

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

Université A. MIRA-Bejaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Alimentaires

Filière: Science Alimentaires

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf:.....

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Valorisation d'un produit du terroir par enrichissement
d'une matrice alimentaire**

Présenté par:

Hammiche Nouna & Hassaine Lydia

Soutenu le: 06 Juillet 2023

Devant le jury composé de:

M^{me} Boulekbache Lila

Présidente

M^{me} Brahmi Fatiha

Promotrice

M^{me} Guendouze Naima

Examinatrice

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

D'abord nous remercions notre Dieu le tout puissant qui nous protège tout le temps, et qui nous a donné le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier très particulièrement notre promotrice M^{me} BRAHMI. F pour son aide, ses conseils, son orientation et sa grande gentillesse.

Toutes nos expressions de respect à M^{me} BOULEKBACHE. L qui nous a fait honneur par sa présence en qualité de présidente de jury

Nos sincères remerciements et considérations sont exprimés à M^{me} GUENDOUZE. N qui a accepté d'examiner ce travail et de consacrer de son temps pour l'évaluer.

Sans oublier tous les membres de laboratoire de science alimentaire, techniciennes, doctorants et professeurs.



Dédicaces

A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour

A ceux qui m'ont encouragée et soutenue dans les moments les plus difficiles

***A mes chers parents**, source de tendresse, de noble et d'affection pour toutes
les scarifications qu'ils ont fait à mon égard*

*Que ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de ma profonde
reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

***A mes chères sœurs Hadjer, Amel** pour leurs soutiens et leurs
encouragements tout au long de mes études.*

*A la mémoire de mes grands-parents maternels **Ali, Guermia**, que le Dieu les
garde dans son vaste paradis.*

*A mes grands-parents paternels **Mohamed, Nouara**.*

***Mes tantes et oncles** et toute ma famille sans exception.*

***A tous mes amies** et qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce
travail.*

*A ma chère binôme **Nouna**.*

Lydia



Dédicaces

*C'est avec une gratitude sincère et une considération chaleureuse que je dédie ce travail à mes chers parents **Mustapha et Noura** qui m'ont chaleureusement encouragé tout au long de mon parcours scolaire et universitaire, que Dieu vous donne une bonne santé et une longue vie.*

*A la mémoire de **mon grand-père** paternel qui me manque énormément, j'aurai aimé que tu sois là présent à mes côtés en ce moment.*

*A ma grand-mère « **Ima hadja** » qu'ALLAH te donne une bonne santé et une longue vie.*

*A mes chers frères **Sofiane, Ali, Youba** et ma chère sœur **Rouaya**.*

*A mes belles-sœurs **Nina et Mélina**.*

*A mon oncle **Nordine** et sa femme **Soraya**.*

*A ma tante **Fatiha**.*

*A mes cousines **Célina, Dassine et Maya**.*

*A ma nièce **Hadjar**.*

*A ma meilleure amie **Salma**, qui a toujours su être à mes côtés et partagé avec moi tous les moments d'émotion. Aucun mot n'est susceptible d'exprimer mes profondes affections envers elle.*

*A ma chère binôme **Lydia** ainsi que toute sa famille.*

Nouna

Table des matières

Liste des abréviations
Liste des figures
Liste des tableaux

Introduction 1

Synthèse bibliographique

I. Généralités sur le matériel végétal étudié 3

I.1. Origine et répartition géographique 3

I.2. Etude de certaines parties de cactus 3

I.2.1. Fleurs 3

I.2.2. Graines 5

I.2.3. Tourteaux 7

II.1. Définition des biscuits 8

II.2. Classification des biscuits 8

II.3. Ingrédients des biscuits et leurs effets 9

II.3.1. Ingrédients primaires 9

II.3.2. Ingrédients facultatifs de biscuit 10

II.4. Technologie des biscuits 11

II.4.1. Mixage 11

II.4.2. Pétrissage 11

II.4.3. Fermentation 12

II.4.4. Laminage 12

II.4.5. Découpage 12

II.4.6. Cuisson 12

II.4.7. Refroidissement 13

II.4.8. Conditionnement et conservation de biscuit 13

II.4. Critères de qualité des biscuits 13

III. Préparation des poudres d'enrichissement 14

III.1. Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres 14

III.1.1. Densité apparente (DA) 14

III.1.2. Capacité d'absorption d'eau (CAE) et d'huile (CAH) 14

III.1.3. Capacité de gonflement (CG) 14

III.1.4. Capacité moussante (CM) 15

III.2. Caractérisations physicochimiques des poudres 15

III.2.1. Détermination de la teneur en cendres 15

III.2.2. pH.....	16
III.2.3. Degré Brix	16
III.2.4. Détermination de la teneur en eau	16
III.2.5. Dosage des sucres totaux.....	17
III.2.6. Détermination de la teneur en protéines	18
III.3. Analyses phytochimiques.....	18
III.3.1. Extraction par ultrasons	18
III.3.2. Dosage des polyphénols totaux	18
III.3.3. Dosage des flavonoïdes	19
III.3.4. Dosage des flavonols	19
III.3.5. Dosage des tannins condensés.....	20
III.4. Evaluation de l'activité antioxydante	20
III.4.1. Test au phosphomolybdate	20
III.4.2. Test de piégeage du DPPH.....	21
III.4.3. Test à l'ABTS	22
III.4.4. Test de réduction du fer (FRAP).....	23
III.5. Elaboration du biscuit.....	23
III.6. Analyses du produit fini.....	25
III.6.1. Analyses physico-chimiques	25
III.6.2. Analyse sensorielle.....	25
IV.1. Analyses physico-chimiques et composition approximative des poudres	26
IV.2. Propriétés fonctionnelles des poudres	29
IV.3. Analyse phytochimique	30
IV.3.1. Polyphénols totaux.....	30
IV.4. Activité antioxydante	35
IV.4.2. Evaluation de l'activité antioxydante par le test au DPPH.....	36
IV.4.3. Evaluation de l'activité antioxydant par le test d'ABTS	37
IV.4.1. Pouvoir réducteur du fer.....	38
IV.5. Analyses physico-chimiques des biscuits enrichis	39
IV.6. Evaluation de l'activité antioxydante (test du DPPH) des biscuits.....	41
IV.7. Analyse sensorielle.....	41
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des abréviations

ABTS : Acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)

ASE : Extraction accélérée des solvants

DPPH : Diphényle-picryl-hydrazyle.

EAA : Equivalent en acide ascorbique.

EAG : Equivalent en Acide Gallique.

EC : Equivalent en catéchine

EQ : Equivalent en quercétine.

FRAP : Ferric reducing antioxidant power

HPLC : High performance liquid chromatography

IC₅₀ : Half maximal inhibitory concentration

HDL : High density lipoprotein.

Mo : molybdène

MS : matière sèche

OFI : *opuntia ficus indica*.

UPLC : Ultra Performance Liquid Chromatography

Liste des tableaux

Tableau I : Composition chimique des fleurs d' <i>Opuntia ficus indica</i>	4
Tableau II : Composition chimique des graines de la figue de barbarie	6
Tableau III : Composition chimique des tourteaux de graine de la figue de barbarie	7
Tableau IV : Recette du biscuit témoin et des biscuits formulés aux poudres de fleurs, graines, tourteaux	23
Tableau V : Propriétés physico-chimiques des poudres de sous-produits de cactus.....	26
Tableau VI : propriétés fonctionnelles des poudres.....	29
Tableau VII : Propriétés physico-chimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis ...	39
Tableau VIII : Objets classés par ordre croissant de préférence	42

Liste des figures

Figure 01 : photographie des fleurs de cactus.	3
Figure 02 : photographie de la graine de cactus sous un microscope électronique	5
Figure 03 : Réduction du radical libre DPPH	21
Figure 04 : Etapes suivies pour la formulation des biscuits avec les échantillons étudiés...	24
Figure 05 : (A) biscuits témoin (B) biscuits enrichis en poudre des tourteaux (C) biscuits enrichis en poudre des graines (D)biscuits enrichis en poudre des fleurs.	24
Figure 06 : Teneurs en sucres totaux des échantillons étudiés	27
Figure 07 : Teneurs en protéines des échantillons étudiés	28
Figure 08 : Teneurs en polyphénols totaux des échantillons étudiés	30
Figure 09 : Teneurs en flavonoïdes des échantillons étudiés	32
Figure 10 : Teneurs en flavonols des échantillons étudiés.	33
Figure 11 : Teneurs en tannins condensés des échantillons étudiés	34
Figure 12 : Réduction de molybdate des échantillons étudiés	35
Figure 13 : Inhibition du DPPH' des échantillons étudiés	36
Figure 14 : Inhibition d'ABTS des échantillons étudiés	37
Figure 15 : Pouvoir réducteur des échantillons étudiés.....	38
Figure 16 : Teneurs en protéines des biscuits formulés	40
Figure 17 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH des biscuits	41
Figure 18 : Courbes de niveau et carte des préférences	42

Introduction

Ces dernières années les plantes ont connu une exploitation appréciable. Elles suscitent un intérêt de plus en plus croissant aussi bien chez les consommateurs que chez les diététiciens et les nutritionnistes. Elles servent, en outre, à l'élaboration des produits alimentaires de grande valeur énergétique et diététique : « yaourt, biscuits, farine pour bébés, confitures, marmelades, crème dessert etc. » (**Saadoudi, 2019**). La possibilité d'obtenir un aliment à partir d'autres produits reste une alternative intéressante dans le but de les valoriser et d'améliorer la qualité du produit obtenu (**Doukani, 2015**).

Parmi ces différentes plantes, l'*Opuntia ficus indica* est une plante plus représentée en Algérie et dans le monde est pourvue d'un bon potentiel de valorisation et d'un bon rendement de matière (**Hadj Sadok, 2010**).

Le figuier de barbarie se trouve dans toutes les régions d'Algérie, à l'exception du sud. Initialement très utilisé pour limiter la sécheresse et lutter contre l'érosion, il est employé à la consommation de ses fruits ou comme aliment de bétail. En revanche, dans d'autres pays, à l'instar du Maroc et de la Tunisie, en plus de son utilisation précédente, les graines du fruit sont pressées pour extraire l'huile qu'elle contient (**Keller et al., 2009**).

Les graines du figuier de barbarie suscite beaucoup d'intérêt pour la richesse de leur huile en matières insaponifiables et acides gras essentielles (**Habibi, 2004 ; Habibi et al., 2005**). Par ailleurs, les graines renferment divers composés phytochimiques tels que les métabolites secondaires (polyphénols, flavonoïdes et tannins) qui pourrait justifier leur exploitation industrielle comme antioxydant naturel (**El Kossori et al., 1998 ; Cardador-Martinez et al., 2011**).

Les tourteaux des graines semblent être une source intéressante et bon marché d'antioxydants naturels qui peuvent être exploités industriellement en tant qu'ingrédients d'aliments fonctionnels ou enrichis (**Khaled, 2023**).

Dans le figuier de barbarie, tout y a une véritable valeur ajoutée qui peut constituer un créneau d'investissement à part entière. Les fleurs d'*O.ficus-indica* pourraient être considérées comme une source de substances bioactives, de composés phénoliques bioactifs, elles ont des effets antioxydants et anti-inflammatoires. C'est une source de composés naturels qui dans les aliments, les cosmétiques ou les produits pharmaceutiques, contribuant ainsi à diminuer l'impact environnemental des sous-produits de cactus et à réduire les risques de maladies infectieuses (**Benayad, 2014**).

Par conséquent, le cactus peut être une alternative pour le développement durable de ces régions grâce à son adaptation au climat de ces zones, son importance économique et sa valeur nutritionnelle et sa composition riche surtout en composés phénoliques qui jouent un rôle primordial dans la prévention de nombreuses maladies (**Arba, 2009**).

Il est bien connu que les produits alimentaires, comme les biscuits sont des aliments de grande consommation dans beaucoup de pays et d'une grande valeur énergétique, l'évolution actuelle du marché des produits alimentaires incite l'industrie de la transformation à élaborer sans cesse de nouveaux produits. Les biscuits sont les produits les plus vendus sur le marché du fait de la diversification de la gamme disponible : biscuits pâtisseries, les biscuits sans gluten etc. L'inclination des consommateurs pour des produits allégés en matière grasse et en sucres, enrichis en polyphénols, enrichis en minéraux a stimulé l'utilisation d'ingrédients tels que les édulcorants, les sucres, les arômes et les colorants d'origine naturelle (**Saadoudi, 2019**).

Le consommateur cherche la sécurité des produits de boulangerie non seulement avec un goût frais et agréable mais aussi avec une longue durée de vie et avec des avantages pour la santé (**Nhouchi et al., 2018**). Cela a encouragé l'industrie alimentaire à se consacrer pour l'enrichissement des biscuits (**Ansari et Kumar, 2012**). Au fil des ans, plusieurs études ont été rapportées pour améliorer la valeur nutritionnelle des biscuits en incorporant des légumineuses et des graines oléagineuses tels que les haricots, les graines de sésame, les pois chiches, l'orge, le niébé, le lupin, le soja et le maïs (**Serrem, 2010; Hyun-Jung et al., 2014**).

Dans ce travail nous avons essayé de répondre à cette problématique : quels sont les différentes utilisations de ces sous-produits ? Existe-il une initiative pour enrichir en éléments bioactifs les produits fabriqués à base de farine de blé ?

Afin de répondre à cette problématique, notre travail est divisé en trois parties :

Dans la première partie, nous aborderons les différentes connaissances bibliographiques par l'étude de différentes parties de cactus et nous allons donner quelques généralités sur le biscuit.

Dans la deuxième partie nous développerons le matériel et l'ensemble des techniques et méthodes utilisées, pour l'étude physico-chimiques, propriétés techno-fonctionnelles, l'analyse phytochimique et les activités anti-oxydantes. La troisième partie sera consacrée aux résultats et discussion, où sont discutés les différents résultats obtenus. Après, le travail sera achevé par une conclusion et quelques futures perspectives.

Synthèse bibliographique

I.1. Origine et répartition géographique

Le figuier de barbarie est une cactacée originaire des régions arides et semi-arides du Mexique, il a été introduit en Afrique du Nord vers le 16^{ème} siècle (El Kossori *et al.*, 1998 ; Araba *et al.*, 2000 ; El Mannoubi *et al.*, 2008).

Actuellement, il existe 1500 espèces de cactus appartenant au genre *Opuntia* ; et sont cultivées dans de nombreux pays : le Mexique, les États-Unis, la Chine, l'Afrique et l'Italie ainsi que dans d'autres aires géographiques (El kossori *et al.*, 1998 ; Feugang *et al.*, 2006).

