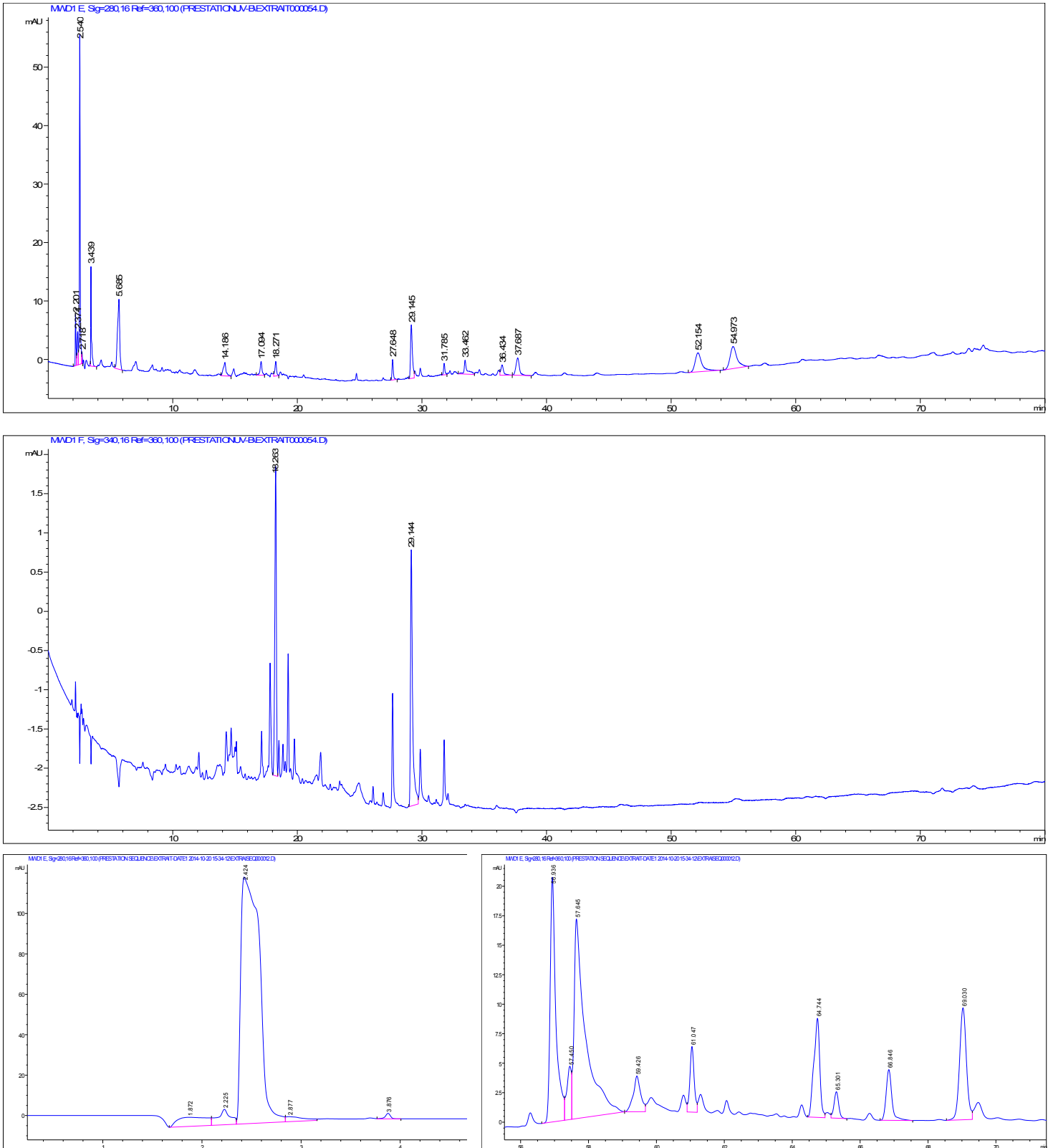


Figure 5. Chromatogramme de l'extrait de Deglet Nour irradié à 2 KGy stocké à T ambiante (Détection à 280/340 nm).

[Annexes]

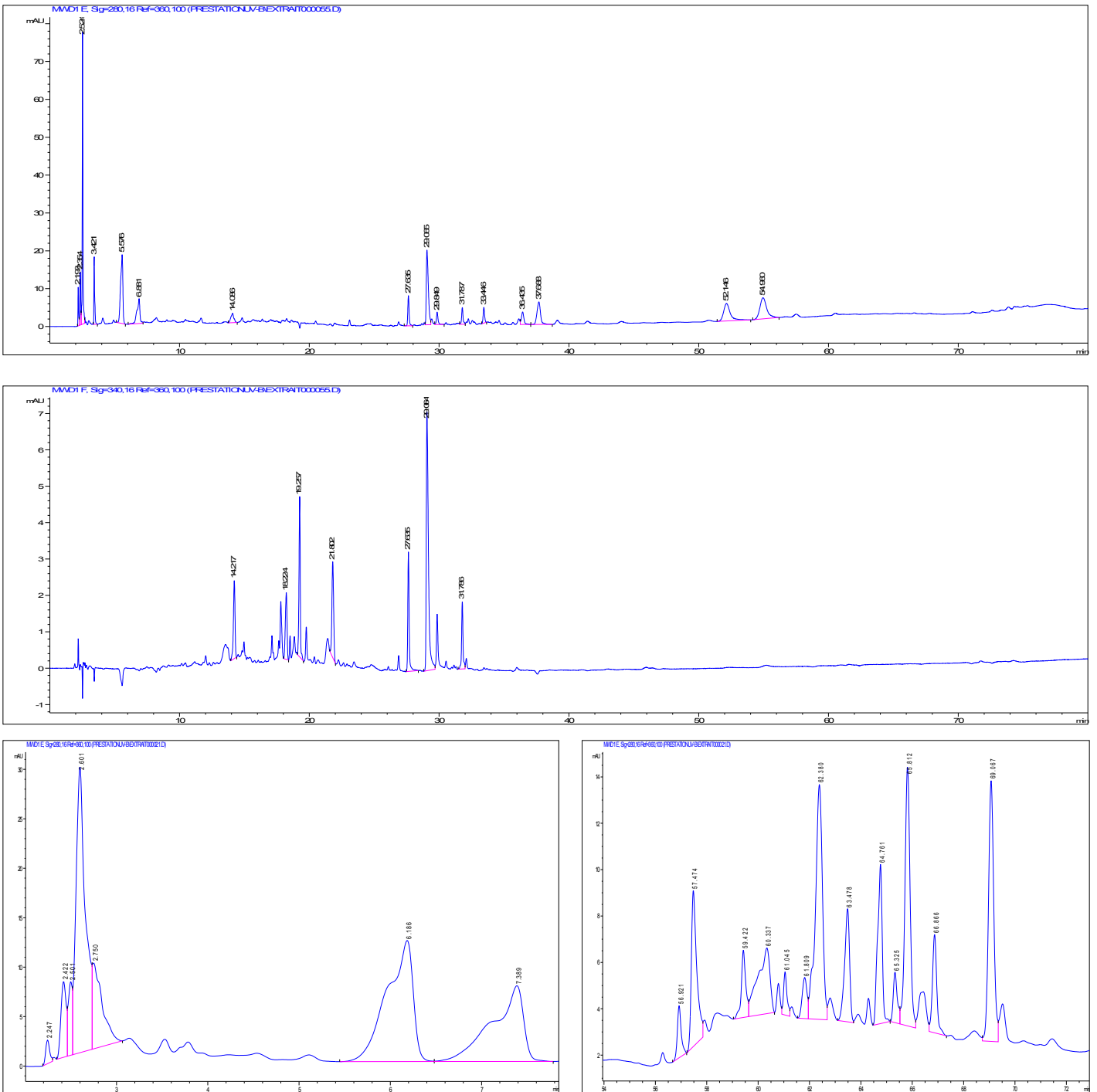


Figure 6. Chromatogramme de l'extrait témoin de Ghars stocké à température ambiante (Détection à 280/340 nm).

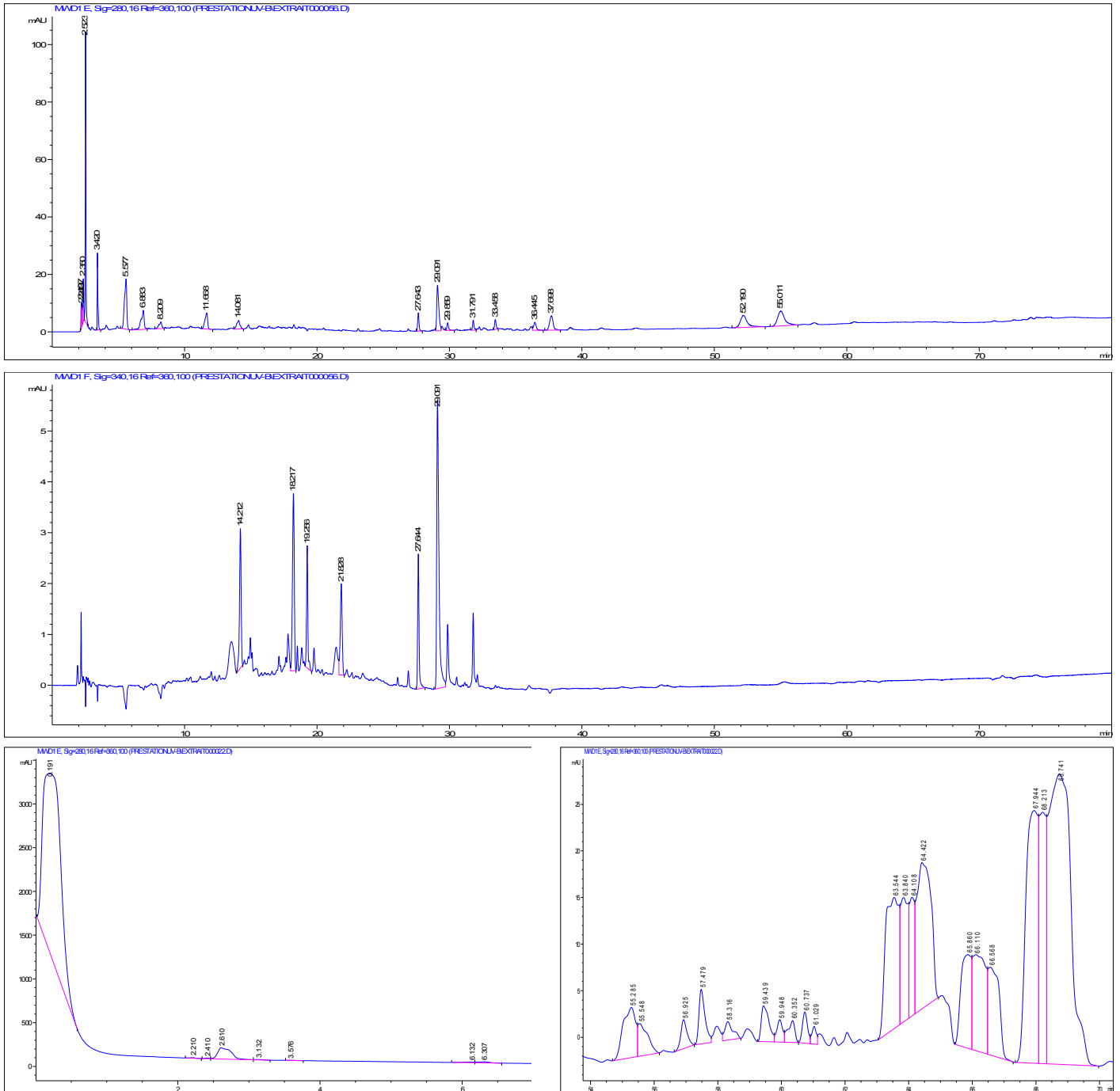


Figure 7. Chromatogramme de l'extrait de Ghars irradié à 0,6 Kgy stocké à T ambiante (Détection à 280/340 nm)