En Algérie, les zones dédiées à la culture de l'*Opuntia* s'étendent sur plus de 30000 ha dont 60% dans la municipalité de Sidi-Fredj (45 km au nord de Souk Ahras) et le reste à Ouled Mimoune, Taoura, Dréa et Ouilène (HUF poste Algérie, 2015).

I.2. Etude de certaines parties de cactus

Le figuier de barbarie est une grande plante robuste qui peut mesurer jusqu'à 5 m de hauteur. Elle est composée de plusieurs compartiments mais dans ce présent travail nous sommes intéressés à l'étude des fleurs, graines et tourteaux :

I.2.1. Fleurs

Les fleurs sont de couleur jaune clair ou orangé et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence (Figure 01). Elles apparaissent sur le pourtour et se différencient généralement sur les cladodes âgés d'un an. Elles sont régulières, hermaphrodites et sessiles, comprenant un style unique à stigmate digité et entouré de plusieurs verticilles d'étamines et d'un nombre défini de pétales. Elles sont de grandeur variable, majoritairement nombreuses, insérées chacune à l'aisselle d'un faisceau d'épines (Borchani, 2022).



Figure 01 : photographie des fleurs de cactus.

https://live.staticflickr.com/4247/34187246464_b856800b90_b.jpg

Les fleurs d'*Opuntia ficus indica* renferment plusieurs composants comme le montre le tableau suivant :

Tableau I : Composition chimique des fleurs d'*Opuntia ficus indica* (Benattia, 2017).

Constituants	Teneur	Constituants	Teneur
Cires	9-11%	Lignine	2-3 %
Minéraux (cendres)	7-8%	Protéines	8-10%
Polysaccharides	40-45%	Cellulose	27%

Utilisation des fleurs

Les infusions des fleurs d'opuntia sont utilisées en Sicile comme remède aux maux des reins. Des capsules qui sont faites à partir des fleurs séchées sont utilisées comme régulant diurétique et remède au dysfonctionnement de la prostate. Le bouillit des fleurs séchées d'opuntia est utilisé en pharmacopée traditionnelle au Maroc comme remède aux douleurs gastro-intestinales, aux brûlures et coups de soleil (Arba, 2009).

Il a été démontré que les fleurs possèdent des propriétés biologiques diverses, antiprolifératives, antiobésité, hypoglycémique, neuroprotecteur, hépatoprotecteur et anti inflammatoire. Elles possèdent notamment des propriétés antioxydantes et antibactériennes qui ont la capacité d'améliorer la cicatrisation des plaies (Pensamiento-Niño *et al.*, 2021 ; Ammar *et al.*, 2015)

Les fleurs fraîches sont également utilisées pour l'obtention d'une huile qui est utilisée comme huile essentielle à l'état pur ou en mélange dans des proportions avec de l'alcool ou avec des huiles comme l'huile d'olive. Cette huile, appelée « parfum de cactus », présente une odeur caractéristique très appréciée. Elle est aussi utilisée pour ses propriétés hydratantes et antiâges (Borchani, 2022).

Les fleurs d'Opuntia constituent une source de nutrition très appréciée pour les abeilles domestiques ce qui engendre la possibilité de développer des activités d'apicultures parallèles (Borchani, 2022).

Les produits des extraits de fleurs d'*Opuntia ficus indica* sont utilisés comme inhibiteurs de la corrosion de divers métaux. Cette activité est probablement due à la présence de composés hétérocycliques : les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tanins et la cellulose. Ces composés forment une couche mince sur la surface métallique, empêchant ainsi la corrosion (Saidi *et al.*, 2016).

Les fleurs sont généralement utilisées comme garniture fraîche dans divers plats, ou comme ingrédient clé dans les confitures, les gâteaux, les yaourts, les desserts et les crèmes glacées, et même consommées comme légumes. Dans ces situations, l'utilisation des fleurs a pour but d'améliorer l'apparence, la couleur, le goût et la valeur nutritionnelle des aliments (Pensamiento-Niño *et al.*, 2021).

I.2.2. Graines

Les graines de la figue de barbarie présentent des variations considérables dans la forme, la taille, la structure, et les caractéristiques de l'embryon, elles représentent 10 à 15% de la pulpe comestible (Rayes-Aguero *et al.*, 2006).

Les graines de figue de barbarie sont caractérisées par leur dureté due à la présence de fibres dures et de formes plates, plus au moins réniformes ou lenticulaires. La quantité des graines est importante car elle varie de 20 à 40% par poids sec du fruit entier, selon les cultivars (Habibi *et al.*, 2002).

Il a été démontré que le pourcentage et le nombre de graines par fruit varie en fonction de plusieurs facteurs dont la variété, la physiologie et l'environnement de culture. Le microscope optique montre que la graine est constituée de deux parties : une enveloppe (péricarpe) et un noyau (endosperme) (Figure 02) (Habibi, 2004).

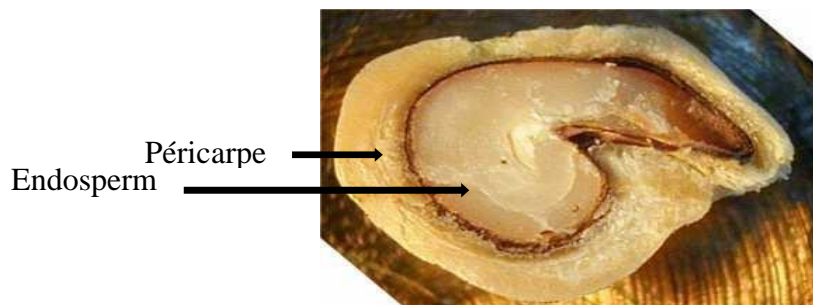


Figure 02 : photographie de la graine de cactus sous un microscope optique (Habibi, 2004).

- **Péricarpe**

Le péricarpe de la graine de figuier de barbarie représente 90 à 95% du poids total des graines. Deux types de cellules peuvent être distingués : en majorité des cellules longues très compactes en forme de fibres fusiformes et quelques vaisseaux spiralés. Les fibres sont communément appelées fibres des sclérenchymes. Ce tissu de soutien est largement répandu

dans les téguments des graines, les noyaux des fruits, les cellules pierreuses, les épines et les aiguillons des tiges et des feuilles. Les couches régulières de cellules, qui garnissent leur paroi épaisse, présentent un arrangement hélicoïde (**Habibi, 2004**).

- **Endosperme**

Représente jusqu'à 10% du poids total de la graine ; il est constitué de cellules de parenchyme de réserve à paroi très fine renfermant de nombreux leucoplastes qui forment de petits grains d'amidon. Entre les tissus riches en amidon s'intercale une couche de gluten (couche à aleurone) qui donne au noyau son aspect visqueux. L'ensemble de ces cellules est enrobé dans une paroi cellulaire épaisse en forme de tuile inverse (**Habibi, 2004**). Les graines sont riches en plusieurs composants tels qu'il est décrit dans le tableau II.

Tableau II : Composition chimique des graines de la figue de barbarie (**Habibi, 2004**).

Constituants	Pourcentage%
Eau	5-6
Huile	7-8.5
Minéraux (cendres)	1,3
Lignine Klason	18
Cellulose	30
Protéines	11-12
Polysaccharides	27

- **Utilisation des graines**

Les dérivés alkyles amphiphiles de xylènes possèdent des propriétés émulsifiantes excellentes, et sont largement utilisés dans le domaine agroalimentaire (**Habibi, 2004**).

Il a été montré que l'addition de la poudre de graines dans l'alimentation diminue la concentration en glucose sérique, augmente le glycogène dans le foie et le muscle squelettique et augmente significativement le taux de cholestérol HDL ce qui suggère une application potentielle pour le diabète et l'athérosclérose (**Ennouri et al., 2006**). Aussi l'augmentation de leur apport réduit les risques de maladies cardio-vasculaires et maladies coronariennes (**Ennouri et al., 2006**).

La richesse de ces graines en matière insaponifiables (stérols et tocophérols) en fait un bon atout pour leur exploitation en cosmétologie, étant donné les effets bénéfiques de

ces substances sur l'élasticité de la peau, le métabolisme cellulaire et la restauration de la structure cutanée (**Habibi, 2004**).

I.2.3. Tourteaux

Le processus d'extraction de l'huile des graines de figue de barbarie génère un tourteau qui constitue jusqu'à 90% du poids sec de la matière première et contient environ 3 à 12% de matière sèche de protéines et riche en fibres. Le plus souvent jeté après l'extraction de l'huile comme un déchet (**Borchani, 2022 ; Khaled, 2023**).

Les tourteaux renferment plusieurs composants chimiques comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau III : Composition chimique des tourteaux de graine de la figue de barbarie (**Borchani, 2022**).

Constituants	Teneur	Constituants	Teneur
Matière sèche (%MS)	98,7	Fibres totales (%MS)	82,83
Cendres (%MS)	1,58	Cellulose (%MS)	31,09
Matière grasse (%MS)	4,28	Hémicellulose (%MS)	26,05
Sucres solubles totaux (%MS)	0,12	Pectines (%MS)	4,52
Protéines (%MS)	6,5	Eau (%MS)	0,150

- **Utilisations des tourteaux**

La valorisation des tourteaux de graines à travers l'élaboration d'extraits protéiques pourrait être considérée comme ingrédients fonctionnels pouvant être incorporés dans plusieurs formulations alimentaires pour améliorer leurs propriétés fonctionnelles et prévenir leur oxydation (**Borchani, 2022**).

Les tourteaux des graines de figues de barbarie sont aussi utilisés dans les formulations dermo-abrasives (**Mazari, 2021**).

En outre, l'utilisation du tourteau de figue de barbarie comme un nouveau précurseur pour la production de charbon actif par acide phosphorique est une approche intéressante pour valoriser cette matière première (**Dhahri et al., 2022**).

II.1. Définition des biscuits

Le mot biscuit est dérivé du Latin « *panisbiscotis* » qui signifie le « pain cuit deux fois ». C'est parce que le processus original consistait à cuire les biscuits dans un four chaud puis à les sécher dans un autre.

Le biscuit représente les produits de boulangerie cuits au four qui contiennent trois principaux ingrédients : la farine de blé tendre, le sucre et la matière grasse avec autres ingrédients mineurs tels que le lait, le sel, les agents aromatisants et les agents d'aération (Mamat et Hill, 2014 ; Devi et Khatkar, 2016).

La consommation des biscuits est devenue très populaire à travers le monde (Okpapala et Okolo, 2013). Leur popularité est due à leur goût sucré, nature prête à manger, coût abordable, valeur nutritive et longue durée de conservation (Sudha *et al.*, 2007 ; Vujic *et al.*, 2014).

II.2. Classification des biscuits

Vu la grande variété des productions et de la multiplicité des composants pouvant entrer dans les diverses fabrications des biscuits, leur classification se base alors sur :

- La consistance de la pâte, dont il est distingué :

- Les pâtes dures ou semi-dures qui donnent naissance au type de biscuits secs : casse-croûte, sablés....
- Les pâtes molles qui fait appel aux pâtisseries industrielles telles que les génoises, les madeleines ... Leur particularité est la richesse en œufs et en matières grasses.
- Les pâtes à forte teneur en lait ou en eau et contiennent peu de matières grasses
Ce sont les pâtes à gaufrettes (Menasra, 2020).

-La composition de base, dont il est distingué :

- Les biscuits riches en glucides complexes, leur valeur énergétique est d'environ 400 cal/100 g tels que les biscuits secs.
- Les biscuits riches en glucides simples, leur valeur énergétique est d'environ 430 cal/100 g comme les biscuits confiturés et les biscuits roulés.
- Les biscuits riches en lipides, leur valeur énergétique est d'environ 500 cal/100 g tels que les biscuits chocolaté (Menasra, 2020).

II.3. Ingrédients des biscuits et leurs effets

II.3.1. Ingrédients primaires

- **Farine**

La farine de blé tendre est l'ingrédient principal de la majorité des biscuits. C'est le produit élaboré à partir des grains de blé ordinaire (**CODEX STAN 152-1985**).

L'utilisation fréquente de la farine dans la préparation de la pâte des biscuits est liée à sa capacité à retenir le gaz ce qui permet son expansion lors de la cuisson. Les différents constituants de la farine (protéines, lipides, glucides...) jouent un rôle direct ou indirect dans la structuration et l'aération de la pâte (**Ndangui, 2015**).

- **Matière grasse**

La matière grasse est le troisième ingrédient le plus important utilisé dans la fabrication des biscuits. Du point de vue qualité sensorielle, elle fait partie des ingrédients principaux qui ont une influence sur la texture de biscuit (**Devi et Khatkar, 2016**).

Le type et le niveau de la matière grasse dans la formulation des biscuits à un impact robuste sur les propriétés viscoélastiques de la pâte L'ajout de corps gras entraîne une baisse du développement de gluten, ce qui produit une pâte moins élastique. Un taux plus élevé de matière grasse a un effet ramollissant et diminue la consistance de la pâte (**Menasra, 2020**).

- **Levure chimique**

La levure chimique fabriquée est fréquemment utilisée dans la préparation des produits de boulangeries. Une poudre à simple effet contient l'anhydride de phosphate monocalcique. Bien qu'une poudre à double effet contienne de l'hydrate de phosphate monocalcique et de sulfate d'aluminium et du sodium. La levure chimique à double effet destinée à la boulangerie contient l'hydrate de phosphate monocalcique et pyrophosphate acide de sodium (**Sharma, 2013**). L'action de la levure est fortement influencée par les conditions environnantes (température, pH, teneur en eau...) (**Saadoudi, 2019**).

- **Sucre**

Le sucre a un rôle important dans le processus de cuisson. En outre de la douceur, il ajoute aussi de la texture, de la couleur et agit comme un conservateur. Selon le niveau et le type, le sucre influence sur les différents paramètres rhéologiques de la pâte du biscuit. Il

inhibe le développement du gluten pendant le pétrissage de la pâte en concurrence avec la farine pour l'eau de la recette (**Mamat et Hill, 2018**).

- **Eau**

L'eau est un ingrédient important pour la formation de la pâte. Elle hydrate la farine, fournit la mobilité nécessaire aux constituants de la farine pour la réalisation des réactions chimiques. Une pâte panifiable contient typiquement 0,6 à 0,8 gramme d'eau par gramme de farine sèche (**Ndangui, 2015**).

L'eau a pour fonctions :

- Contribuer à la formation du gluten, processus de gonflement de l'amidon et dans la mise en contact des ingrédients de la pâte ;
- Aider au contrôle de la température de la pâte ;
- Pour rendre possible l'activité enzymatique ;
- Contribuer dans une certaine mesure à l'aération des biscuits par la formation de vapeur ;
- Aider à dissoudre le sel, les produits chimiques, les couleurs solubles dans l'eau et les arômes, et distribuer les produits dissous (**Misra et Tiwari, 2014**).

II.3.2. Ingrédients facultatifs de biscuit

- **Sel**

Le sel alimentaire (NaCl) est présent dans la plupart des produits de boulangerie à raison de 2% du poids de la farine. C'est un exhausteur de goût, diminue les arrière-goûts et ralentit l'activité de la levure par inhibition de l'activité enzymatique. Il limite la disponibilité de l'eau et il améliore la conservation. Le sel solubilisé dans l'eau crée des liaisons ioniques avec les protéines de la farine en améliorant la capacité d'absorption d'eau. Le sel favorise aussi la coloration de la croûte, qui reste pâle en son absence (**Ndangui, 2015**).

- **Lait**

Le lait est souvent utilisé pour remplacer l'eau dans certains produits céréaliers, et du fait de sa forte teneur en lactose, il participe également à la coloration de la croûte par la réaction de Maillard (**Mezian, 2011**).

- **Oeufs**

Selon le type de biscuit, des œufs entiers ou seulement des blancs sont utilisés. Les biscuits à faible teneur en gras contiennent des œufs entiers ou des jaunes d'œufs. Les œufs assurent l'aération et la coagulation lors de la préparation des biscuits (**Hui et al., 2006**).

- **Aromatisants**

Certains épices comme la cannelle, la noix et le gingembre sont également employés pour améliorer la saveur. Les aromatisants devraient être utilisés soigneusement car un surplus de quantité donne une forte saveur qui devient désagréable et inacceptable au produit (Menasra, 2020).

- **Acidifiants**

Les acidifiants sont souvent utilisés à de faibles concentrations dans les formulations de pâte à biscuit afin de modifier les propriétés de la pâte (Misr et Tiwari, 2014).

II.4. Technologie des biscuits

Les biscuits sortent des usines à grandes installations bien larges et sophistiquées au plan mécanique. La mise en forme, la cuisson et l'emballage suivent une chaîne de production précise bien que l'ajout précis des ingrédients et le métissage de la pâte se font dans des paquets (Saadoudi, 2019).

La technologie des produits céréaliers comprend huit étapes : mixage, pétrissage, fermentation, laminage, mise en forme, cuisson, refroidissement et conditionnement. (Sudha *et al.*, 2007 ; Devi et Khatkar, 2016).

II.4.1. Mixage

Le mixage est la première étape dans le processus de préparation des biscuits. Cette opération permet de mélanger le sucre, la matière grasse, les œufs et autres ingrédients afin qu'ils forment une masse cohérente (Maache-Rezzoug *et al.*, 1998 ; Noah, 2018).

Des mélangeurs continus et discontinus (verticaux ou horizontaux) sont utilisés pour mélanger la pâte (Misra et Tiwari, 2014).

II.4.2. Pétrissage

Le pétrissage aboutit à la formation d'un produit viscoélastique à partir de deux constituants : eau et farine (Laabidi, 2007).

On distingue trois types de pétrissages :

-Le pétrissage conventionnel : assure un travail mécanique généralement insuffisant avec les farines actuelles dont le gluten est relativement tenace.

-Le pétrissage intensifié : donne des pâtes suroxydées et un pain volumineux blanc mais insipide.

-Le pétrissage amélioré : assure un meilleur équilibre entre le développement de la pâte et la conservation de sa texture, de son goût et de ses arômes (**Laabidi, 2007**).

L'étape de pétrissage assure quatre fonctions liées, essentielles pour l'obtention d'une pâte bien aérée :

- Le mélange des différents ingrédients en une pâte homogène.
- Le développement du réseau de gluten.
- La structuration du réseau protéique.
- L'incorporation de l'air dans la pâte pour favoriser la multiplication des levures (**Menasra, 2020**).

II.4.3. Fermentation

La fermentation a pour but d'enrichir la pâte en dioxyde de carbone. Elle provoque une perte en matière totale (de l'ordre de 2 à 3%) par transformation des sucres en alcool et acides carboniques volatils (**Ndangui, 2015**).

La pâte des biscuits pétrie est transférée dans une cuve à 25 °C pendant une durée variable pour permettre la fermentation. Cette dernière fournit une pâte extensible, lisse avec une bonne rétention des gaz (**Khaneghah et al., 2018**).

II.4.4. Laminage

Le laminage est le processus qui permet d'obtenir des feuilles d'épaisseur presque uniforme par l'application d'une force de compression continue. L'épaisseur souhaitée de la feuille de pâte est obtenue en faisant passer la feuille à travers une série de "rouleaux de calibrage" (**Misra et Tiwari, 2014**).

II.4.5. Découpage

Les feuilles de pâte passent dans des rouleaux de découpe qui coupent la pâte dans les formes souhaitées. Les coupe-pâte sont généralement des cylindres en acier inoxydable sur lesquels sont gravées les formes souhaitées. Les moules sont utilisés pour les pâtes courtes alors que les emporte-pièces sont utilisés pour les biscuits à pâte dure (**Manley, 2001**).

II.4.6. Cuisson

La cuisson est une étape complexe auquel une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques ont lieu, telles que l'expansion du produit, la perte d'eau par évaporation, la formation d'une structure alvéolaire plus ou moins développée, la

dénaturation des protéines, la gélatinisation de l'amidon, la formation d'une croûte et les réactions de coloration (Ndangui, 2015).

La température de cuisson se situe entre 180 et 250 °C durant 20 à 30 min, elle dépend du four et du produit. La température du four influence sur la qualité du produit. Une température trop basse provoque une diminution du volume du pain. Cependant, une température trop élevée, une croûte se forme rapidement bien que l'intérieur reste encore cru (Meziani, 2011).

II.4.7. Refroidissement

Après la cuisson au four, la plupart des biscuits sont refroidis avant l'emballage pour plusieurs raisons :

- Les produits ne peuvent pas supporter le processus d'emballage chaud ferme.
- Le matériau d'emballage peut rétrécir autour d'un produit chaud ou la qualité des produits détériorerait.

Les produits sont refroidis naturellement dans l'atmosphère ambiante à l'aide d'un convoyeur ouvert, dans quelques cas, il est nécessaire de fournir l'air pour accélérer le processus de refroidissement (Manley, 1998b; Manley, 1998).

II.4.8. Conditionnement et conservation de biscuit

La conservation des biscuits doit se faire à l'abri de l'humidité. En raison de leurs composants sensibles aux réactions d'oxydation et à la lumière ; son conditionnement doit donc être adéquat (Fredot, 2005).

Les biscuits secs peuvent se conserver de 5 à 6 mois. La conservation prolongée d'aliment contenant des corps gras provoque la formation de composés volatils responsable de l'odeur de rance (Benkadri, 2010).

II.4. Critères de qualité des biscuits

Dans les procédés industriels, dont font partie les industries de la biscuiterie, la productibilité des lignes dépend du respect des critères de qualité des produits fabriqués. Ces critères comprennent le goût, l'arôme, la texture, la couleur et le contenu en éléments nutritifs (Menasra, 2020).

Matériel et méthodes

III. Préparation des poudres d'enrichissement

Les matrices végétales sont broyées à l'aide d'un broyeur électrique puis les poudres obtenues sont tamisées pour obtenir une granulométrie $\leq 500 \mu\text{m}$; qui seront utilisées pour la préparation des extraits bruts.

Les poudres obtenues sont conservées dans des sachets en papier à l'abri de la lumière pour éviter la photo oxydation des substances actives contenues dans la poudre.

III.1. Détermination des propriétés fonctionnelles des poudres

III.1.1. Densité apparente (DA)

La densité apparente (DA) est déterminée selon la méthode décrite par **Chinma et al. (2009)**.

Une éprouvette graduée de 10 ml est préalablement pesée (m_0 (g)) est remplie de poudre jusqu'à un volume connu V (ml), puis repesée (m_1 (g)).

La densité apparente est calculée selon l'équation suivante :

$$DA(g/cm^3) = \frac{(m_1 - m_0)}{V} \quad (1)$$

III.1.2. Capacité d'absorption d'eau (CAE) et d'huile (CAH)

Les méthodes décrites par **Zouari et al. (2016)** ont été appliquées. Brièvement, 1 g de poudre (m_0) est mélangée avec 10 mL d'eau distillée ou d'huile végétale, la suspension est mélangée au vortex puis laissée reposer pendant 30 min. Après centrifugation (5000 trs/30 min), le surnageant est éliminé et le culot est récupéré puis séché dans une étuve à 105 °C pendant 30 minutes. La masse de culot séché est mesurée (m_1 (g)) (**Zouari et al., 2016; Zidani, 2019**).

La capacité d'absorption d'eau (CAE) ou la capacité d'absorption d'huile (CAH) est exprimés en g d'eau ou d'huile absorbé par g de la poudre selon la formule suivante :

$$CAE(g/g) = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (2)$$

III.1.3. Capacité de gonflement(CG)

La méthode décrite par **Mateos-Aparicio et al. (2010)** et **Ouazib (2016)** a été utilisée pour déterminer la capacité de gonflement des poudres préparées. Dans une éprouvette graduée, 100 mg de poudre (P (g)) sont hydratés dans un 10 mL d'eau distillée, puis le volume (V_0 (mL)) occupé par le mélange est mesuré. Après 18 h, le volume final

(V1 (mL)) est mesuré. La capacité de gonflement (CG) est déterminée par la formule suivante :

$$CG (\%) = \frac{(V1 - V0)}{P} \times 100 \quad (3)$$

III.1.4. Capacité moussante (CM)

La capacité moussante est déterminée selon la méthode décrite par **Elkhalifa et Bernhardt (2010)** et **Ouazib (2016)**. 1 g de la poudre est dispersé dans 50 mL d'eau distillée puis fouetté à l'aide d'un batteur pendant 1 min. Le volume final (VF (mL)) est mesuré dans une éprouvette graduée. La capacité moussante (CM) est calculée selon la formule suivante :

$$CM (\%) = \frac{(Vf - Vi)}{Vi} \times 100 \quad (4)$$

III.2. Caractérisations physicochimiques des poudres

III.2.1. Détermination de la teneur en cendres

- **Principe**

La teneur en cendres est déterminée selon la méthode 930.22 de l'**AACC (2000)**. Le dosage des cendres est basé sur la destruction de la matière organique par l'incinération dans un four à moufle (**Saadoudi, 2019**).

- **Mode opératoire**

Une quantité de 5 g de l'échantillon est mise dans un creuset préalablement taré. Les creusets ont été fait passer au four à une température de 550 °C jusqu'à l'obtention d'un résidu blanchâtre. Ensuite, ils étaient retirés et refroidis au dessiccateur avant d'être repesés. Les résultats sont exprimés comme suit :

$$MO (\%) = \frac{M1 - M2}{P} \times 100 \quad (5)$$

Où :

MO (%) : matière organique.

M1 (g) : masse de la capsule + l'échantillon.

M2 (g) : masse de la capsule + cendres.

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

La teneur en cendres est calculée par la formule suivante :

$$Cendres (\%) = 100 - MO \quad (6)$$

III.2.2. pH

Les échantillons ont été caractérisés pour le pH selon la méthode n° 02-52 de l'AACC (2000). En utilisant un pH-mètre avec une électrode combinée.

- **Principe**

La détermination en unité pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes prolongées dans une solution d'échantillon broyé.

- **Mode opératoire**

10 g d'échantillon broyé sont ajoutés 25 ml d'eau distillée. Le mélange est agité pendant une demi-heure et le pH est mesuré à l'aide un pH mètre (Amellal, 2008).

III.2.3. Degré Brix

- **Principe**

Le degré Brix ou le résidu sec soluble (déterminé par réfractométrie) est la concentration en saccharose d'une solution aqueuse. Cette concentration est déterminée par la méthode d'AFNOR (1970) et exprimée en pourcentage de masse.

- **Mode opératoire**

Elle consiste à bien mélanger 1 g d'échantillon avec 10 mL d'eau distillée. Puis, une goutte du mélange est placée sur la surface du prisme du réfractomètre pour mesurer la valeur.

III.2.4. Détermination de la teneur en eau

- **Principe**

La détermination de la teneur en eau est effectuée selon la méthode 44-19.01 de l'AACC (2000, 2012). L'échantillon à analyser a subi une dessiccation dans une étuve à une température de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'utiliser un dessiccateur (Saadoudi, 2019). La teneur en eau est la différence entre le poids de l'échantillon avant et après la dessiccation lorsque leur poids est constant.

- **Mode opératoire**

Les capsules vides ont été séchées dans l'étuve pendant 15 minutes puis laissées refroidir au dessiccateur. Ensuite, 5 g de l'échantillon ont été pesé et les capsules été introduite dans l'étuve à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ et séchées jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les

capsules ont été laissé refroidir avant de les peser dans un dessiccateur et évaluer la quantité d'eau évaporée. Les résultats ont été exprimés comme suit :

$$H (\%) = \frac{M1-M2}{P} \times 100 \quad (7)$$

Où :

H (%) : humidité.

M1 (g) : masse de la capsule + l'échantillon avant étuvage.

M2 (g) : masse de l'ensemble après l'étuvage.

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

La teneur en matière sèche (MS) est calculée selon la relation suivante :

$$\text{Matière sèche (\%)} = 100 - H (\%) \quad (8)$$

III.2.5. Dosage des sucres totaux

- **Principe**

Le dosage des monosaccharides constitutifs des polysaccharides nécessite la rupture de toutes les liaisons glycosidiques par hydrolyse acide (l'acide sulfurique). L'analyse repose sur des techniques colorimétriques. Le principe des dosages colorimétriques se base sur la condensation par estérification d'un chromogène (phénol, orcinol, anthrone) avec les produits de déshydratation des pentoses, hexoses et acides uroniques. En milieu acide fort et à chaud, ces oses se déshydratent respectivement en des dérivés du furfural, 5- hydroxyméthyl-furfural et de l'acide 5- formylfuroïque. Les chromophores ainsi formés de couleur jaune- orange absorbent dans le domaine du visible proportionnellement avec la quantité des sucres présents (**Ruiz, 2005**).