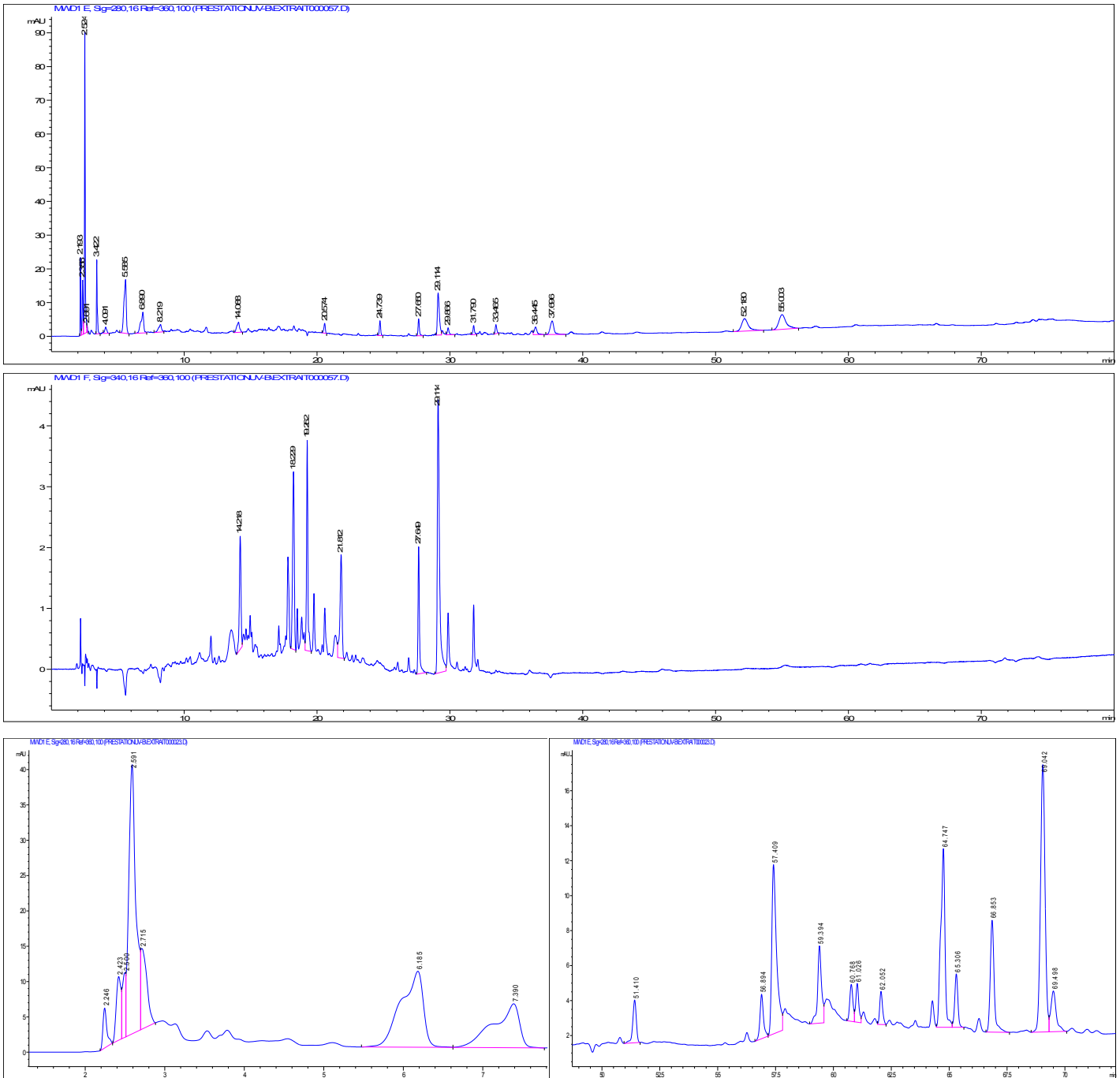


Figure 8. Chromatogramme de l'extrait de Ghars irradié à 1,3 stocké à T ambiante (Détection à 280/340 nm)

[Annexes]

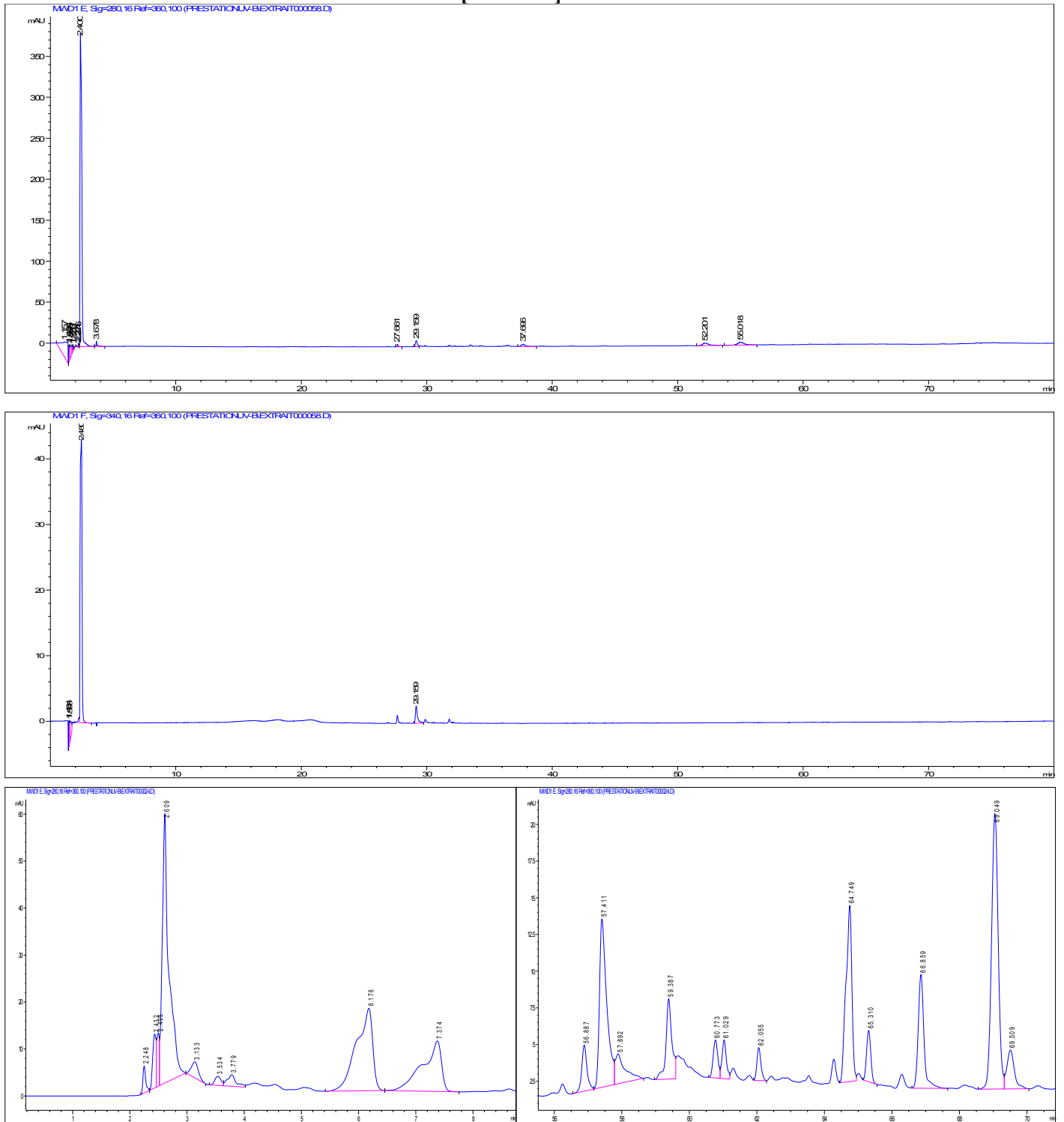


Figure 9. Chromatogramme de l'extrait témoin de Deglet Nour stocké à T basse (Détection à 280/340 nm)

[Annexes]

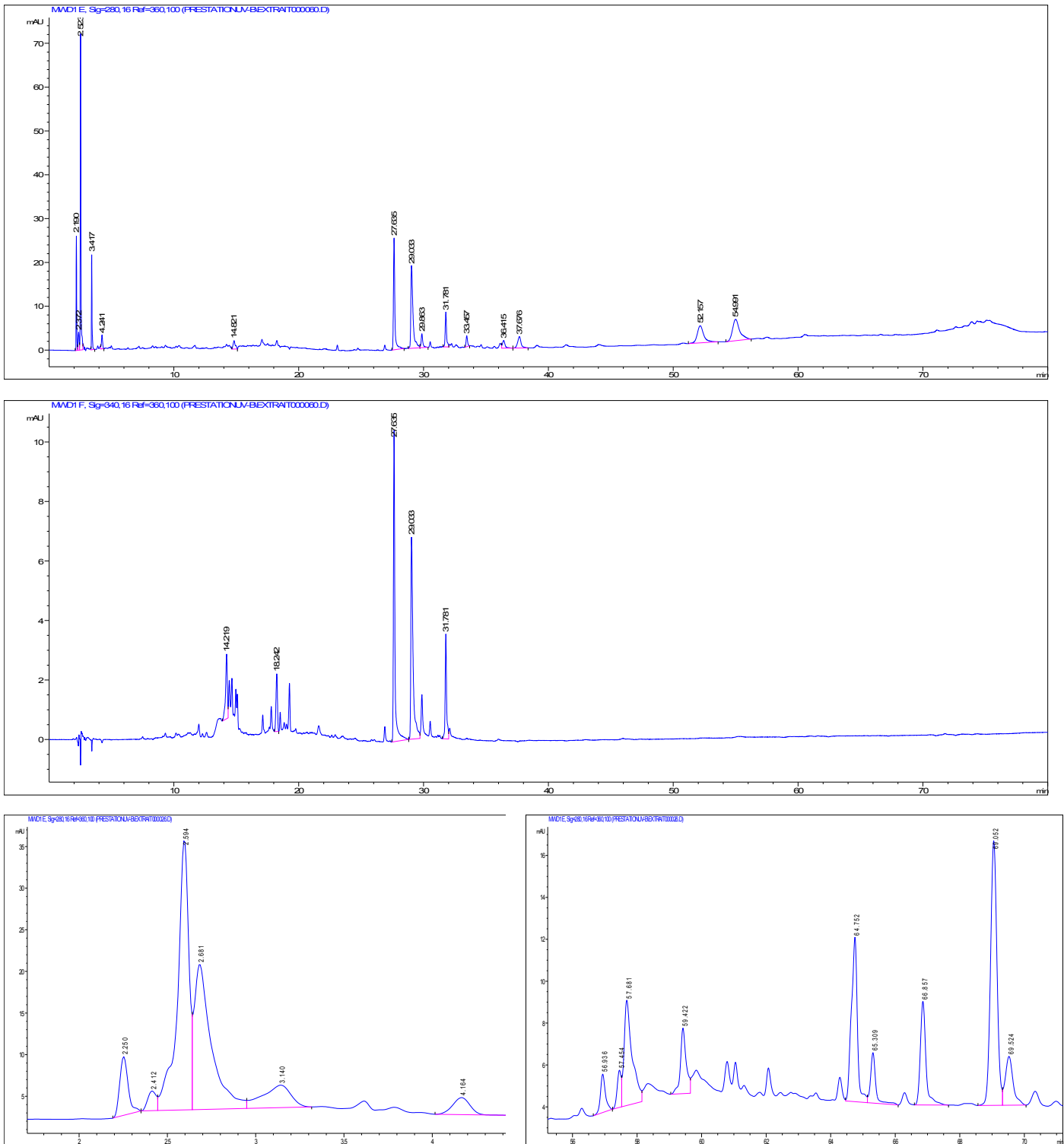


Figure 10. Chromatogramme de l'extrait de Deglet Nour irradié à 0,6 KGy stocké à T basse (Détection à 280/340 nm)