- **Mode opératoire**

L'extrait (200 µL) est mélangé avec 400 µL de phénol à 5% et 2 mL d'acide sulfurique H₂SO₄ concentré (95-98%). Le mélange est chauffé dans un bain Marie à 100 °C pendant 5 minutes. Après refroidissement, l'absorbance est mesurée à 490 nm (**Dubois et al., 1956**).

III.2.6. Détermination de la teneur en protéines

- **Principe**

L'estimation des concentrations des protéines est réalisée selon la méthode de dosage de Bradford.

C'est une méthode spectrophotométrique, elle est utilisée pour déterminer les concentrations de protéines en solution ; elle est basée sur le changement d'absorbance observé dans une solution acide de colorant Coomassie Blue G-250. Une fois ajouté à une solution de protéine, le colorant se lie à la protéine, ce qui donne une couleur qui passe d'un marron rougeâtre au bleu (**Bonjoch et Tamayo, 2001**).

- **Mode opératoire**

L'extrait est préparé après avoir mélangé 1 g de la poudre avec 50 mL d'eau distillée. Le mélange est agité pendant 30 minutes puis filtrer et 500 µL d'extrait sont ajoutés à 2 ml de réactif de Bradford. Le mélange est incubé pendant 5 minutes à l'obscurité après agitation et l'absorbance est mesurée à 595 nm (**Bradford, 1976**).

III.3. Analyses phytochimiques

III.3.1. Extraction par ultrasons

- **Mode opératoire**

La poudre des échantillons (10 g) a été mélangée avec 100 ml de mélange éthanol-eau dans un tube, puis immergée dans un bain ultrasons (300 W) et irradié à une puissance de 50 Hz à 53 °C pendant 60 min. Après l'extraction, les mélanges ont été filtrés et les filtrats ont été recueillis et séchés dans une étuve à 40°C et conservés à 4 °C (**Brahmi et al., 2022**).

III.3.2. Dosage des polyphénols totaux

- **Principe**

Les polyphénols sont estimés par la méthode de Folin Ciocalteu. Ce dosage repose sur le réactif de Folin Ciocalteu (couleur jaune) qui est composé d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Lorsque les polyphénols sont oxydés, ils réduisent le réactif Folin-Ciocalteu en un complexe ayant une couleur bleue constitué d'oxyde de tungstène et de molybdène. L'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux

des composés phénoliques oxydés (**Rakic et al., 2006 ; Ghaderi-Ghahfarrokhi et al., 2017**).

- **Mode opératoire**

Une quantité de 250 µL de l'extrait est mélangé avec 1250 µL du réactif de Folin Ciocalteu dilué 1/10. 1 ml de carbonate de sodium à 7,5% (Na₂ CO₃).

L'ensemble est incubé à 50°C pendant 15 minutes.

Après refroidissement, la lecture est effectuée contre un blanc à 765 nm. La concentration en polyphénols totaux est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (Annexe I.3) et les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent acide gallique par 100 grammes de matière sèche (mg EAG/100 g MS) (**Brahmi et al., 2015**).

III.3.3. Dosage des flavonoïdes

- **Principe**

L'estimation de la teneur en flavonoïdes contenus dans les extraits est réalisée par la méthode du trichlorure d'aluminium (AlCl₃) (**Bahorun et al., 1996**). Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygènes de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribéreau, 1968**).

- **Mode opératoire**

L'extrait (1 mL) de la plante est mélangé à 1 ml de la solution de AlCl₃ à 2% dans un tube à essai. Le mélange est incubé pendant 5 min à température ambiante.

Les absorbances ont été lues à partir du spectrophotomètre UV-visible à 430 nm et la teneur en flavonoïdes de l'extrait a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine (Annexe I.3). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent quercétine par 100 grammes de matière sèche (mg EQ/ 100 g MS) (**Brahmi et al., 2015**).

III.3.4. Dosage des flavonols

- **Mode opératoire**

La teneur en flavonols est déterminée selon la méthode rapportée par Djeridane et al. (2006). L'extrait (500 μ L) est mélangé avec trichlorure d'aluminium à 2% et 750 μ L d'acétate de sodium ont été ajoutés. Le mélange est incubé à température ambiante pendant 30 min. L'absorbance est mesurée à 440 nm et les résultats ont été exprimés en mg équivalent de quercétine/g MS à l'aide d'une courbe d'étalonnage (Annexe I.4) (**Kumaran et Karunakaran, 2007**).

III.3.5. Dosage des tannins condensés

- **Principe**

Les tanins condensés aussi connus sous le nom de proanthocyanidines sont des polymères difficilement caractérisés. Leur dosage nécessite l'hydrolyse des échantillons en milieu acide et à chaud pour une dépolymérisation oxydative donnant des anthocyanidines colorées permettant de les quantifier par spectrophotométrique (**Wilfred et Ralph, 2006**).

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode à la vanilline en milieu acide, basée sur la capacité de celle-ci à réagir avec les unités des tanins condensés en présence d'acide pour produire un complexe coloré qui absorbe à 550 nm. La réactivité de la vanilline avec les tanins n'implique que la première unité du polymère (**Julkunen-Titto, 1985**).

- **Mode opératoire**

L'extrait (50 μ L) est mélangé avec 1500 μ L de la solution de vanilline/méthanol (4%). Le mélange est agité au vortex puis incubé à 4°C pendant 24 heures. L'acide chlorhydrique concentré (750 μ L) est ajouté et le mélange est laissé réagir pendant 20 minutes à température ambiante. L'absorbance est mesurée à 550 nm et la teneur en tannins condensés est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la catéchine (Annexe I.5). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent catéchine par 100 grammes de matière sèche (mg EC/100 g MS) (**Julkunen- Titto, 1985**).

III.4. Evaluation de l'activité antioxydante

III.4.1. Test au phosphomolybdate

- **Principe**

La capacité antioxydante de l'échantillon a été mesurée par spectrophotométrie à l'aide de la méthode du phosphomolybdène qui basée sur la réduction du Mo (VI) en Mo (V)

par l'échantillon testé et la formation subséquente de composés phosphate/Mo (V) de couleur vert bleuté avec une absorption maximale à 695 nm. La méthode du phosphomolybdène est quantitative et permet de déterminer l'activité antioxydante en termes de réduction du molybdène (Prieto *et al.*, 1999).

- **Mode opératoire**

L'extrait (100 μ L) à différentes concentrations est ajouté à 1 ml de mélange réactif. Le mélange est incubé dans un bain Marie à 90 °C pendant 90 min. Après refroidissement, la lecture est effectuée à 695 nm. La valeur d'IC₅₀ est la concentration efficace à laquelle l'absorbance était de 0,5 (Brahmi *et al.*, 2014).

III.4.2. Test de piégeage du DPPH

- **Principe**

Le DPPH est un radical libre stable violet en solution, il présente une absorbance caractéristique dans un intervalle compris entre 512 et 517 nm, cette couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en diphényle picryl-hydrazine par un composé à propriété anti-radicalaire, entraînant ainsi une décoloration (Figure 03). L'intensité de la couleur est proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons (Sanchez-Moreno, 2002).

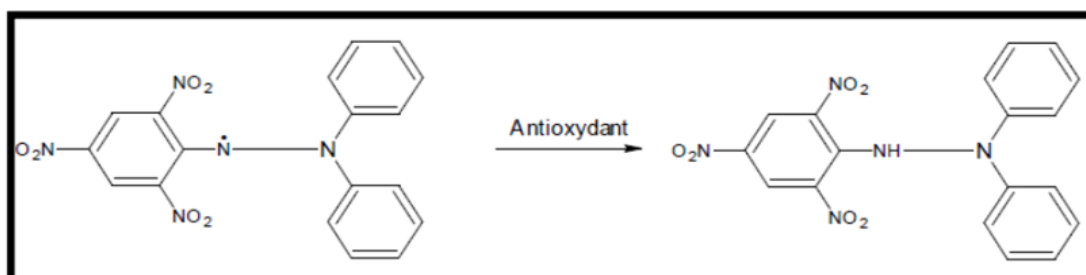


Figure 03: Réduction du radical libre DPPH (Benattia, 2017).

- **Mode opératoire**

L'activité de balayage du radical DPPH a été déterminée selon méthode proposée par Blois (1958). Un volume (2 mL) de différentes concentrations des extraits est ajouté à 150 μ L de la solution de DPPH (10^{-3} M). Les tubes à essai ont été maintenus dans l'obscurité à température ambiante pendant 1 h. L'absorbance a été mesurée à 517 nm.

Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH par les échantillons été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Effet d'inhibition DPPH (\%)} = \frac{\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}}{\text{Abs contrôle}} \times 100$$

La concentration de l'extrait fournissant une inhibition de 50% (IC₅₀) a été obtenue en traçant le pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations de la solution d'extrait (Brahmi *et al.*, 2015).

III.4.3. Test à l'ABTS

- **Principe**

L'essai de piégeage du radical ABTS^{•+} comprend un processus qui génère un chromophore ABTS^{•+} bleu/vert/bleu vert par la réaction de l'ABTS et du persulfate de potassium. Le cation radical ABTS est produit par l'oxydation de l'ABTS avec le persulfate de potassium, la capacité de réduction du radical ABTS^{•+} est déterminée par la diminution de son absorbance depuis le don d'hydrogène à 734 nm, induite par les antioxydants. Elle est visible par un changement de couleur du bleu vert foncé à l'incolore (Re *et al.*, 1999).

- **Mode opératoire**

La solution stock d'ABTS est préparée après incubation à l'obscurité et à température ambiante pendant 12-16 h. La solution est ensuite diluée avec l'éthanol pour obtenir une absorbance de $0,70 \pm 0,02 \mu\text{m}$ à 734 nm.

Un volume de différentes concentrations des extraits (200 μL) est ajouté à 1800 μL de la solution d'ABTS. L'incubation est faite dans l'obscurité à température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance a été mesurée à 734 nm.

Le pourcentage d'inhibition pour les échantillons a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Effet d'inhibition (\%)} = \frac{\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}}{\text{Abs contrôle}} \times 100$$

La concentration de l'extrait fournissant une inhibition de 50 % (IC₅₀) a été obtenue

en traçant le pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations de la solution d'extrait (Brahmi *et al.*, 2015).

III.4.4. Test de réduction du fer (FRAP)

Ce test est basé sur la réaction de réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) présent dans le complexe ferrocyanure de potassium en fer ferreux (Fe^{2+}). La réaction est révélée par le virement de la couleur jaune du (Fe^{3+}) en couleur bleu vert du (Fe^{2+}), l'intensité de cette coloration est mesurée par spectrophotométrie à 700 nm. La variation d'absorbance est ainsi directement reliée au pouvoir réducteur total des antioxydants présents dans le milieu, le mécanisme est connu comme étant un indicateur de l'activité donatrice d'électrons, caractéristique de l'action antioxydante des polyphénols (Yıldırım *et al.*, 2001).

- **Mode opératoire**

Différentes concentrations des échantillons sont mélangées avec 1mL du tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 ml du ferricyanure de potassium [$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$] (1%). Ensuite, le mélange est incubé à 50 °C pendant 30 minutes. Après, 1,5 ml d'acide trichloracétique (TCA) (10%) est ajouté à 1,5 de la solution préparée. Cela est suivi de l'ajout de 1 de 1,5 ml 'eau distillée et de 0,5 ml de FeCl_3 (0,1 %). L'absorbance est mesurée à 700 nm après 10 min. La valeur d'IC₅₀ est la concentration efficace à laquelle l'absorbance était de 0,5 (Brahmi *et al.*, 2014).

III.5. Elaboration du biscuit

Le produit élaboré est une forme de biscuit standard avec une modification portant sur la substitution de la farine de blé par la poudre de fleurs, graines et tourteaux du figuier de barbarie (Tableau IV).

Tableau IV : Recette du biscuit témoin et des biscuits formulés aux poudres de fleurs, graines, tourteaux (Saadoudi, 2019)

Recette	Farine de blé (g)	Sucre (g)	Margarine (g)	Œufs (g)	Levure chimique(g)	Poudre d'enrichissement(g)
Témoin	230	50	100	54	10	0
Biscuits enrichis	161	50	100	54	10	69

Les étapes suivies dans la formulation sont indiquées dans la figure suivante :

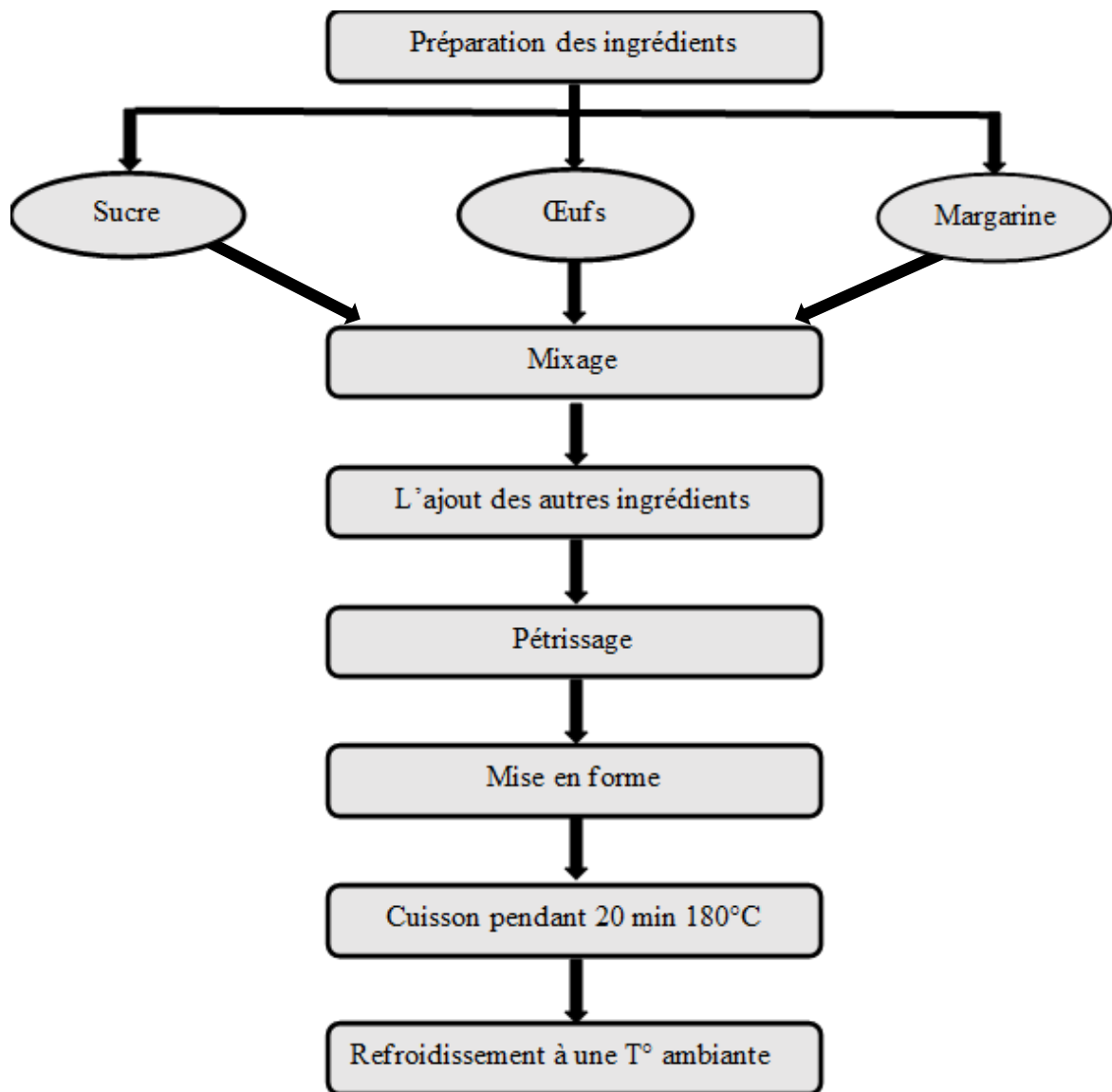


Figure 04 : Etapes suivies pour la formulation des biscuits avec les échantillons étudiés.