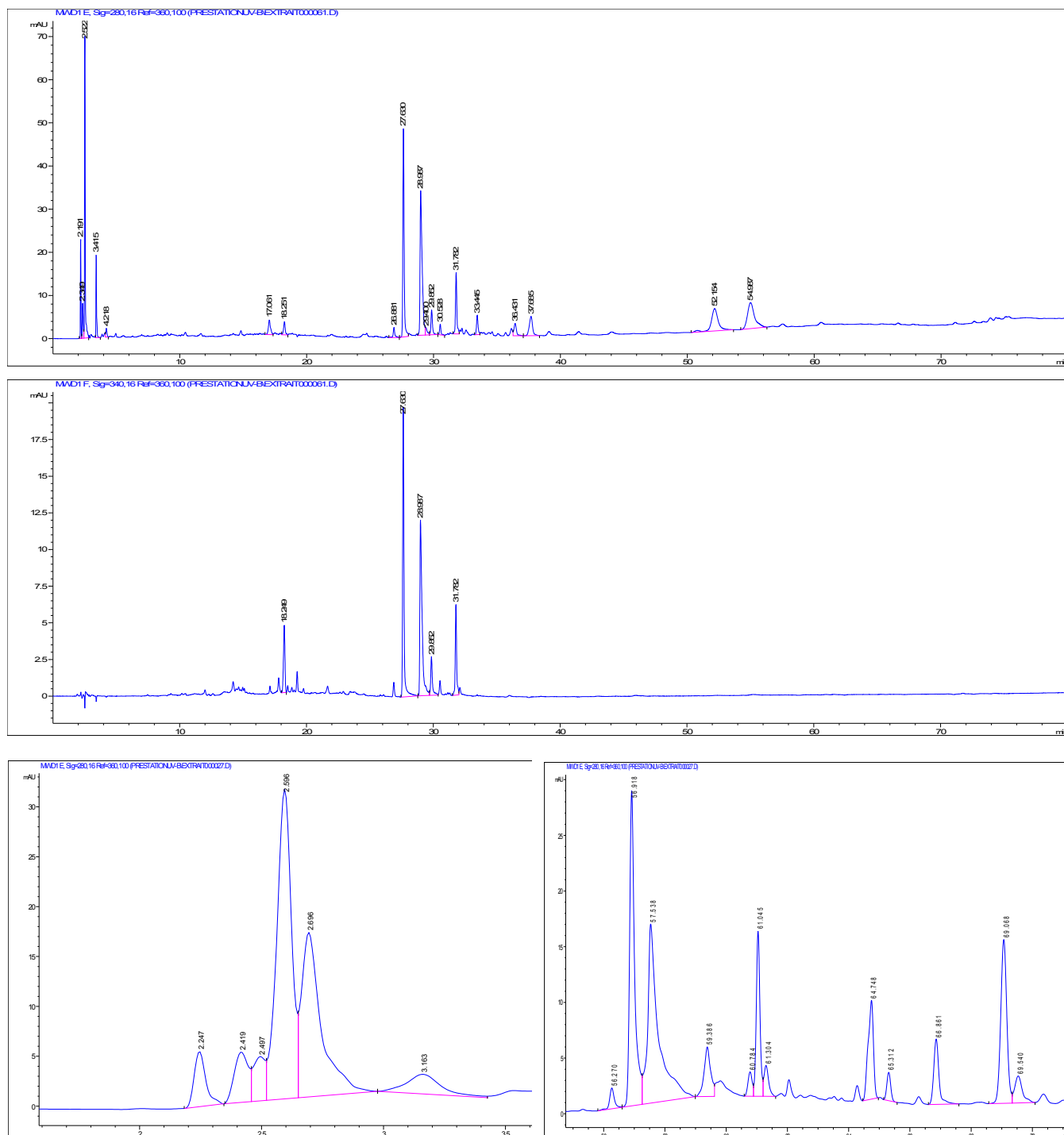


Figure 11. Chromatogramme de l'extrait de Deglet Nour irradié à 1,3 KGy stocké à T basse (Détection à 280/340 nm)

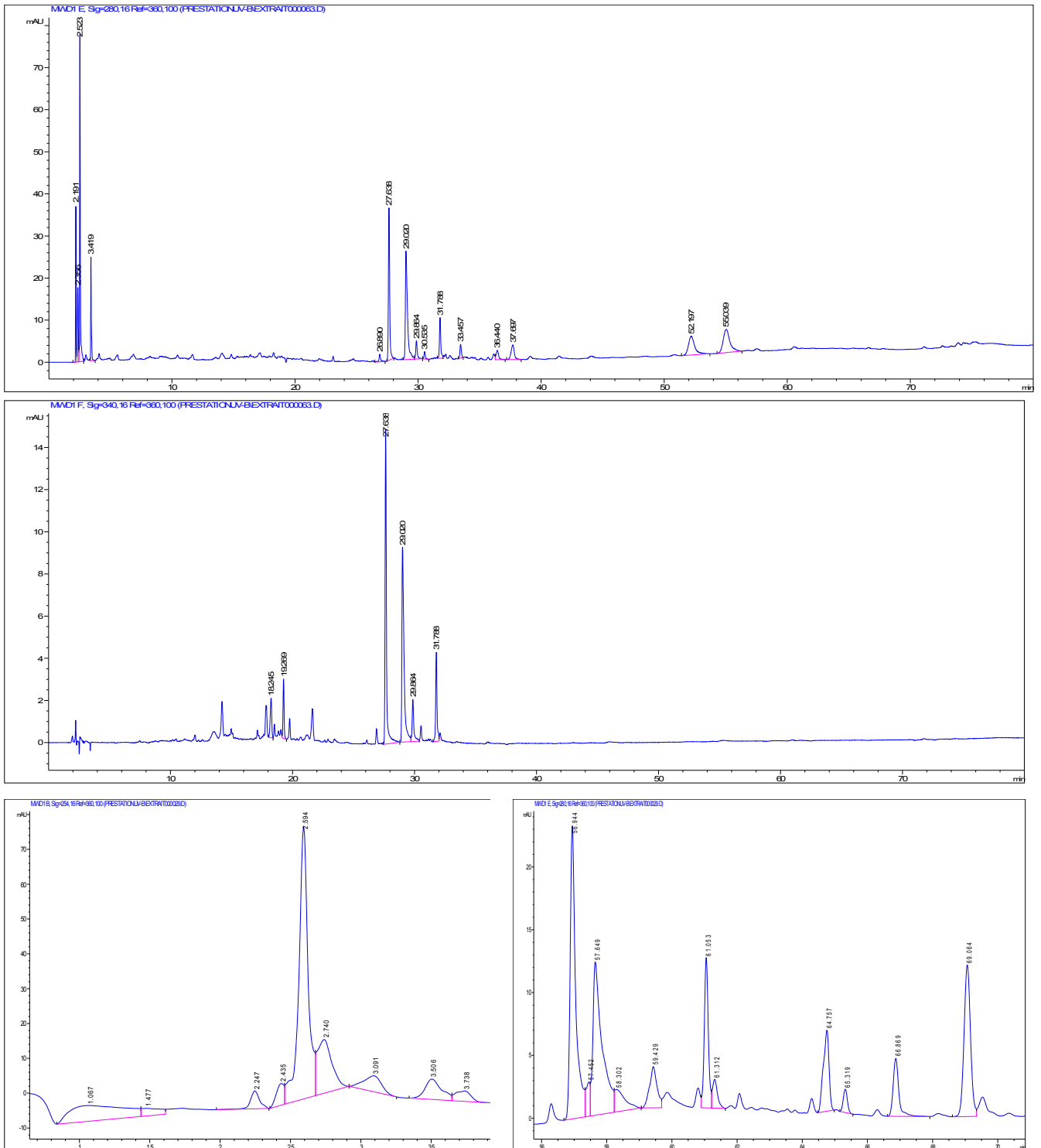


Figure 12. Chromatogramme de l'extrait témoin de Ghars stocké à T basse (Détection à 280/340 nm).

[Annexes]

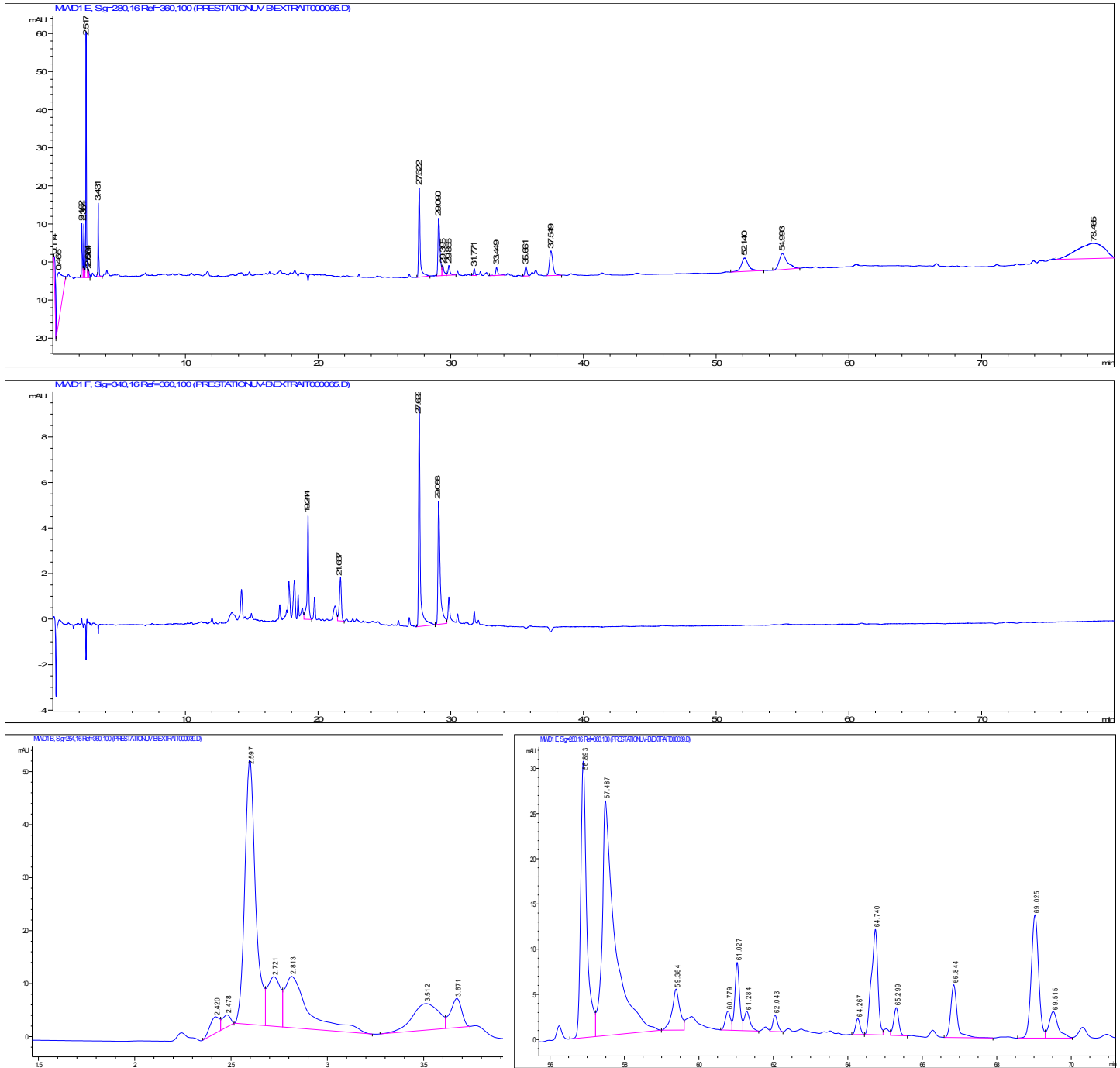


Figure 13. Chromatogramme de l'extrait de Ghars irradié à 1,3 Kgy stocké à T basse (Détection à 280/340 nm)

[Annexes]

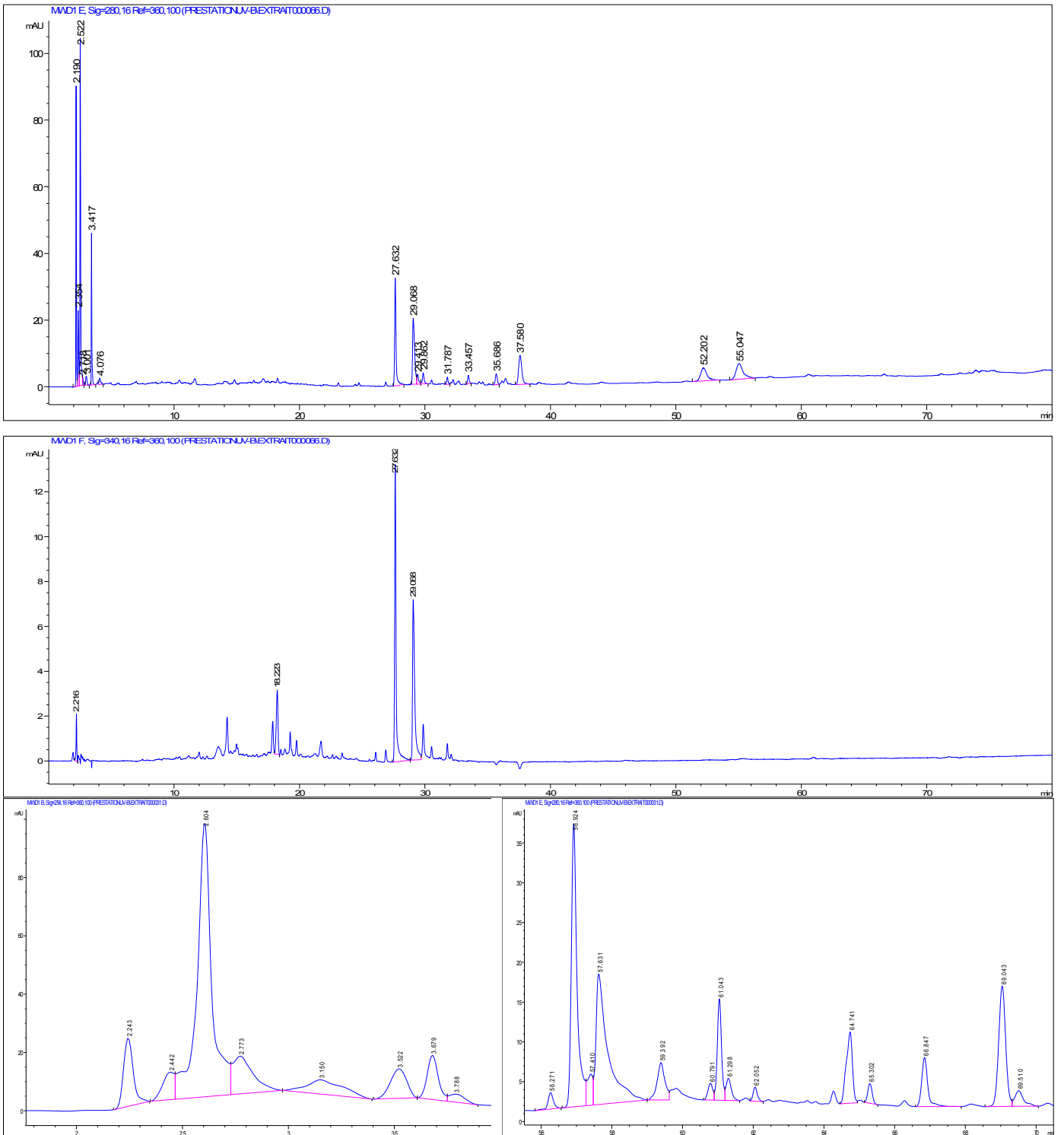


Figure 14. Chromatogramme de l'extrait de Ghars irradié à 2 KGy stocké à T basse (Détection à 280/340 nm)

Publication



Effect of pH, temperature and some chemicals on polyphenoloxidase and peroxidase activities in harvested Deglet Nour and Ghars dates



Saliha Daas Amiour*, Leila Hambaba

Laboratoire de chimie des matériaux et des vivants, Département de Biologie- Faculté des Sciences, Université El Hadj-Lakhdar de Batna, Algeria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 December 2014

Received in revised form 21 July 2015

Accepted 22 July 2015

Keywords:

Phoenix dactylifera L.

Polyphenoloxidase activity

Peroxidase activity

pH effect

Thermal stability

Chemical inhibitors

ABSTRACT

The influence of pH, temperature and some chemicals on polyphenoloxidase and peroxidase activities in harvested Deglet Nour and Ghars dates was studied. These activities were tested for optimum pH and temperatures. Their stability was assessed as a percentage of remaining activity after incubation at different pH and temperatures and in the presence of some chemicals. The determination of phenol content and antiradical activity of fruit extracts in the presence of these chemicals was also carried out. Optimal pHs and temperatures for polyphenoloxidase activity in Deglet Nour and Ghars are pH of 6.4 and 7.2 with temperatures of 35 °C and 40 °C respectively. For peroxidases the conditions are 5.6, 6.2 and 35 °C, 30 °C respectively. The most inhibitory chemicals to both enzymes were ascorbic acid, sodium metabisulfite and cysteine. The highest phenol content of both varieties is in the presence of sodium metabisulfite. The highest anti-radical activity is that in the presence of ascorbic acid. Deglet Nour and Ghars enzymatic browning can be completely inhibited by some chemicals and extreme pH and temperatures.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

The date fruit (*Phoenix dactylifera* L.) has a high nutritional value, which has raised its ranking as one of the best fruits in the world. In fact, next to its high contents of fiber, carbohydrate, vitamins, and minerals at the fully mature stage, it also contains significant levels of secondary metabolites, including phenolic compounds that are functional components (Al-Farsi and Lee, 2008; Baliga et al., 2011; Vayalil, 2012; Daas Amiour et al., 2014).

These phenolic compounds are of great interest because of their biological activities confirmed in several studies. However, they are subject to oxidation leading to enzymatic browning, which causes loss of the organoleptic properties of this fruit and therefore reduces its appreciation by the consumer. Although browning is desirable during development of the fruit, its continued development after maturation and harvesting leads to damage and wastage.

Postharvest browning of fruits and vegetables is primarily attributed to the oxidation of phenolic compounds by polyphenoloxidase (PPO) and/or peroxidase (POD) (Jiang and Li, 2001). Enzymatic browning occurs as a result of the oxidation by PPO,

of phenolic compounds to quinones and their eventual polymerization to melanin pigments (Yoruk and Marshall, 2003).

PPO activity has also an impact on the flavor and aroma of horticultural products, since phenolic compounds play a role in bitter, sweet, pungent, or astringent tastes in fruits, vegetables, and spices (Tomas-Barberan and Espin, 2001). PPO is also believed to be involved in the oxidative degradation of ascorbic acid (Talcott et al., 2003).

PPO is an oxidoreductase with copper as a prosthetic group. It catalyzes the o-hydroxylation of monophenols and the oxidation of o-diphenols into o-quinones with oxygen as the primary oxidant (Yoruk and Marshall, 2003). POD is believed to be involved in color and flavor degradation of horticultural products. POD catalyzes the oxidation of phenolic compounds in the presence of hydrogen peroxide leading to the formation of brown degradation products (Terefe et al., 2014). The possible role of PPO as a promoter of POD activity is suggested since hydrogen peroxide is generated during the PPO catalyzed oxidation of phenolic compounds (Tomas-Barberan and Espin, 2001).

The present study was designed to investigate the influence of some physical parameters (pH and temperature) and chemicals (ascorbic, tartaric, oxalic and citric acids, cysteine, Sodium Dodecyl Sulfate (SDS), Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and sodium metabisulfite) on PPO and POD activities in two Algerian varieties of date fruit. This information allows us not only to determine their inhibition efficiency but also to understand a part of the

* Correspondence to: Université de Batna, Avenue Boukhelouf M.El Hadi, 05000 Batna, Algeria. Tel.: +213 670286603; fax: +213 33868980.

E-mail address: s.daasamiour@gmail.com (S. Daas Amiour).

postharvest physiology of dates, which will enable us to envisage other testing techniques to prevent their enzymatic browning.

2. Materials and methods

2.1. Plant material and chemicals

The plant material used in the study consists of two Algerian varieties of date fruit, Ghars and Deglet-Nour, which were brought from a palm grove in the southeast of Algeria, the most important area of date production. They were harvested at Tamar stage, i.e., at full maturity and kept at -20°C for six months before use. They were chosen because of their availability on the market and their wide consumption globally. Ghars is a soft variety of date fruit, while Deglet Nour is a semi-soft one. They have a yellow color at harvest and progressively turn brown after harvest to a blackish brown color. For each variety of date, three replicate samples for every test were taken from different fruit chosen randomly.

2.2. Extraction and assay of PPO and POD activities

For each replicate, 2 g from date pulp of each variety was homogenized in 8 mL of 5 cmol L^{-1} phosphate buffer (pH 7.0) and 0.2 g of polyvinylpyrrolidone. After filtration of the homogenate through a cotton cloth, the filtrate was centrifuged for 20 min at $12,000\times g$ and 4°C . The supernatant was used as the crude extract for both enzymes. The PPO activity was assayed by measuring the oxidation of 4-methylcatechol as substrate at 410 nm, according to the method described by Duan et al. (2007). One unit of enzyme activity was defined as the amount that caused a change of 0.01 in absorbance in 1 min. POD activity was assayed by the method of Zhang et al. (2005), using guaiacol as substrate, in a reaction mixture (3 mL) containing 25 μL of enzyme extract, 2.78 mL of 5 cmol L^{-1} phosphate buffer (pH 7.0), 0.1 mL of 1% hydrogen peroxide and 0.1 mL of 4% guaiacol. The increase in the absorbance at 470 nm, due to the guaiacol oxidation, was recorded for the first 5 min of reaction. One unit of enzyme activity was defined as the amount that caused a change of 0.01 in absorbance in 1 min. Results were expressed on a fresh weight basis in international unit per kilogram of date fruit pulp (IU kg^{-1}).

All chemicals were of analytical Grade and purchased from Sigma-Aldrich.