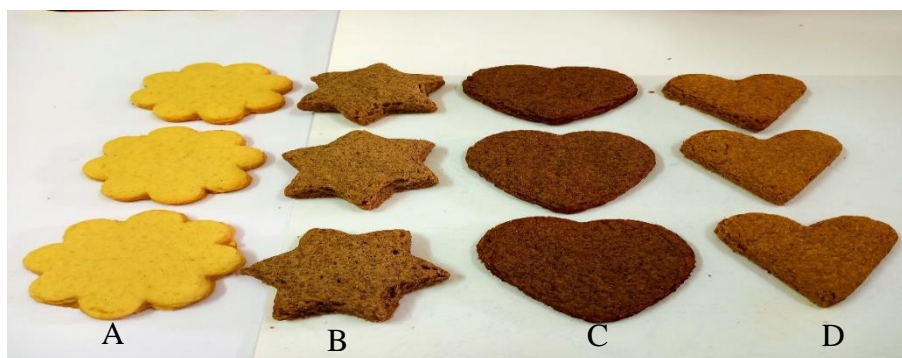


Figure 05: (A) biscuits témoin (B) biscuits enrichis en poudre des tourteaux (C) biscuits enrichis en poudre des graines (D) biscuits enrichis en poudre des fleurs.

III.6. Analyses du produit fini

III.6.1. Analyses physico-chimiques

Pour préparer les échantillons, nous avons broyé les biscuits à l'aide d'un broyeur puis les poudres obtenues sont tamisées pour obtenir une granulométrie de $< 500\mu\text{m}$.

Pour le produit fini nous avons déterminé les paramètres suivants en appliquant les mêmes protocoles expérimentaux d'analyses de la matière première et les tests réalisés sont comme suit :

- Le pH
- La teneur en eau
- La teneur en protéines
- Les cendres
- Test de piégeage du DPPH

III.6.2. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle des biscuits a été faite par un test de dégustation au biais d'un jury composé de 10 sujets (panel expert), qui sont des enseignantes et des ingénieures, d'âges différents, de département des sciences alimentaire de l'Université A. Mira de Bejaia. Chaque dégustateur reçoit 4 biscuits (biscuit témoin et biscuits enrichis) codés avec une lettre. Les biscuits sont codés comme suit : (A) pour le biscuit témoin, (B) pour les biscuits enrichis en poudre de tourteau, (C) pour les biscuits enrichis en poudre des graines, (D) pour les biscuits enrichis en poudre de fleurs *d'Opuntia ficus indica*. Ensuite, il est demandé à chaque dégustateur d'examiner et de goûter les biscuits successivement (de gauche à droite) puis répondre aux questions en attribuant une note de 1 à 5 selon l'échelle présentée, contenant toutes les informations relatives aux paramètres de dégustation la couleur, l'odeur, le goût, la texture et la forme (Annexe II).

Résultats et Discussion

IV.1. Analyses physico-chimiques et composition approximative des poudres

- **Propriétés physico-chimiques**

Les propriétés physico-chimiques des poudres de différents sous-produits de cactus sont données dans le tableau V.

Tableau V : Propriétés physico-chimiques des poudres de sous-produits de cactus.

Échantillon	Teneur en cendres (%)	pH	Brix°
Flours	6,54	4,532	2,6
Graines	2,2	5,911	0,7
Tourteaux	1,03	5,552	0,36

La détermination de la teneur en cendres nous éclaire sur la qualité nutritionnelle de l'échantillon à analyser. En effet, cette teneur doit avoir un seuil limitant pour la consommation humaine et animale.

D'après les résultats obtenus nous remarquons que la teneur en cendres la plus élevée est attribuée aux fleurs d'*OFI* suivie des graines puis de tourteaux. Ces résultats montrent que la teneur en cendres est importante dans les fleurs par rapport au résultat trouvé par **Ennouri et al. (2014)** (0,072%). La teneur en cendres des tourteaux se rapproche aux résultats trouvés par **Borchani et al. (2021)** et **Borchani (2022)** qui sont de 1.29%, 1,58 %, respectivement. En outre, **Nieddu et al. (1996)** et **Habibi (2008)** ont trouvé des valeurs élevées pour les graines qui sont de 8%, 3.28%, respectivement. La faible teneur en cendres des tourteaux pourrait résulter de l'extraction de l'huile comestible, où l'application d'une pression élevée (**Benhamou et al., 2021**).

Concernant le pH, d'après les résultats nous remarquons que le pH des trois échantillons est acide. La plus faible valeur est attribuée aux fleurs d'*OFI*, suivie par les tourteaux, puis des graines.

Les résultats de Brix obtenus dans cette étude nous montrent que le degré de Brix est important dans fleurs d'*OFI* par rapport aux graines et aux tourteaux mais ça reste des teneurs faibles en matières glucidiques (**Bousdira, 2007**).

- **Sucres totaux**

Les résultats de la teneur en sucres totaux sont exprimés en mg d'équivalent de D-glucose (mg ED-G/100g de MS) en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions et sont représentés dans la figure suivante :

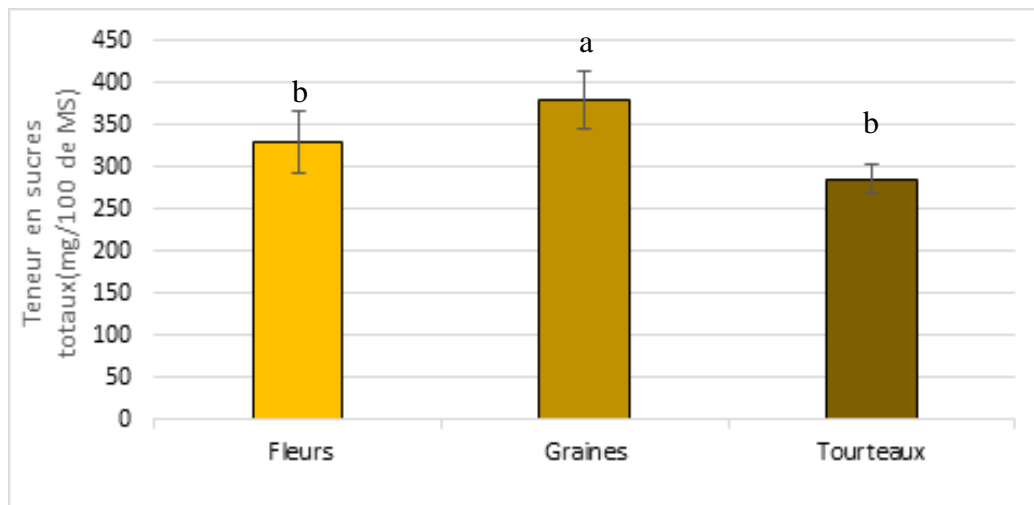


Figure 06 : Teneurs en sucres totaux des échantillons étudiés.

D'après l'histogramme (Figure 06), les teneurs en sucres totaux dans les fleurs et les tourteaux sont les plus faibles sans différence significative ($p \leq 0,05$) (328,95 et 285,9 mg /100 g MS, respectivement) par rapport aux graines qui présentent une différence significative ($p \leq 0,05$) avec une teneur de 378,84 mg /100 g.

D'après une étude réalisée par **Berrabah *et al.* (2019)** sur les fleurs d'*Opuntia ficus indica* appartenant à six différentes régions (Tizi Ouzou, Relizane, Ain Defla, Mascara, Tiaret, Msila), des teneurs faibles en sucres totaux sont obtenues et sont de 31 ; 44 ; 53 ; 36 ; 40 ; 54 mg /100 g, respectivement.

D'après l'étude de **Chahdoura *et al.* (2015)** sur les graines de deux variétés rouges d'*Opuntia* (*Opuntia microdasys* et *Opuntia macrorhiza*), des teneurs plus élevées qui sont de 1290 ; 480 mg /100g pour les deux variétés, respectivement sont trouvées.

La différence dans la valeur en glucides est probablement due aux conditions environnementales (sol, climat, etc.), aux modalités de dosage, au degré de maturation et aux différents traitements post-récolte (conditions de conservation, etc.) (**Aljane *et al.*, 2007 ; Aljane *et al.*, 2012 ; Gozlekci, 2011 ; Jiang *et al.*, 2013**).

- **Protéines**

Les résultats de la teneur en protéines sont exprimés en mg d'équivalent de ASB (mg EASB/100g de MS) en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions et sont représentés dans la figure suivante :

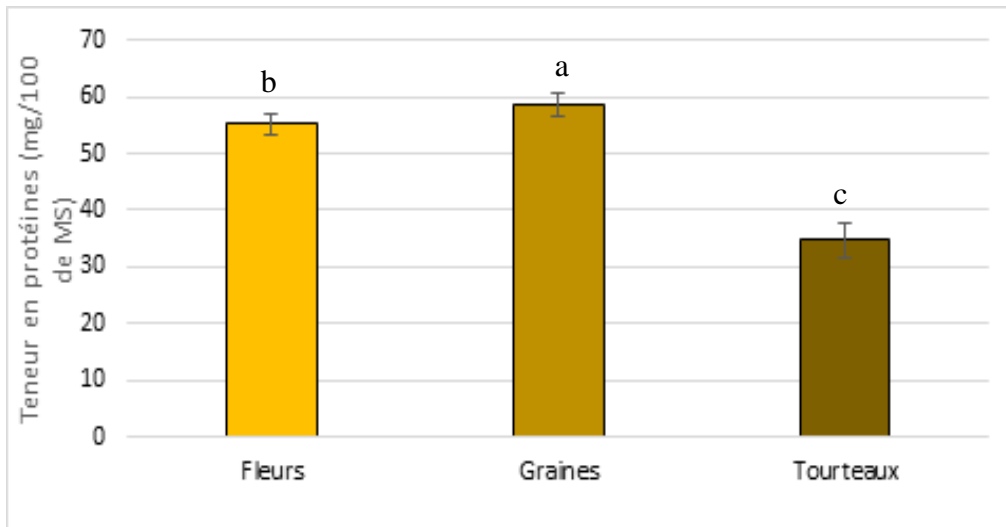


Figure 07 : Teneurs en protéines des échantillons étudiés.

L'histogramme montre que les graines d'*OFI* présentent la teneur la plus importante en protéines avec une valeur de 58,67 mg/100g de MS suivie des fleurs avec 55,2 mg/100g puis des tourteaux qui ont révélé une concentration de 34,67 mg /100 g de MS et qui sont significativement ($p \leq 0,05$) différentes.

Selon **Ennouri et al. (2014)**, les fleurs d'*OFI* contiennent environ 80 mg /100 g de MS de protéines. En outre **Borchani (2022)** a obtenu des teneurs très fortes en protéines pour les tourteaux de différentes variétés de figue de barbarie (OIy, OIp, OLi, OS) qui sont de l'ordre de 6500, 6970, 7070 et 7650 mg /100 g MS, respectivement. Par contre, **Salim et al. (2009)** ont trouvé que les graines contiennent une teneur de 4480 mg /100g de MS de protéines. Tous ces résultats sont supérieurs à ce que nous avons obtenus.

La différence dans la teneur en protéine peut être expliquée par les conditions d'analyse ; l'origine des cultivars et les conditions environnementales (**Saadoudi, 2019**).

IV.2. Propriétés fonctionnelles des poudres

Les propriétés fonctionnelles des poudres ont été également déterminées et sont enregistrés dans le tableau suivant :

Tableau VI : propriétés fonctionnelles des poudres.

Tests	Densité apparente (g/cm ³)	Capacité d'absorption d'eau (g/g)	Capacité d'absorption d'huile (g/g)	Capacité de gonflement (%)	Capacité moussante (%)
Fleurs	0,355	5,395	1,415	0	0
Graines	0,437	0,135	0,83	1	4
Tourteaux	0,522	0,425	0,82	0	0

Nous remarquons d'après les résultats obtenus que les tourteaux sont plus denses suivis des graines puis des fleurs d'*OFI*, et que ces dernières ont la capacité d'absorption d'eau et d'huile la plus élevée, alors que les tourteaux absorbent l'eau mieux que les graines.

La capacité de rétention d'eau des farines joue un rôle important dans les formulations alimentaires car elle touche les propriétés physicochimiques et sensorielles (friabilité, tendreté...) du produit fini, elle dépend de la structure des macromolécules de nature protéique et polysaccharidique. En outre, l'utilisation des farines dans une formulation alimentaire est liée à son interaction avec l'eau (Menasra, 2020 ; Zidani, 2019). L'absorption d'eau est un facteur de qualité très essentiel dans les produits de boulangerie (Menasra, 2020).

La capacité à retenir l'huile est liée à la nature et à la teneur en protéines, en fibres et en amidon et aussi aux traitements technologiques appliqués au cours de la préparation des poudres alimentaires (Ma *et al.*, 2011; Vioque *et al.*, 2012).