2.3. Effect of pH

The effect of pH on enzymatic activity of date fruit polyphenoloxidase and peroxidase was determined at 30°C in the presence of buffers of pH ranging from 2.4 to 8.6. pH stability was studied by assaying the remaining enzyme activities after they have been kept for 12 h at 10°C and different pH values. The residual activity of PPO and POD from the two varieties of dates was assayed under standard conditions according to the method described above and calculated as percent of activity given at pH optimum.

2.4. Effect of temperature

The influence of temperature on enzymatic activity of date fruit polyphenoloxidase and peroxidase was determined at pH 7 by incubating the reaction mixture at several temperatures varying from 10 to 90°C . The thermal stability was assessed by incubating the enzyme solution at different temperatures ($10\text{--}80^{\circ}\text{C}$) for 60 min before assay. The remaining activities PPO and POD were estimated at 30°C and standard conditions as already described. They are calculated as percent of the activity given by the unheated enzyme solution.

2.5. Effect of chemicals

The effect of various chemicals (ascorbic acid, tartaric acid, oxalic and citric acids, SDS, EDTA, cysteine and sodium metabisulphite) on PPO and POD activities was tested at the concentration of 0.05% of every chemical. They were added to mixtures used in the extraction of the enzymes as described previously. PPO and POD activities were assessed after 12 h of maceration of date samples at 10°C followed by homogenization and assay of the residual activity of both enzymes as already described. Activities were calculated as percent of activity given by the control without added chemical.

2.6. Estimation of total phenol content (TPC)

For every replicate, 2 g of date fruit pulp of each variety were homogenized in 6 mL of distilled water supplemented with one of the eight chemicals previously noted, every one separately, at 0.05%. The total phenolic content was estimated using Folin–Ciocalteu reagent as described by Shui and Leong (2006). Extract (100 μL) or gallic acid standard were mixed with 1.8 mL of Folin–Ciocalteu reagent (diluted 10 fold with distilled water) after 5 min, 1.2 mL of sodium carbonate (7.5%) was added to the mixture. After standing for 60 min at room temperature, absorbance was measured at 765 nm. Results were expressed as mass of gallic acid equivalents (GAE) per fresh weight mass of date pulp, g kg^{-1} .

2.7. Determination of scavenging activity

Scavenging activity against DPPH (2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) radicals was estimated according to the method of Sánchez-Moreno et al. (1998). Aqueous extracts of both varieties fruits prepared for quantification of total phenol were used in this assay. Date extract (0.1 mL) was mixed with 2.9 mL of 0.1 mmol L^{-1} DPPH-methanol solution. After incubation for 30 min at 25°C in the dark, the decrease in the absorbance at 517 nm was measured. Control contained methanol instead of the antioxidant solution; while, blanks contained methanol instead of DPPH solution. The inhibition of DPPH radicals by the samples was calculated as percentage according to the following Eq.:

$$\text{DPPH scavenging activity}(\%) = [1 - (\text{absorbance of sample} - \text{absorbance of blank}) / (\text{absorbance of control})] \times 100$$

2.8. Statistical analysis

Statistical analysis was carried out using Graph Pad PRISM 5.01 version. All analytical determinations were performed in triplicate. Data were expressed as mean \pm standard error. The means were compared by the *t* test at a significance level of 0.05.

3. Results and discussion

3.1. Optimum pH and temperature

Polyphenoloxidases activity from Deglet Nour and Ghars assayed at different pHs varying from 2.4 to 8.6 gave maximum values around pH 6.4 and 7.2 respectively (Fig. 1a). This result is close to that of Altunkaya and Gökmen (2008) who found the value of 7 as the optimum pH of the lettuce PPO using catechol as substrate; also that of Jiang (1999), who gave an optimum pH of 6.5 of the PPO longan with 4-methyl catechol. Using catechol as substrate, the optimum pH of PPO from date fruit is 6.4 (Sidhu, 2006) and this is consistent with results in this study. PPO activity of the two varieties of date fruit is considerable even at pH 8 and pH 3.

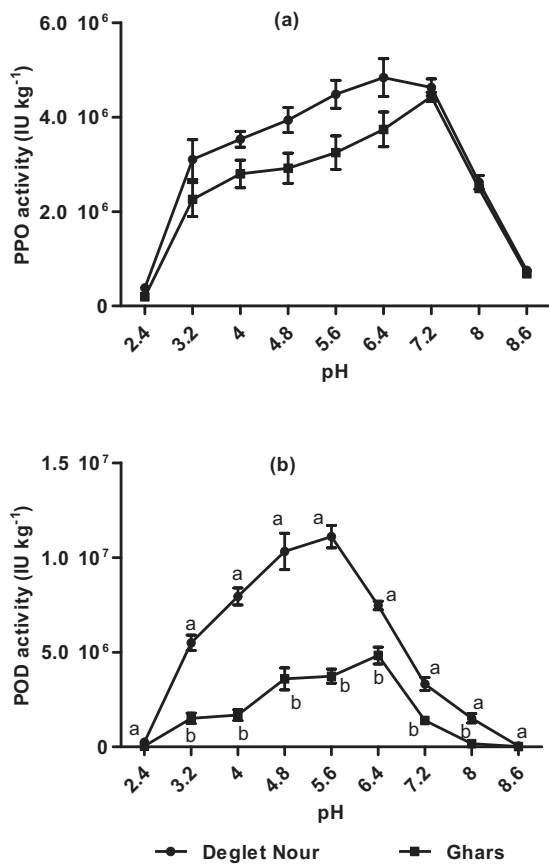


Fig. 1. Optimal pH of PPO (a) and POD (b) activities from Deglet Nour and Ghars dates at $T=30^{\circ}\text{C}$. Each value is the mean of three replicates. Vertical bars represent standard errors of the means.

The enzyme gradually loses its activity below pH 3 and above pH 8. Peroxidase activity from Deglet Nour and Ghars assayed at different pHs varying from 2.4 to 8.6 gave maximum values around pH 5.6 and 6.2 respectively (Fig. 1b). Some studies exhibited similar results, for example the study on date palm leaf peroxidase reported the value 5.5 (Al-Senaïdy and Ismael, 2011). In general, PODs purified from various sources showed pH optima mostly in the region of 4.5–6.5 (Thongsook and Barrett, 2005), which is in agreement with these results. For pH values above 8, the POD lost more than 89% of its activity for Deglet Nour and more than 95% of its activity for Ghars. With pH below 2, the POD of Deglet Nour lost more than 90% of its activity while that of Ghars lost more than 97%. The loss of activity at pH extremes is probably due to the denaturation of enzymes by ionization. Both activities of PPO and POD from Deglet Nour and Ghars dates were assayed at pH 7 in different temperatures, ranging between 10 and 90 °C for the first 5 min of reaction. PPO activity of Deglet Nour and Ghars was found optimal at 35 °C and 40 °C respectively (Fig. 2c). These results are near to those of Robinson et al. (1993), Valero et al. (1988) and Jiang (1999) who used the 4-methyl catechol as substrate and found respectively: 30 °C in mango, 25–45 °C for grape and 35 °C for longan. Using catechol as substrate, the optimum temperature was found 40 °C with lettuce PPO (Altunkaya and Gökmen, 2008) and 37 °C in date fruits (Sidhu, 2006), which is close to results in this study. At 80 °C and 20 °C, the enzyme kept more than one third of its activity in Deglet Nour and more than half of its activity in Ghars. The optimum temperature of Deglet Nour and Ghars PODs was found to be 35 °C and 30 °C respectively (Fig. 2d). This result is different from that of Al-Senaïdy and Ismael (2011) who found the value of 55 °C for date palm leaf peroxidase and the result given by

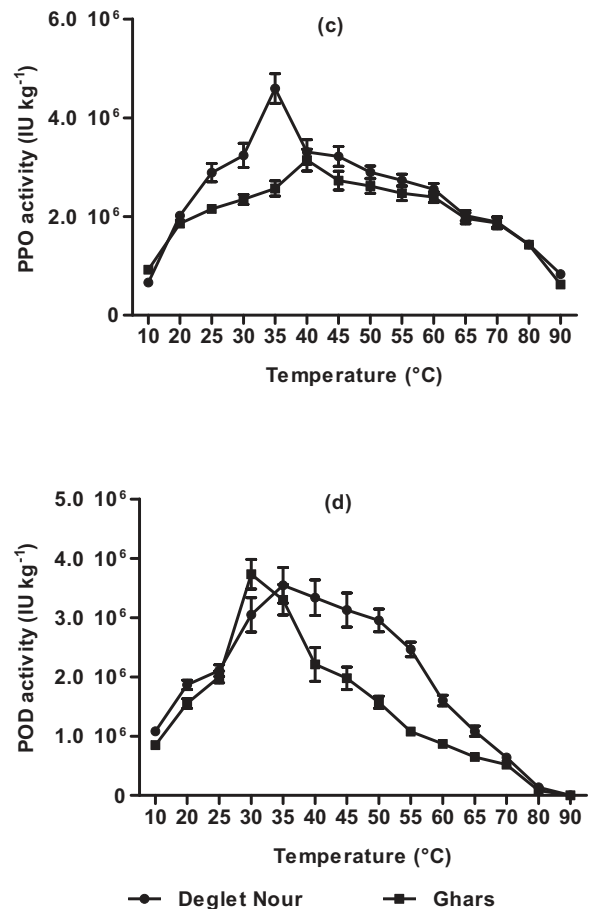


Fig. 2. Optimal temperature of PPO (c) and POD (d) activities from Deglet Nour and Ghars dates at pH 7. Each value is the mean of three replicates. Vertical bars represent standard errors of the means.

Singh et al. (2010), which is 40 °C obtained with the fruit of *Mallus pumilus*. Indeed, studies have reported a wide range of optimum temperature variability for peroxidase from different sources. This is the example of the work on the green asparagus and turnip peroxidases that have reported optimal temperatures of 70 °C (Rodrigo et al., 1996) and 35 °C (Motamed et al., 2009) respectively and also the work on buckwheat seeds that showed maximum activity of the peroxidase ranging from 10 to 30 °C (Suzuki et al., 2006). Some of these results are consistent with those found in this study. At 80 °C, the enzyme lost almost all its activity.