Kinsella et Melachouris (1976) ont rapporté que la capacité à retenir l'huile ou la matière grasse est une caractéristique importante dans la formulation des aliments pour conserver leur saveur et améliorer leur sensation en bouche. Une farine a capacité d'absorption d'huile élevée pourrait être utile dans les produits de boulangerie nécessitant une forte capacité de rétention d'huile, tels que les sablés etc. (Oppong *et al.*, 2015).

Nous avons constaté que les trois échantillons ne présentent pas une capacité de gonflement.

La poudre des graines avait une capacité de moussage élevée en comparaison à la poudre de fleurs d'*OFI* et des tourteaux. La valeur faible des capacités de moussage pourrait être due à la faible teneur en amidon et en protéines (Awad-Allah, 2013).

IV.3. Analyse phytochimique

IV.3.1. Polyphénols totaux

Les résultats de la teneur en polyphénols totaux sont exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique (mg EAG/100g de MS) en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions et sont représentés dans la figure suivante :

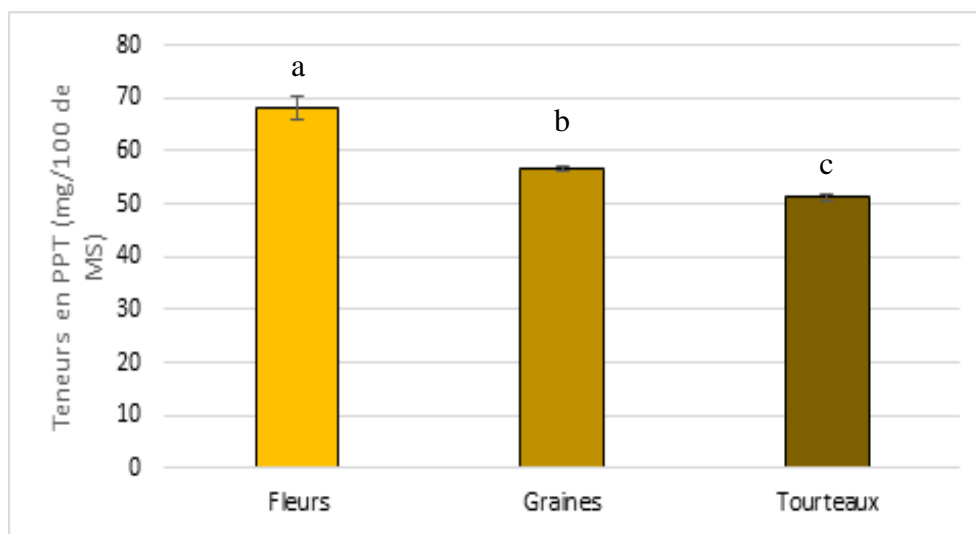


Figure 08 : Teneurs en polyphénols totaux des échantillons étudiés.

Comme le montre l'histogramme (Figure 08), les teneurs en polyphénols totaux dans les extraits des trois échantillons diffèrent et présentent des différences significatives ($p \leq 0,05$). Les fleurs ont présenté la plus grande teneur, qui est de 68,08 mg EAG/100g MS. Elles sont suivies par les graines qui donnent une quantité de 56,8 mg EAG/100g MS. Cependant, la teneur la plus faible a été attribuée aux tourteaux qui est de 51,2 mg EAG/100g MS.

Selon Benayada *et al.* (2014) qui ont réalisé une étude sur l'extraction des composés phénoliques des fleurs d'*OFI* par deux méthodes (macération et extraction accélérée des solvants (ASE)), les extraits acétoniques ont donné les plus grandes quantités (285 et 318 mg EAG /100 g MS pour les deux techniques, respectivement) par rapport aux extraits

méthanolique (234 et 240 mg EAG/100 g MS, respectivement). Tandis que **Bousbia et al. (2022)** ont obtenu une teneur élevée qui est de 737.76 mg EAG/100 g MS. Ces résultats sont bien supérieurs aux résultats que nous avons trouvés.

Selon **Ramírez-Moreno et al. (2011)**, les teneurs en polyphénols totaux des graines des deux variétés de cactus (*Opuntia albicarpa*, *Opuntia ficus indica*) sont respectivement de 161 et 147 mg EAG/100g MS. En outre, **Bousbia et al. (2022)** ont trouvé une teneur de 115.74 mg EAG/100 g MS. Ces résultats sont bien supérieurs au résultat que nous avons déterminé.

D'après une étude réalisée par **Chougui et al. (2013)** sur quatre variétés d'*OFI* qui se distinguent par leur couleurs (vert, jaune, orange, rouge), les teneurs en polyphénols totaux des graines étaient : 61, 74, 89 et 48 mg EAG/100 g MS. De ce fait, notre résultat reste inférieur aux teneurs des trois variétés (vert, jaune, orange) et supérieur à la variété de couleur rouge.

La teneur en polyphénols totaux des tourteaux est bien inférieure aux résultats trouvés par **Borchani (2022)**, qui a réalisé une étude sur les tourteaux de graines des différentes variétés de figue de barbarie (OIy, OIp, OIi, OS). Il a révélé des teneurs en polyphénols totaux de : 148,43, 113,80, 180,81 et 143,74 mg EAG/100g MS, respectivement.

La différence de la quantité des composés phénoliques des extraits de plantes est due probablement à : leur origine (**Ebrahimzadeh et al., 2008**), la variété, la saison de culture, la saison de récolte, les conditions climatiques et environnementales, la localisation géographique, les différentes maladies qui peuvent affecter la plante, la maturité de la plante (**Park et Cha, 2003**) et la durée de conservation. Les méthodes d'extraction ou d'analyse et la nature de solvant peuvent avoir également un effet (**Falleh et al., 2008**).

IV.3.2. Flavonoïdes

Les résultats de la teneur en flavonoïdes sont exprimés en mg d'équivalent de Quercétine (mg EQ/100g de MS) en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions et sont représentés dans la figure suivante :

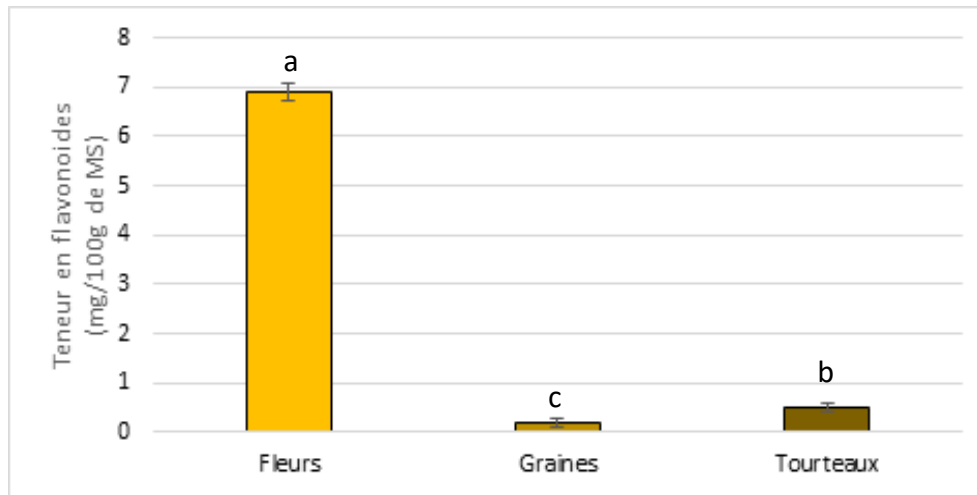


Figure 09 : Teneurs en flavonoïdes des échantillons étudiés.

L'histogramme montre que les fleurs d'*OFI* présentent la teneur la plus importante en flavonoïdes avec une valeur de 6,91 mg EQ/100 g de MS suivie des tourteaux et des graines qui ont révélé des concentrations en flavonoïdes faibles et significativement différentes ($p \leq 0,05$) qui sont respectivement de 0,5 et 0,2 mg EQ/100g de MS.

Le taux des flavonoïdes noté pour les fleurs d'*OFI* est inférieure part apport à la valeur rapportée par **Bousbia et al. (2022)** qui est de 75.05 mg QE /100g de MS. En outre, **Berrabah et al. (2019)** dans leur recherche sur la teneur en flavonoïdes des fleurs d'*OFI* de différentes régions (Tizi Ouzou, Relizane, Ain Defla, Mascara, Tiaret, Msila) ont enregistré des valeurs de l'ordre de 80, 54, 95, 69, 51 et 96 mg QE/100g de MS, respectivement. Aussi, **Brahmi et al. (2022)** dans leur étude sur les méthodes d'extraction (macération, Soxhlet et ultrasons) ont trouvé des concentrations de 196 ; 105 ; 970 mg QE /100g de MS, respectivement.

Benayad (2014) qui a utilisé deux méthodes d'extraction (macération et extraction accélérée des solvants) a constaté que les extraits acétoniques ont donné les plus grandes teneurs en flavonoïdes (158 et 148 mg CE/100 g MS pour les deux techniques, respectivement) par rapport aux extraits méthanolique (78 et 80 mg CE/100g MS).

Le taux des flavonoïdes noté pour les graines est inférieur à celui enregistré par **Bousbia et al. (2022)** qui ont noté un taux de l'ordre de 3,99 mg EQ/100 g de MS. Ce taux est aussi inférieur par rapport aux valeurs rapportées par **Chougui et al. (2013)** pour les différentes variétés d'*OFI* qui se distinguent par leur couleurs (vert, jaune, orange, rouge) qui sont de l'ordre de 1,5 ; 1,9 ; 2.6 et 1,5 mg QE /100 g de MS, respectivement.

Le taux des flavonoïdes noté pour les tourteaux est inférieur par rapport aux valeurs rapportées par **Borchani (2022)** pour plusieurs variétés de figue de barbarie (OIy, OIp, OLi OS) qui sont de l'ordre de 53,15 ; 40,96 ; 56,48 et 59,47 mg QE /100g de MS, respectivement.

Les flavonoïdes sont très présents dans les feuilles, les graines, l'écorce et les fleurs des plantes, abondants dans les légumes et présents dans les aliments d'origine végétale (fruits, céréales, légumineuses, fruits à coque, etc.) et les boissons. Cette présence est largement influencée par des facteurs génétiques et environnementaux. Comme pour les fruits et légumes, le type de flavonoïdes et leur teneur varient selon les cultivars (**Bousbia et al., 2022**).

Ces différences peuvent être aussi attribuées à l'origine géographique des fruits, le degré de maturité et les conditions de stockage, les protocoles d'extraction et aux essais analytiques (**Chougui et al., 2013**).

IV.3.3. Flavonols

Les résultats de la teneur en flavonols sont exprimés en mg d'équivalent de Quercétine (mg EQ/100gde MS) en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions sont représentés dans la figure suivante :

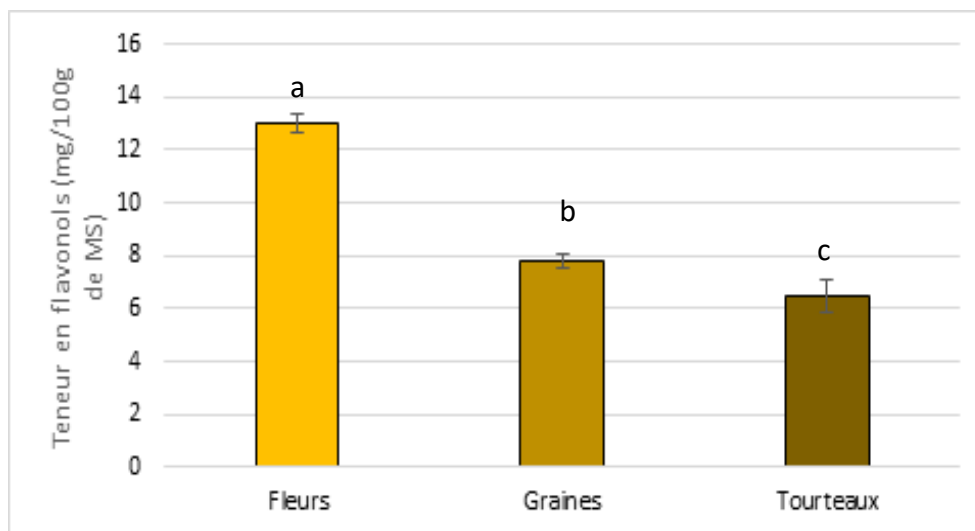


Figure 10 : Teneurs en flavonols des échantillons étudiés.

Les résultats obtenus montrent que les fleurs d'*OFI* sont plus riches en flavonols avec une valeur de 13,05 mg EQ/100g de MS suivie des graines avec 7,82 mg EQ/100 g de MS

puis des tourteaux avec 6,45 mg EQ/100g de MS avec une différence significative ($p \leq 0,05$).

IV.3.4. Tannins condensés

Les résultats de la teneur en tannins condensés sont exprimés en mg d'équivalent de Catéchine (mg CE/100g de MS) en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions sont représentés dans la figure suivante :

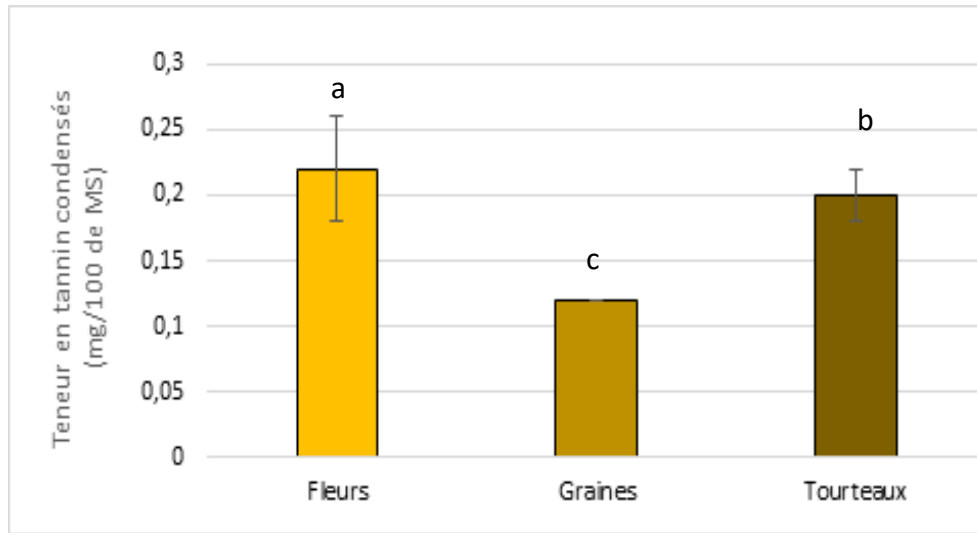


Figure 11 : Teneurs en tannins condensés des échantillons étudiés.

L'histogramme montre que les fleurs d'*OFI* présentent la teneur la plus élevée en tannins condensés qui est de 0,22 mg/100 g de MS suivie des tourteaux avec une valeur proche qui est égale à 0,2 mg/100 g puis des graines qui ont révélé une concentration de 0,12 mg /100 g de MS et significativement différentes ($p \leq 0,05$).

Berrabah *et al.*, (2019) dans leurs recherches sur la teneur en tannins condensés des extraits méthanoliques des fleurs d'*OFI* de plusieurs régions (Tizi Ouzou, Relizane, Ain Defla, Mascara, Tiaret, Msila) ont enregistré des valeurs de l'ordre de 7762 ; 2786 ; 5186 ; 5857 ; 3952 et 4048 mg CE/100 g de MS, respectivement.

Chougui *et al.*, (2013) dans leur étude sur les graines de variétés d'*OFI* (vert, jaune, orange, rouge) ont trouvé des concentrations en tannins condensés de l'ordre de 4,5 ; 4,8 ; 6,6 et 4,1 mg CE/100 g de MS, respectivement.

Cardador-Martínez *et al.* (2011) dans leur étude sur trois variétés d'*Opuntia* spp (Pelón-Liso, Cristalina, Montesa) ont trouvé que la teneur en tannins condensés des graines

est de 171 ; 174 et 172 mg CE/100g de MS, respectivement. Tous ces résultats sont supérieurs à ce que vous avons trouvé.

La concentration des tannins varie considérablement entre les différentes espèces végétales, comme elle dépend du stade de développement végétatif, du degré de maturité, de l'âge des feuilles, des fleurs et de la saison pour la même espèce. Les conditions environnementales présentent elles aussi l'un des principaux facteurs de variation (Skadhauge *et al.*, 1997).

IV.4. Activité antioxydante

IV.4.1. Evaluation de l'activité antioxydante par le test au phosphomolybdate

Les résultats de l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits des trois sous-produits de cactus sont consignés dans la figure suivante :

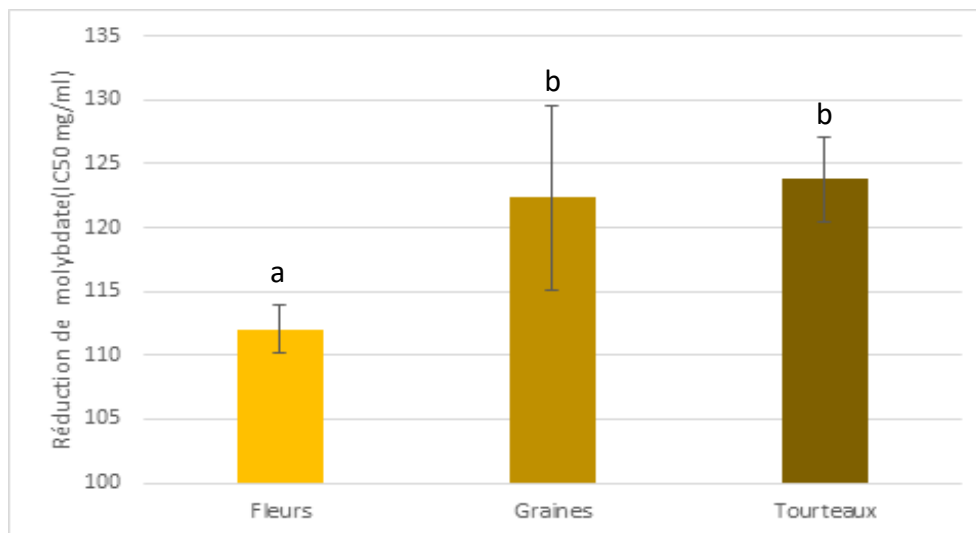


Figure 12 : Réduction de molybdate des échantillons étudiés.

L'histogramme montre que les fleurs d'*OFI* sont les plus actives puis les graines avec des valeurs d'IC₅₀ de 112,03 et 118,64 mg/mL, respectivement sans différence significative ($p \leq 0,05$). Par contre, les tourteaux présentent l'activité antioxydante la plus faible, dans ce test, avec une IC₅₀ de 176,89 mg/mL.

Bousbia *et al.* (2022) ont trouvé une activité antioxydante pour les fleurs et les graines avec des valeurs de 12,89 ; 6,44 mg AAE/mL MS, respectivement.

IV.4.2. Evaluation de l'activité antioxydante par le test au DPPH

L'activité anti-radicalaire a été exprimée également sous forme d'IC₅₀ (mg/mL) qui la concentration nécessaire pour provoquer une réduction de 50% du radical DPPH (Figure 13).

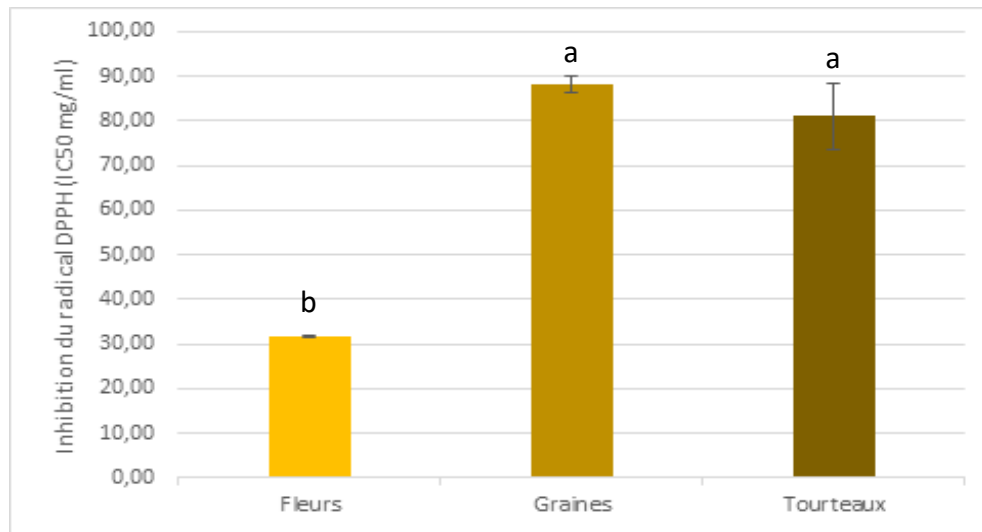


Figure 13 : Inhibition du DPPH* des échantillons étudiés.

D'après l'histogramme ci-dessus, nous remarquons que les fleurs d'*OFI* sont les plus actives et présentent une différence significative ($p \leq 0,05$) avec une concentration égale à 31,62 mg/mL. Par contre, les graines et les tourteaux ont la plus faible activité anti radicalaire avec des IC₅₀ de l'ordre de 88,10 et 81,01 mg/mL, respectivement sans différence significative ($p \leq 0,05$).

L'activité anti radicalaire des fleurs notée est inférieure aux résultats trouvés par **Berrabah et al. (2019)** sur les fleurs d'*OFI* appartenant à six différentes régions qui sont de l'ordre de 2,85 ; 7,41 ; 7,98 ; 7,95 ; 9,1 et 3.67 mg/mL, respectivement et **Bousbia et al. (2022)** qui ont trouvé une valeur seulement de 0,37 mg/mL. **Chahdoura et al. (2015)** d'après leurs études sur les graines de deux variétés rouges d'*Opuntia* (*Opuntia microdasys* et *Opuntia macrorhiza*), ils ont estimé un meilleur effet de piégeage des radicaux DPPH avec des concentrations de 1,10 et 0,60 mg /mL pour les deux variétés. Ainsi **Bousbia et al. (2022)** ont trouvé une valeur faible de 0,37 mg/mL.

Par contre, **Chougui et al. (2013)** ont trouvé pour les graines une faible activité antioxydante par rapport à **Bousbia et al. (2022)** (0,35 mg/mL). Les IC₅₀ des graines étaient : 52,3 ; 54,8 ; 49,6 et 68,4 mg/mL, respectivement pour les quatre variétés.

Selon l'étude réalisée par **Khaled (2023)** sur les tourteaux des graines d'*OFI*, une activité anti radicalaire élevée est notée avec une valeur égale à 1,62 mg EAG/mL MS.

L'activité antioxydante la plus élevée observée dans les fleurs d'*OFI* pourrait être associée à ses teneurs relativement plus élevées en composés phénoliques. Étant donné que l'influence de la composition phénolique d'un extrait sur la capacité antioxydante est bien connue (**Lien et al., 1999**). Il a été démontré que les molécules antioxydantes telles que l'acide ascorbique, flavonoïdes et les tanins réduisent et décolorent le DPPH en raison de leur capacité à céder l'hydrogène (**Bougandoura et Bendimerad, 2012**).

IV.4.3. Evaluation de l'activité antioxydant par le test d'ABTS

L'activité antioxydante a été exprimée également sous forme d'IC₅₀ (mg/mL) (Figure14) qui est la concentration nécessaire pour provoquer une réduction de 50% d'ABTS.

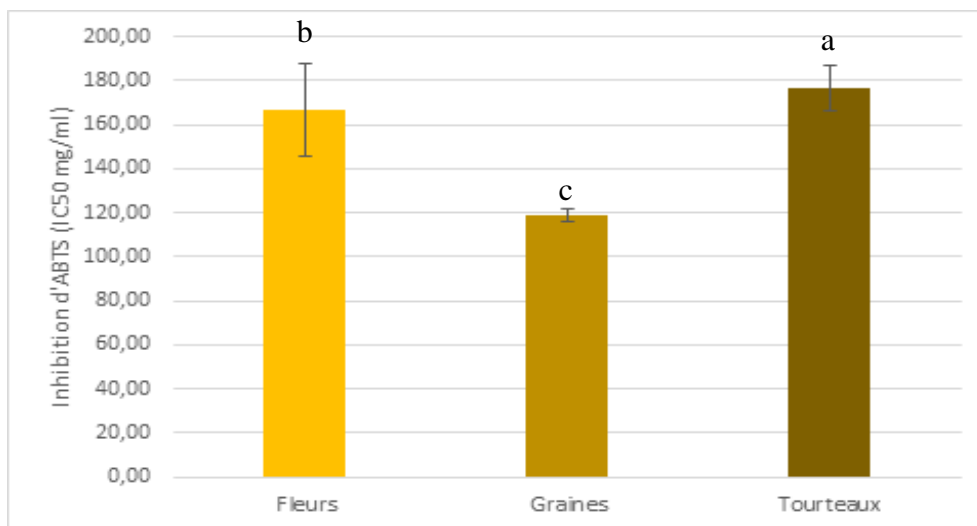


Figure 14: Inhibition d'ABTS des échantillons étudiés.

La figure montre que les graines d'*OFI* sont les plus actives et présentent une différence significative ($p \leq 0,05$) avec une valeur de 118,64 mg/mL. Par contre, les fleurs et les tourteaux présentent l'activité antioxydante la plus faible avec des IC₅₀ de l'ordre de 166,74 et 176,89 mg/mL, respectivement avec une différence significative ($p \leq 0,05$).

Brahmi et al. (2022) ont trouvé une activité antioxydante des fleurs plus élevée par rapport à celle que nous avons trouvée avec une valeur de 80,84 mg/mL.

Pensamiento-Niño et al. (2021) dans leur étude sur les variétés de cactus (*Cylindropuntia rosea*, *Opuntia oligacantha*, *Opuntia matudae*, *Echinocereus cinerascens*)

ont trouvé une activité antioxydante avec des concentrations de 33,10 ; 20,47 ; 29,13 et 392.65 μM Trolox equivalents/g MS, respectivement.

Cardador-Martínez et al. (2011) dans leur étude sur les trois variétés d'*Opuntia* spp (Pelón-Liso, Cristalina, Montesa) ont trouvé une activité antioxydante des graines avec des concentrations de 47 ; 24 ; 19 μM Trolox equivalents/500 μM , respectivement.

IV.4.1. Pouvoir réducteur du fer

Le potentiel réducteur est également exprimé en concentration effectrice (Figure 15) lorsque l'absorbance est égale à 0,5 où l' EC_{50} la plus faible correspond à l'extrait le plus actif.

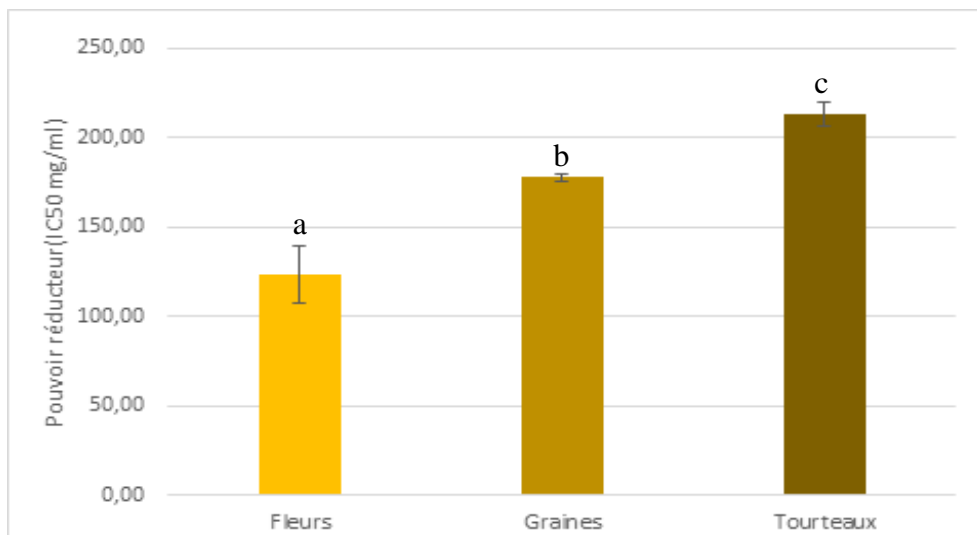


Figure 15: Pouvoir réducteur des échantillons étudiés.

D'après les résultats obtenus, les trois échantillons présentent des différences significatives ($p \leq 0,05$). Il apparaît que, l'extrait des fleurs est celui qui possède le meilleur potentiel réducteur (123,77 mg/mL). Il est suivi des graines (177,64 mg/mL) puis des tourteaux (213,22 mg/mL).