3.2. Stability at different pHs and temperatures

The PPO and POD activities of Deglet Nour and Ghars were evaluated after incubation of the enzymes preparation at 10 °C and at different pH during 12 h. The measurements revealed, in the case of PPO of both varieties, a high residual activity between pH 5.6 and 8. At pHs below 3 and 5.6, this activity significantly decreased respectively for Ghars and Deglet Nour. However, it still remained considerable at pH 8 for both varieties, so that the enzyme retained 80% of its activity. The pH stability of PPO from the two varieties reached its maximum at pH 7 (Fig. 3e). Furthermore, the determination of residual activity of POD from Ghars, which was treated in the same manner as PPO, showed that it remained high ($\geq 60\%$) between pH 4 and 8 and reached its maximum at pH 6.4 (Fig. 3f). However, Deglet Nour POD was found less stable than Ghars in the range pH 4–6.4, but it appears most stable at pH 3.2 and in the interval of pH 7.2–8. Deglet Nour POD gave a maximum of residual

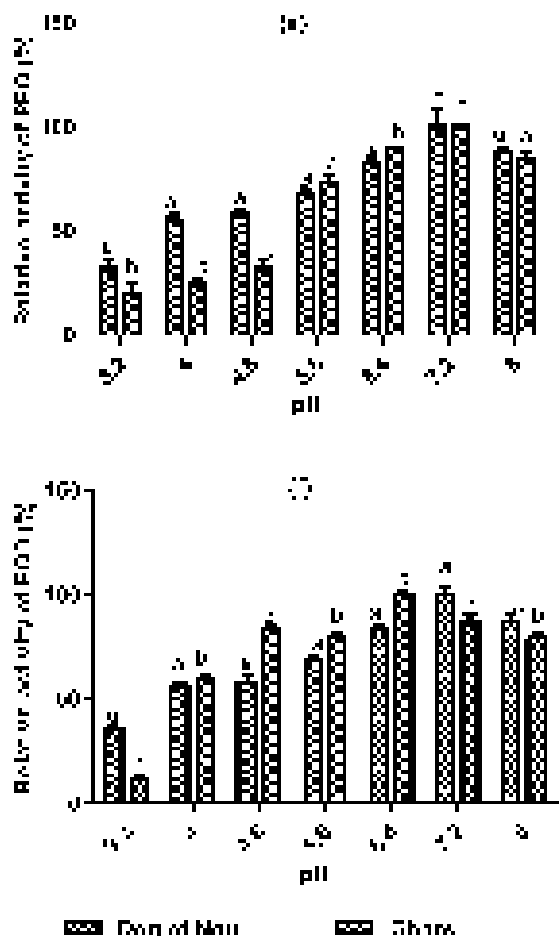


Fig. 3. Effect of pH on PPO (e) and POD (f) stability from Deglet Nour and Ghars dates (expressed as a percentage of the control's activity) after incubating the enzymes preparation for 12 h at 10 °C in buffer solutions of various pH = 2.4–8.6, vertical bars represent standard errors of the means and different letters indicate significant differences between the two varieties for each treatment.

activity at pH 7. The POD residual activity of both varieties remains above 50% from pH 4 up to more than 8.

The thermal stability of PPO and POD activities from Deglet Nour and Ghars was estimated at 30 °C, following incubation of enzyme preparations at various temperatures (10–80 °C) for 1 h. The maximum of remaining activity of PPO and POD from both varieties was obtained at 35 °C (Fig. 4g and h) after incubating the enzyme preparation for 1 h at various temperatures (10–80 °C). Incubation at temperatures different from 35 °C gave a gradual deactivation of PPO and POD going from this temperature to the extreme ones, so that the PPO retains approximately only 50% of its activity at 30 °C and 50 °C and less than 20% at 70 °C and 10 °C. Complete inactivation of this enzyme requires a temperature above 80 °C. This is in agreement with the results of [Dorantes-Alvarez and Chiralt \(2000\)](#) and [Tomas-Barberan and Espin \(2001\)](#) who reported that a temperature above 80 °C is needed to ensure PPO inactivation in processed horticultural products, such as juices, canned fruits, vegetables, etc. On the other hand, the POD is completely deactivated at 80 °C; its activity is almost zero at 70 °C and 10 °C. This proves that the PPO of the two fruit has more thermostability than the PODs. This was also confirmed by [Chisari et al. \(2007\)](#) who finds that peroxidase from both cultivars of strawberry was much more thermostable as compared with PPO, losing over 60% of relative activity already after 60 min of incubation at 40 °C. In addition, the thermostability of PODs from different sources varies. In fact, PODs from some plants are less thermostable than other enzymes ([Terefe et al., 2014](#)).

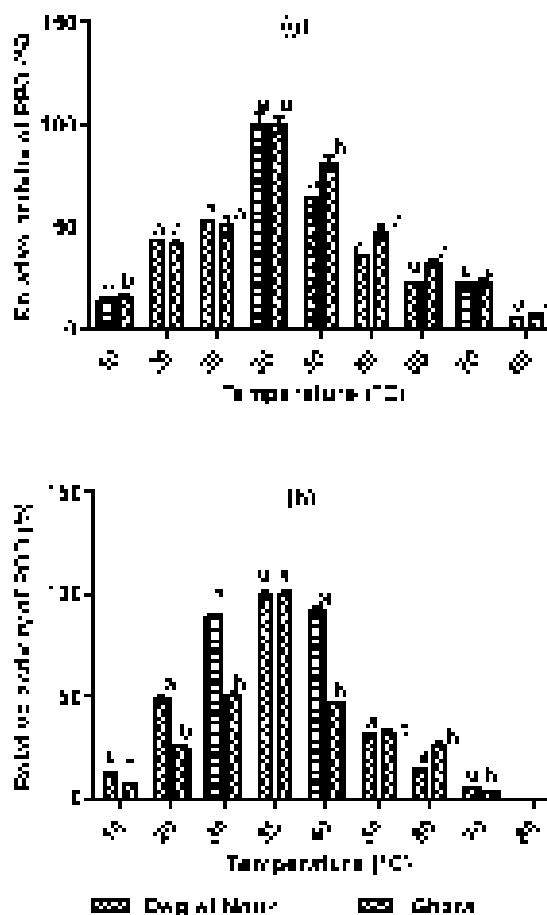


Fig. 4. Effect of temperature on PPO (g) and POD (h) stability from Deglet Nour and Ghars dates (expressed as a percentage of the control's activity) after incubating the enzymes preparation for 1 h at pH 7 and $T = 10\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vertical bars represent standard errors of the means and different letters indicate significant differences between the two varieties for each treatment.

3.3. Effect of chemicals

The effects of the eight chemicals used in this investigation at the concentration of (0.05%) on PPO and POD activities from the two varieties of date are expressed as percentage of original activity (control's activity) in the [Table 1](#). We can classify the chemicals used in descending order of their inhibitory effect of PPO as: ascorbic acid > sodium metabisulfite > citric acid > tartaric acid > oxalic acid > Cysteine > SDS > EDTA for Deglet Nour variety and as: ascorbic acid > sodium metabisulfite > cysteine > citric acid > EDTA > tartaric acid > SDS > oxalic acid for Ghars variety. Their classification in descending order of their inhibitory power of POD activity is: ascorbic acid > tartaric acid > SDS > sodium metabisulfite > EDTA > citric acid > oxalic acid > Cysteine for Deglet Nour variety and as: ascorbic acid > EDTA > SDS > cysteine > citric acid > sodium metabisulfite > tartaric acid > oxalic acid for Ghars variety. The results show that the most effective inhibitor of both activities is ascorbic acid with a PPO residual activity of 4.79% for Deglet Nour, 7.73% for Ghars and a POD residual activity of 0% in both varieties. This result seems logical, because ascorbic acid is a reducing agent that acts by reducing quinones generated by PPO into phenols ([Dorantes-Alvarez and Chiralt, 2000](#); [Tortoe et al., 2007](#)). It prevented the formation of brown polymers in other research on fruits and vegetables ([Bayindirli, 2010](#)) without acting directly on the enzyme. The remaining activity of the POD from vanilla bean after incubation with 1 mmol L⁻¹ of ascorbic acid is higher than this study (48.18%) ([Marquez et al., 2008](#)). However,

Table 1
Relative activity of PPO and POD from Deglet Nour (DN) and Ghars (G) dates after incubation with chemicals (0.05%) for 12 h at 10 °C.

Chemicals	Varieties	PPO relative activity (%)	POD relative activity (%)
Control	DN	100 ± 0.00a	100 ± 0.00a
	G	100 ± 0.00a	100 ± 0.00a
Ascorbic acid	DN	4.79 ± 1.38a	0.0 ± 0.0a
	G	7.73 ± 1.05b	0.0 ± 0.0a
Tartaric acid	DN	43.61 ± 1.10a	3.38 ± 1.02a
	G	56.71 ± 4.58b	97.69 ± 2.84b
Oxalic acid	DN	47.43 ± 9.07a	34.20 ± 0.41a
	G	63.34 ± 9.77b	99.43 ± 1.81b
Citric acid	DN	40.64 ± 1.99a	26.72 ± 0.33a
	G	43.73 ± 3.01a	19.45 ± 1.27b
Na metabisulphite	DN	7.26 ± 1.16a	5.68 ± 1.06a
	G	16.58 ± 0.23b	45.56 ± 5.43b
Cysteine	DN	52.91 ± 3.15a	35.31 ± 1.72a
	G	21.61 ± 2.30b	9.58 ± 0.45b
EDTA	DN	61.98 ± 8.76a	7.89 ± 0.09a
	G	46.28 ± 1.55b	7.71 ± 0.43a
SDS	DN	96.36 ± 4.45a	5.67 ± 0.25a
	G	91.09 ± 0.02b	8.51 ± 1.67a

Data are reported to mean ± standard error from three replicates per treatment. For each treatment, values in the same column followed by different lower case letters indicate significant differences between the two varieties at $P < 0.05$.

this study's result is in accord with that of [Diao et al. \(2014\)](#) who found the same value (0%) using guaiacol as substrate and ascorbic acid in 5 mmol L⁻¹ of concentration. [Prestamo and Manzano \(1993\)](#) also found ascorbic acid to be an effective inhibitor of peroxidase in kiwifruit. The inhibitor effect of ascorbic acid on PPO and POD activities was also confirmed in the study of [Li-Qin et al. \(2009\)](#) who found that the browning index of peach slices treated at 0.2% ascorbic acid was <2.5 after 10 d of storage. Activities of both enzymes were diminished in the presence of all other used chemicals and at varying degrees, which is in agreement with the literature. In fact, acids are used to inhibit enzymatic browning by raising acidity. They include citric, tartaric and ascorbic acids ([Barrett et al., 2005](#)). Citric acid is also a Chelating agent that acts by forming a complex with copper through an unshared electron in its structure ([Dorantes-Alvarez and Chiralt, 2000](#); [Tortoe et al., 2007](#)). In the study of [Jiang et al. \(2004\)](#) on fresh-cut Chinese water chestnut, citric acid at low concentrations stimulated PPO activity, but at 0.1 mol L⁻¹ or higher, it markedly inhibited the activity. Inhibition rate of PPO activity by L-cysteine was 52.91% and 21.61% in Deglet Nour and Ghars, respectively. Sodium metabisulfite was found very effective to retard the browning of fruit in various researches. Indeed, [Dincer et al. \(2002\)](#) indicate that thiol compounds, such as cysteine and metabisulfite, are potent inhibitors of medlar PPO. On the other hand, [Çelikel et al. \(2011\)](#) have shown that sodium metabisulfite increased water uptake, water loss and relative fresh weight of cut *Acacia holosericea* stems from established plants over 8 d. It increased also the vase life of this plant approximately half of the time. Both effects are the result of phenoloxidase inhibition by sodium metabisulfite because this enzyme, according to them, is involved in physiological plugging of cut acacia stems. These findings are consistent with result in this study. In fact, sodium metabisulfite has strongly inhibited the activity of PPO from Deglet Nour and to a lesser degree, the activity of PPO from Ghars. In this study and in the same way, the PODs of the two varieties were inhibited by this chemical. [Terefe et al. \(2014\)](#) reported that the most commonly used reducing agents that have been used traditionally for effective prevention of enzymatic browning are sulphites. In fact, thiol compounds act by reducing quinones into phenols. [Marquez et al. \(2008\)](#) found that the POD from vanilla bean showed decreasing activity in the presence of ascorbic acid, sodium metabisulfite, EDTA and SDS at 1 mmol L⁻¹, relatives

Table 2
Total phenol content and antiradical activity of Deglet Nour (DN) and Ghars (G) extracts containing chemicals (0.05%).

Chemicals	Varieties	TPC (g kg ⁻¹)	Antiradical activity (%)
Control	DN	1.072 ± 0.002a	60.16 ± 0.32a
	G	0.759 ± 0.001b	44.47 ± 2.73a
Ascorbic acid	DN	1.327 ± 0.004a	82.11 ± 0.33a
	G	1.275 ± 0.003a	84.12 ± 0.56b
Tartaric acid	DN	0.729 ± 0.001a	66.25 ± 0.12a
	G	0.672 ± 0.001a	40.44 ± 2.68b
Oxalic acid	DN	1.149 ± 0.003a	64.15 ± 5.05a
	G	0.816 ± 0.001b	59.54 ± 1.15b
Citric acid	DN	1.227 ± 0.005a	68.68 ± 2.27a
	G	0.700 ± 0.002b	39.39 ± 1.03b
Na metabisulphite	DN	2.538 ± 0.028a	74.59 ± 1.29a
	G	1.794 ± 0.015b	66.72 ± 2.39b
Cysteine	DN	3.195 ± 0.042a	80.38 ± 0.62a
	G	0.778 ± 0.002b	53.08 ± 1.26b
EDTA	DN	1.368 ± 0.012a	71.36 ± 1.73a
	G	0.979 ± 0.001b	45.21 ± 2.49b
SDS	DN	0.922 ± 0.002a	70.88 ± 1.57a
	G	0.768 ± 0.001b	55.73 ± 2.32b

Data are reported to mean ± standard error from three replicates per treatment. For each treatment, values in the same column followed by different lower case letters indicate significant differences between the two varieties at $P < 0.05$.

activities were 48.18%, 72.84%, 70.40% and 70.83% respectively. EDTA reacts as a chelating agent of the Fe⁺² atom found in the POD active center. Relative activity of POD from sweet potato was found 0%, 0% and 33% after incubation with ascorbic acid, citric acid and SDS respectively at 5 mmol L⁻¹ ([Diao et al., 2014](#)). In the present study, the inhibitory effect of the POD by EDTA and SDS is more powerful than their inhibitory effect of PPO. Indeed, the effect of SDS on PPO is very low in the case of both varieties. Using 4-methyl catechol, apple PPO activity in the presence of SDS starts to drop only for pH > 6.5 ([Marques et al., 1995](#)), which supports the results in the present study.

3.4. Total phenol content (TPC)

Phenol content of date's aqueous extract after incubation with chemicals is compared with control without additive and they are presented in [Table 2](#). Total phenol content of Deglet Nour date is higher than the control in the presence of cysteine, sodium metabisulfite, EDTA, ascorbic acid, citric acid and oxalic acid, but smaller than the control in the presence of SDS and tartaric acid. Total phenol content of Ghars is higher than that of control with sodium metabisulfite, ascorbic acid, EDTA, oxalic acid and cysteine and smaller in the case of citric and tartaric acids. These results demonstrate that the oxidation of phenols is slowed by some chemicals mainly sodium metabisulfite, ascorbic acid cysteine and EDTA. Although, we found that ascorbic acid is the most important inhibitor of enzymatic browning, the total phenolic content of extracts in its presence is not very far from that of control. However, it is significantly lower than the total phenolic content of the two varieties in the presence of sodium metabisulfite and that of Deglet Nour extract using cysteine. This may be due to its probable conversion to dehydroascorbic acid, which is an oxidized form of ascorbic acid that has no reducing effect. Tartaric acid decreased phenol content in the two varieties of date fruit, while citric acid decreased slightly the phenol content of Ghars extract. The pH may be responsible for this decrease. [Altunkaya and Gökmen \(2008\)](#) found a similar result with citric and oxalic acids.

3.5. Scavenging activity

The radical scavenging activities of the two varieties are noted in [Table 2](#). For Deglet Nour, percentages of antiradical

activity of extracts can be classified in descending order, according to the added chemicals: ascorbic acid > cysteine > Na metabisulfite > EDTA > SDS > citric acid > tartaric acid > oxalic acid > Control. In the case of Ghars, they can be classified in the same way to: ascorbic acid > sodium metabisulfite > oxalic acid > SDS > cysteine > EDTA > Control > tartaric acid > citric acid. Positive correlation exists between the phenol content of fruit extracts and their radical scavenging activities. The pH may affect the reaction and leads to such results in the case of acids. The concentration may also play a role in these results, indeed, it was reported in various studies that some chemicals may inhibit enzymatic browning at certain concentrations and activate it at others. It should be noted that, antioxidant activity of date fruit is attributed not only to its phenolic components, but also to its carotenoids and selenium. Therefore, the chelating substances, including EDTA and thiol chelators may decrease antiradical activity expected after the inhibition of the oxidation of phenols, by chelating selenium.

4. Conclusions

The results obtained in this study show that the stability of the PPO and POD of Deglet Nour and Ghars dates against different pH and temperatures remain comparable in both cases for each parameter and each variety, although there are slight differences in the relative activities. These activities are highly inhibited at extreme pH and temperatures, but remain significant over a wide range. The majority of the studied chemicals can slow enzymatic browning of postharvest Deglet Nour and Ghars dates by totally or partially inhibiting the activities of polyphenoloxidases and peroxidases.

References

- Al-Farsi, M.A., Lee, C.Y., 2008. Nutritional and functional properties of dates: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48, 877–887.
- Al-Senaïdy, A.M., Ismael, M.A., 2011. Purification and characterization of membrane-bound peroxidase from date palm leaves (*Phoenix dactylifera* L.). *Saudi J. Biol. Sci.* 18, 293–298.
- Altunkaya, A., Gökmen, V., 2008. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chem.* 107, 1173–1179.
- Baliga, M.S., Vittaldas Baliga, B.R., Kandathil, S.M., Bhat, H.P., Vayalil, P.K., 2011. A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Res. Int.* 44, 1812–1822.
- Barrett, D.M., Somogyi, L.P., Ramaswamy, H.S., 2005. *Processing Fruits (Science and Technology)*, 2nd ed. CRC, Boca Raton.
- Bayindirli, A., 2010. *Enzymes in Fruit and Vegetable Processing (Chemistry and Engineering Applications)*. CRC Press Inc, London.
- Chisari, M., Barbagallo, R.N., Spagna, G., 2007. Characterization of polyphenol oxidase and peroxidase and influence on browning of cold stored strawberry fruit. *J. Agric. Food Chem.* 55, 3469–3476.
- Çelikel, F.G., Joyce, D.C., Faragher, J.D., 2011. Inhibitors of oxidative enzymes affect water uptake and vase life of cut *Acacia holosericea* and *Chamaelucium uncinatum* stems. *Postharvest Biol. Technol.* 60, 149–157.
- Daas Amieur, S., Alloui-Lombarkia, O., Bouhdjila, F., Ayachi, A., Hambaba, L., 2014. Étude de l'implication des composés phénoliques des extraits de trois variétés de datte dans son activité antibactérienne. *Phytothérapie* 12, 135–142.
- Diao, M., N'cho Ayékoué, B., Dibala, C.I., Dabonné, S., Dicko, M.H., 2014. Purification and characterization of sweet potato (*Ipomoea Batatas*) peroxidase. *J. Anim. Plant Sci.* 22, 3419–3432.
- Dincer, B., Colak, A., Aydin, N., Kadioglu, A., Güner, S., 2002. Characterization of polyphenoloxidase from medlar fruits (*Mespilus germanica* L., Rosaceae). *Food Chem.* 77, 1–7.
- Dorantes-Alvarez, L., Chiralt, A., 2000. Color of minimally processed fruits and vegetables as affected by some chemical and biochemical changes. In: Alzamora, S.M., Tapia, M.S., Lopez-Malo, A. (Eds.), *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. Aspen Publications, Gaithersburg, MD, pp. 111–126.
- Duan, X., Su, X., You, Y., Qu, H., Li, Y., Jiang, Y., 2007. Effect of nitric oxide on pericarp browning of harvested longan fruit in relation to phenolic metabolism. *Food Chem.* 104, 571–576.
- Jiang, Y.M., 1999. Purification and some properties of polyphenol oxidase of longan fruit. *Food Chem.* 66, 75–79.
- Jiang, Y., Li, Y., 2001. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chem.* 73, 139–143.
- Jiang, Y., Pen, L., Li, J., 2004. Use of citric acid for shelf life and quality maintenance of fresh-cut Chinese water chestnut. *J. Food Eng.* 63, 325–328.
- Li-Qin, Z., Jie, Z., Shu-Hua, Z., Lai-Hui, G., 2009. Inhibition of browning on the surface of peach slices by short-term exposure to nitric oxide and ascorbic acid. *Food Chem.* 114, 174–179.
- Marques, L., Fleuriet, A., Macheix, J., 1995. Characterization of multiple forms of polyphenoloxidase from apple fruit. *Plant Physiol. Biochem.* 33, 193–200.
- Marquez, O., Waliszewski, K.N., Oliart, R.M., Pardio, V.T., 2008. Purification and characterization of cell wall-bound peroxidase from vanilla bean. *LWT* 41, 1372–1379.
- Motamed, S., Ghaemmaghami, F., Alemzadeh, I., 2009. Turnip (*Brassica rapa*) peroxidase: purification and characterization. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48, 10614–10618.
- Prestamo, G., Manzano, P., 1993. Peroxidases of selected fruits and vegetables and the possible use of ascorbic acid as an antioxidant. *Hortic. Sci.* 28, 48–50.
- Robinson, S.P., Loveys, B.R., Chacko, E.K., 1993. Polyphenoloxidase enzymes in the sap and skin of mango fruit. *Aust. J. Plant Physiol.* 20, 99–107.
- Rodrigo, C., Rodrigo, M., Alvarruiz, A., Frigola, A., 1996. Thermal inactivation at high temperatures and regeneration of green asparagus peroxidase. *J. Food Prot.* 59, 1065–1071.
- Sánchez-Moreno, C., Larrauri, J.A., Saura-Calixto, F., 1998. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J. Sci. Food Agric.* 76, 270–276.
- Shui, G., Leong, L.P., 2006. Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. *Food Chem.* 97, 277–284.
- Sidhu, J.S., 2006. Date fruits production and processing. In: Hui, Y.H. (Ed.), *Handbook of Fruits and Fruit Processing*. Blackwell, Oxford, pp. 391–419.
- Singh, J., Dubey, A., Diwakar, S.K., Rawat, S.K., Batra, N., Joshi, A., 2010. Biochemical characterization of peroxidases from the fruits of *Mallus pumilus*. *Int. Res. J. Biotechnol.* 1, 050–058.
- Suzuki, T., Honda, Y., Mukasa, Y., Kim, S.J., 2006. Characterization of peroxidase in buckwheat seed. *Phytochemistry* 67, 219–224.
- Talcott, S., Brenes, C., Pires, D., Pozo-Insfran, D., 2003. Phytochemical stability and colour retention of copigmented and processed muscadine grape juice. *J. Agric. Food Chem.* 51, 957–963.
- Terefe, N.S., Buckow, R., Versteeg, C., 2014. Quality related enzymes in fruit and vegetable products: effects of novel food processing technologies, part 1: high-pressure processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 54, 24–63.
- Thongsook, T., Barrett, M.D., 2005. Purification and partial characterization of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) peroxidases. *J. Agric. Food Chem.* 53, 3206–3214.
- Tomas-Barberan, F.A., Espin, J.C., 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J. Sci. Food Agric.* 81, 853–876.
- Tortoe, C., Orchard, J., Beezer, A., 2007. Prevention of enzymatic browning of apple cylinders using different solutions. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42, 1475–1481.
- Valero, E., Varon, R., Garcia-Carmona, F., 1988. Characterization of polyphenol oxidase from Airen grapes. *J. Food Sci.* 53, 1482–1485.
- Vayalil, P.K., 2012. Date fruits (*Phoenix dactylifera* Linn): an emerging medicinal food. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 52, 249–271.
- Yoruk, R., Marshall, M.R., 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review. *J. Food Biochem.* 27, 361–422.
- Zhang, Z., Pang, X., Xuewu, D., Ji, Z., Jiang, Y., 2005. Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp. *Food Chem.* 90, 47–52.

ملخص

الحفاظ على نوعية تمر دقلة نور و غرس محدود بسبب الاسوداد الإنزيمي الذي يؤدي الى إحداث فقدان للجودة الغذائية والخصائص الحسية نتيجة لغياب عمليات المعالجة وعدم وجود صيانة بعد موعد القطف. هذه الاطروحة تدرس إظهار عملية الاسوداد الإنزيمي الذي يصيب الفاكهتين مع اختبار فعالية بعض الأساليب الفيزيائية والكيميائية لتثبيت هذه الظاهرة وتحسين المحافظة على هذه الثمار التمتية. في الواقع، تم إجراء دراسة أولية عن تأثير درجة الحموضة ودرجة الحرارة و بعض المواد الكيميائية على أنشطة الإنزيمات المسؤولة على اسوداد التمر (الفينول أوكسيداز والبيروكسيداز). وتمثلت الدراسة الثانية في تجربة مفعول أشعة جاما من خلال ثلاث جرعات مختلفة (0,6، 1,3 و 2 كيلو جراي) على عدة خصائص ومكونات عينات التمر (درجة الحموضة، الحموضة المعيارية، فيتامين ج، اللون، المحتوى الإجمالي من الفينولات والفلافونيدات، النشاط المضاد للجدور الحرة ونشاط إنزيمي الفينول أوكسيداز والبيروكسيداز) لمدة عشرة أشهر من التخزين في درجتي حرارة مختلفتين (محيطة ومنخفضة). وأسفرت الدراسة الأولى في تحديد درجات الحموضة ودرجات الحرارة القصوى ولكن تبقى معتبرة على نطاق واسع. علاوة على ذلك، كشفت دراسة تأثير أشعة جاما المحافظة على درجة الحموضة في جميع الأنشطة معرضة للتثبيت عند درجات الحموضة ودرجات الحرارة القصوى ولكن تبقى معتبرة على نطاق واسع. علاوة على ذلك، كشفت دراسة تأثير أشعة جاما على التباطؤ في إسوداد غالبية العينات المعرضة للإشعاع مما أدى إلى ضعف تكثيف لون عينات تمر دقلة نور التي تم تخزينها في درجة حرارة الغرفة، وتحديد العينات المعرضة للإشعاع بالدرجات 0,6 و 2 كيلو جراي مقارنة مع العينة الغير متعرضة للإشعاع. ما هو نفسه في حالة العينات المعرضة للإشعاع بالدرجات 1,3 و 2 كيلو جراي من تمر الغرس التي تم تخزينها في درجة حرارة الغرفة وتلك المعرضة للإشعاع بالدرجات 0,6 و 1,3 و 2 كيلو جراي التي تم تخزينها في درجة حرارة منخفضة. يبدو ان هذا الإشعاع قد خفض بشكل كبير من نشاط أوكسيداز متعدد الفينول و ذلك في حالة عينات تمر الغرس خاصة عند 1,3 كيلو جراي المخزنة في درجة الحرارة المنخفضة. من خلال أعلى جرعة (2 كيلو جراي)، ساعد الإشعاع على إبطاء زيادة نشاط البيروكسيداز في عينات دقلة نور لمدة تصل إلى 5 أشهر من التخزين في كلتي درجتي الحرارة كما ساعدت جرعة 1,3 كيلو جراي في إبطاء نشاط البيروكسيداز من تمر غرس المخزنة في درجة حرارة الغرفة. في حين أن الجرعات 0,6 و 2 كيلو جراي هي التي سمحت بهذا في عينات نفس نوعية التمر عند تخزينها في درجة حرارة منخفضة. انعكس هذا أيضا على الحفاظ على المحتوى الفينولي في عينات دقلة نور مقابل زيادات معتبرة في عينات الغرس. بالتالي تم أيضا الحصول على النشاط المضاد للجدور الحرة بمستويات مهمة جدا مع العينات المعرضة للإشعاع من كلا نوعي التمر المدروسة. في الواقع هناك علاقة خطية جد ملموسة بين معدلات هذا النشاط ومحتوى هذه العينات من إجمالي متعدد الفينول والفلافونويد. تقادي الاسوداد الإنزيمي والحفاظ على الجودة الغذائية للوعيتين المدروستين من التمر، يتطلب عند تخزينها في درجة حرارة الغرفة، الإشعاع بجرعة 0,6 كيلو جراي لدقلة نور و 2 كيلو جراي لغرس. عند التخزين بدرجات الحرارة المنخفضة (10 درجة مئوية)، 2 كيلو جراي هو الأكثر ملاءمة لدقلة نور و 0,6 كيلو جراي لغرس.

الكلمات المفتاحية: دقلة نور، غرس، الاسوداد الإنزيمي، أشعة جاما، الفينولات.

Résumé

La conservation des dattes Deglet Nour et Ghars est limitée par le brunissement enzymatique induisant la perte de leur qualité nutritionnelle et leurs propriétés organoleptiques, conséquence du manque accrue de technologies de traitement et conservation post récolte de la datté. Cette thèse étudie la mise en évidence du brunissement enzymatique au sein des deux fruits et le test de l'efficacité de quelques approches physiques et chimiques dans l'inhibition de ce phénomène et l'amélioration de la conservation de ces précieux fruits. En effet, une première étude sur l'effet du pH, de la température et de certains produits chimiques sur les activités des deux enzymes impliquées dans le brunissement, la polyphénoloxylase (PPO) et la peroxidase (POD), a été réalisée. La deuxième consistait à l'étude de l'effet des radiations gamma à trois différentes doses (0,6 ; 1,3 et 2 KGy) sur le pH ; l'acidité titrable ; la couleur ; les teneurs en vitamine C, en phénols totaux et en flavonoïdes ; l'activité antiradicalaire vis à vis du DPPH ainsi que l'activité enzymatique de la PPO et de la POD des échantillons des deux fruits stockés à deux températures différentes (ambiante et basse) pendant dix mois. La première étude a conduit à la détermination des pH et températures optimaux des deux enzymes à côté de l'action des produits chimiques étudiés, notamment l'effet inhibiteur majeur de l'acide ascorbique. Ces activités sont très inhibées à pH et à températures extrêmes, mais restent importantes sur une large plage. Par ailleurs, l'étude de l'effet des radiations gamma a permis de détecter une préservation du pH de tous les échantillons irradiés de Deglet Nour stockés à basse température et de l'échantillon de Ghars irradié à 0,6 KGy, stocké à température ambiante, en plus de fortes augmentations en vitamine C de la majorité des échantillons. Un ralentissement du brunissement a été mis en évidence, se traduisant par une faible intensification de la coloration des échantillons de la datté Deglet Nour irradiés à 0,6 et 2 KGy et stockés à température ambiante ; il en est de même pour les échantillons de la datté Ghars irradiés à 1,3 et 2 KGy stockés à température ambiante et ceux irradiés à 0,6 ; 1,3 et 2 KGy stockés à basse température. Ce traitement paraît inhiber de manière significative l'activité de la PPO des échantillons irradiés de Ghars et spécialement celui irradié à 1,3 KGy lors du stockage à basse température. A la plus forte dose (2KGy), il a permis de ralentir l'augmentation de l'activité de la POD des échantillons de Deglet Nour jusqu'au 5ème mois de stockage aux deux différentes températures. La dose 1,3 KGy a induit le ralentissement de l'activité de la POD de la datté Ghars stocké à température ambiante ; alors que ce sont les doses 0,6 et 2 KGy qui ont permis cela chez les échantillons de la même variété stockés à basse température. Cela s'est traduit aussi par une préservation de la teneur phénolique des échantillons de Deglet Nour versus une augmentation considérable chez ceux de la datté Ghars et par conséquent de très importants taux d'activité antiradicalaire ont été obtenus avec les échantillons irradiés des deux variétés de dattes. En effet, une corrélation linéaire significative a été obtenue entre ces taux d'activité antioxydante et la teneur des extraits de ces échantillons en polyphénols totaux et flavonoïdes. La prévention du brunissement enzymatique et la préservation de la qualité nutritionnelle des deux variétés de datté étudiées acquiert, lors d'un stockage à température ambiante, la dose d'irradiation de 0,6 KGy pour Deglet Nour et celle de 1,3 ou 2 KGy pour Ghars. Tandis que pour un stockage à basse température (10°C), 2 KGy est la plus convenable pour Deglet Nour et 0,6 KGy pour Ghars.

Mots clés: Deglet Nour, Ghars, brunissement enzymatique, radiations gamma, phénols.

Summary

The conservation of Deglet Nour and Ghars dates is limited by enzymatic browning inducing loss of nutritional quality and organoleptic properties, which is the result of increased lack of processing technologies for post-harvest date preservation. This thesis studies the demonstration of enzymatic browning in both fruits and tests the effectiveness of some physical and chemical approaches for inhibition of this phenomenon and improving the conservation of these precious fruits. Indeed, a first study on the effect of pH and temperature and some chemicals on the activities of two enzymes involved in browning, polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (POD) was performed. The second was devoted for studying the effect of gamma radiation at three different doses (0,6; 1,3 and 2 KGy) on pH; titratable acidity; Colour; levels of vitamin C, total phenols and flavonoids contents; anti-radical activity against DPPH and PPO and POD activities from samples of both fruits stored at two different temperatures (ambient and low) for ten months. The first study resulted in the determination of the optimal pH and temperatures of both enzymes beside studied the action of chemicals, including the major inhibitory effect of ascorbic acid. These activities are highly inhibited at extreme pH and temperatures, but remain significant over a wide range. Moreover, the study of the gamma radiation effect has detected preservation of the pH of all irradiated samples from Deglet Nour stored at low temperature and the Ghars sample irradiated at 0,6 KGy stored at room temperature, in addition to significant increases in vitamin C for the majority of samples. This study detected a slowdown in the browning of the majority of irradiated samples resulting in a weak intensification of color samples from the date Deglet Nour stored at room temperature, irradiated at 0,6 and 2 KGy comparing with the control; what is the same in the case of irradiated samples at 1,3 and 2 KGy from Ghars stored at room temperature and those irradiated at 0,6, 1,3 and 2 KGy stored at low temperature. This treatment appears to inhibit significantly the PPO activity of Ghars irradiated samples especially that irradiated at 1,3 KGy during low temperature storage. At the highest dose (2KGy), this treatment helped slowing the increase in Deglet Nour POD's activity until the 5th month of storage at two different temperatures. 1,3 KGy dose induced the slowing of POD's activity from Ghars samples stored at room temperature; while these are the doses 0,6 and 2 KGy that allowed it to samples of the same variety stored at low temperature. This also reflected a preservation of the phenolic content of Deglet Nour samples vs an important increase in those of Ghars and therefore very significant radical scavenging activity rates were obtained with the irradiated samples of the two varieties of dates. Indeed, a significant linear correlation was obtained between the rates of this antioxidant activity and the extracts content of these samples in total polyphenols and flavonoids. Prevention of enzymatic browning and preserving the nutritional quality of the two studied varieties of dates acquires, when stored at room temperature, the radiation dose of 0,6 KGy for Deglet Nour and the 2 KGy for Ghars. While for a low temperature storage (10 °C), 2 KGy is most suitable for Deglet Nour and 0,6 KGy for Ghars.

Keywords: Deglet Nour, Ghars, enzymatic browning, gamma radiation, phenols.