L'activité réductrice des fleurs notée est inférieure aux résultats trouvés par **Berrabah et al. (2019)** sur les fleurs d'*OFI* appartenant à six différentes régions qui sont de l'ordre de 6,6 ; 11,28 ; 6,9 ; 5,4 ; 7,5 et 8,4 mg/ML ? respectivement et **Bousbia et al. (2022)** ont enregistré une valeur de 1,46 mg/mL..

D'après l'étude de **Chahdoura et al. (2015)** sur les graines de deux variétés rouges d'*Opuntia*, un meilleur potentiel réducteur est estimé avec des concentrations de 0,53 ; 0,39

mg/mL pour les deux variétés. Pareillement pour **Bousbia et al. (2022)** a qui ont mesuré une valeur de 1,65 mg/mL.

L'activité réductrice des tourteaux est bien inférieure aux résultats trouvés par **Borchani (2022)**, qui a réalisé une étude sur les tourteaux de graines des différentes variétés de figue de barbarie et a enregistré des IC50 de l'ordre de 0,15 ; 0,20 ; 0,12 et 0,17 mg/mL, respectivement.

Il convient de noter que les résultats de test antioxydant ne sont pas exprimés de la même manière d'où la difficulté à faire une comparaison directe des résultats obtenus dans ce travail à ceux de la littérature.

D'après les résultats des tests d'activité antioxydante appliqués, les dérivés de la poire de cactus comme les fleurs, les graines et les écorces ont un pouvoir antioxydant significatif. Ces résultats montrent clairement que l'activité antioxydante est corrélée à la présence de composés bioactifs tels que les polyphénols, les flavonoïdes etc. (**Bousbia et al., 2022**).

IV.5. Analyses physico-chimiques des biscuits enrichis

Les propriétés physico-chimiques du biscuit témoin (A) et des biscuits enrichis : (B) tourteaux ; (C) graines ; (D) fleurs, sont représentées dans le tableau au-dessous :

Tableau VII : Propriétés physico-chimiques de biscuit témoin et des biscuits enrichis.

Biscuits	Humidité (%)	Teneur en cendres (%)	pH	Brix°
(A)	8,2	2,165	7,317	1,16
(B)	7	2,57	7,044	2,03
(C)	7,2	3,21	7,100	1,73
(D)	7,6	3,1	6,280	2,33

Le biscuit témoin a une teneur en humidité élevée (8,2%) en comparaison aux biscuits enrichis. La teneur en humidité a augmenté dans les biscuits enrichis en poudre des fleurs (7,6%), suivie par les biscuits enrichis en poudre des graines (7,2%) et tourteaux (7%).

L'augmentation de la teneur en humidité est probablement due à l'augmentation de la teneur en protéines. Selon **Saadoudi (2019)**, il existe une corrélation entre la diminution de la teneur en eau des produits de boulangerie et la diminution de sa teneur en protéines.

La teneur en cendres a été augmentée significativement, elle est de 2,165% (témoin), 2,57% (biscuit des tourteaux), 3,1% (biscuit des fleurs) et 3,21% (biscuit des graines), cette augmentation est expliquée par la teneur élevée de cendres dans les poudres d'enrichissement.

Le pH a diminué significativement dans les biscuits enrichis par rapport au témoin. La plus faible valeur est attribuée aux biscuits de fleurs d'*OFI*. Selon **Menasra (2020)**, cette diminution pourrait se révéler être la conséquence de l'enrichissement de biscuit en poudres ce qui mène à un changement dans la composition.

Les résultats obtenus dans cette étude nous montrent que le degré de Brix est important dans les biscuits aux fleurs, suivies par les biscuits aux tourteaux puis, les biscuits aux graines et les biscuits témoins.

- **Protéines**

Les résultats de la teneur en protéines sont exprimés en mg/100 g de gâteau en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions sont représentés dans la figure suivante :

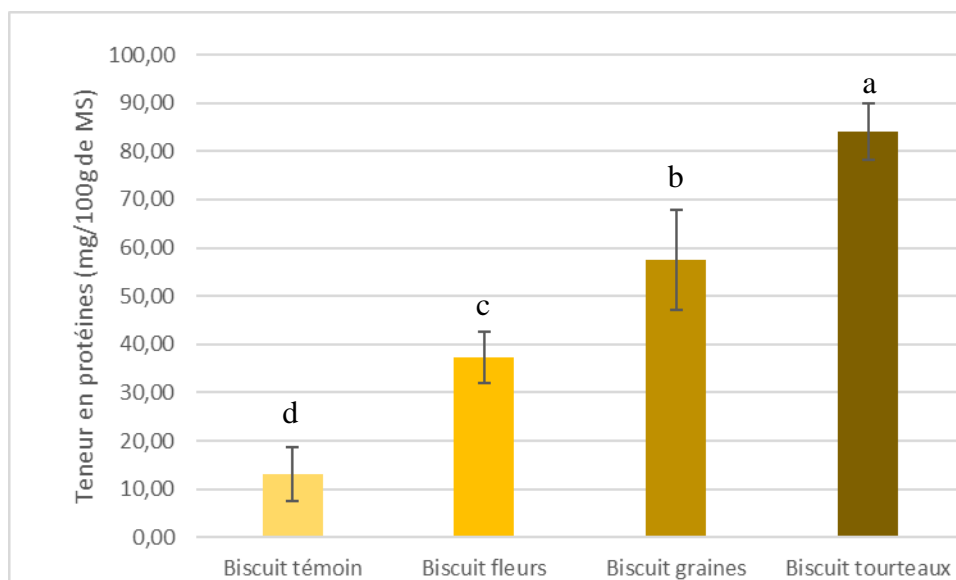


Figure 16 : Teneurs en protéines des biscuits formulés.

L'analyse des résultats obtenus a montré que la plus forte teneur en protéines a été obtenue au niveau des biscuits enrichis en poudre des tourteaux avec une concentration de 83,97 mg/100 g de G, après vient ceux enrichis avec la poudre des graines avec 57,5 mg/100g de G puis ceux enrichis avec la poudre des fleurs avec 37,25 mg/100g de G et en fin les

biscuits formulés à base de farine de blé avec seulement 13,11 mg/100g de G avec une différence significative entre les 4 biscuits.

IV.6. Evaluation de l'activité antioxydante (test du DPPH) des biscuits

La capacité des extraits des biscuits formulés à réduire le radical DPPH est donnée dans la figure suivante :

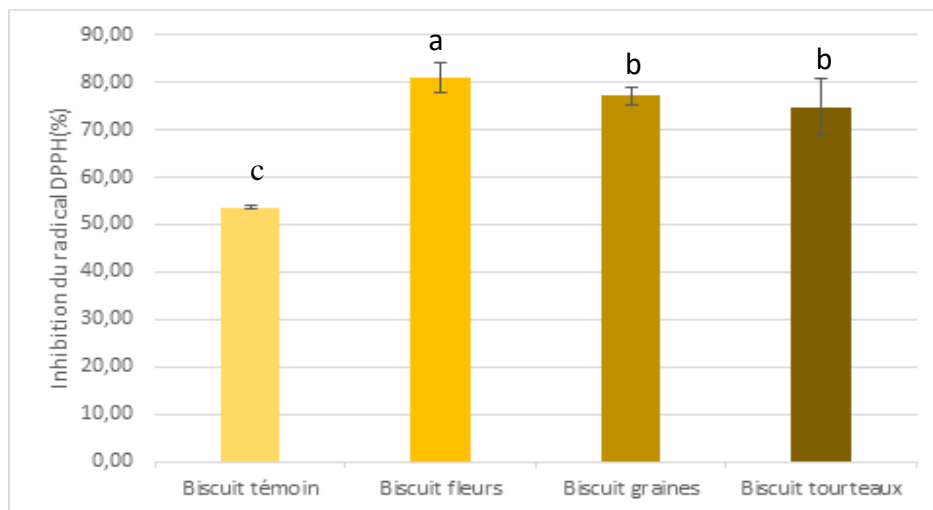


Figure 17 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH des biscuits.

D'après l'histogramme ci-dessus, nous remarquons que les biscuits à base des fleurs d'*OFI* sont les plus actives et présentent une différence significative ($p \leq 0,05$) avec un pourcentage d'inhibitions de 81,04%. Puis vient ceux à base des graines et des tourteaux avec des pourcentages d'inhibitions de l'ordre de 77,18 et 74,7%, respectivement sans différence significative ($p \leq 0,05$). Enfin, vient ceux à base de farine de blé avec 53,59% avec une différence significative.

Dans l'ensemble, nous pouvons dire que l'addition de la poudre des fleurs, graines, tourteaux d'*OFI* dans le biscuit en tant que substitut de farine de blé, nous a permis d'obtenir des biscuits enrichis en sucres, en protéines, et en minéraux avec une meilleure activité antioxydante.

IV.7. Analyse sensorielle

- **Synthèse de mapping des préférences**

Dans ce test sont affichés par ordre croissant de préférence, pour chaque juge, la liste des objets. La dernière ligne correspond aux objets les plus préférés par les juges. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV : Objets classés par ordre croissant de préférence.

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
A	B	A	B	B
B	D	D	A	A
C	C	C	C	C
D	A	B	D	D

- (A) Biscuit témoin.
- (B) Biscuit à base des tourteaux.
- (C) Biscuit à base des graines.
- (D) Biscuit à base des fleurs.

Le tableau des objets classés par ordre de préférences et la carte des préférences montrent que les sujets de la première, la quatrième et la cinquième classe préfèrent le biscuit (D) enrichis avec de la farine des fleurs ; les sujets de la deuxième classe préfèrent le biscuit (A) à base de farine de blé et ceux de la troisième classe aiment le biscuit (B) enrichis avec de la farine des tourteaux.

La figure suivante définit la courbe des niveaux et la carte de la préférence avec les caractéristiques des quatre produits (A); (B); (C); (D).

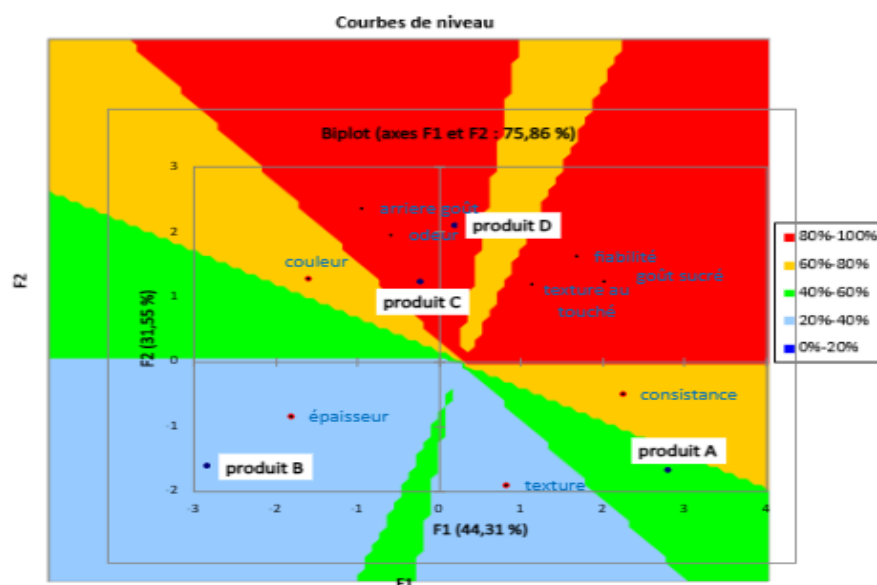


Figure 18: Courbes de niveau et carte des préférences.

La représentation graphique de courbe de niveau permet de visualiser le pourcentage d’appréciation des produits obtenu par les classes de panel expert. Comme le montre la figure le pourcentage d’appréciation du biscuit (D) et biscuit (C) successivement, est entre 80% et

100%, viens après le biscuit (A) entre 40%, le biscuit (B) avec un pourcentage entre 20% et 40%.

D'après la figure le biscuit à base des fleurs (D) est beaucoup plus caractérisé par son "arrière-gout" par rapport aux autres biscuits. Le biscuit à base des graines (C) est caractérisé par sa "couleur", le biscuit à base des tourteaux (B) par son "épaisseur" et "couleur", le biscuit témoin (A) par sa "consistance" et "texture".

Conclusion et perspectives

Ce travail a pour but de valoriser les fleurs, les graines et les tourteaux d'*OFI* inexploité à l'alimentation humaine en préparant des biscuits enrichis à 30%. A travers cette étude, nous avons tenté d'étudier les propriétés physico-chimiques des poudres (pH, cendres, protéines, sucres totaux et Brix), les propriétés fonctionnelles et les propriétés phytochimiques (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols et les tannins condensés), l'activité antioxydante (phosphomolybdate, DPPH, ABTS et pouvoir réducteur).

Les farines des sous-produits ont été utilisées comme ingrédient remplaçant la farine de blé utilisée dans la préparation des biscuits. Les biscuits obtenus ont été étudiés quant à leurs caractéristiques physico-chimiques (pH, le taux d'humidité, les cendres et les protéines), l'activité antiradicalaire (DPPH) et les caractéristiques organoleptiques en utilisant un biscuit à base de farine de blé comme témoin.

Les résultats obtenus ont montré des variations significatives ($p \leq 0,05$) des propriétés physico-chimiques entre les trois farines analysées, les teneurs en sucres totaux et protéines sont importantes dans les graines, tandis que l'analyse phytochimique nous a permis de déterminer que la poudre des fleurs est la plus riche en polyphénols, flavonoïdes, flavonols et en tannins condensés.

En outre, l'activité antioxydante (phosphomolybdate, DPPH, et pouvoir réducteur) la plus élevée est enregistrée pareillement dans les extraits de poudre de fleurs par rapport aux extraits de poudres des graines et des tourteaux. Par ailleurs, l'activité antiradicalaire d'ABTS était élevée dans les extraits de poudre des graines. Ces résultats montrent que les trois poudres sont une bonne source de molécules bioactives.

Les résultats des analyses physico-chimique ont montré que la valeur nutritionnelle des biscuits a été améliorée par l'addition des poudres d'enrichissement ; les teneurs en cendres, en protéines des biscuits enrichis ont été élevées par rapport au biscuit témoin (taux élevé en cendres des biscuits à base des graines, taux élevé en protéines des biscuits à base des tourteaux). De même, l'activité anti-radicalaire la plus élevée était marquée pour les biscuits à base des fleurs.

L'analyse sensorielle a montré l'acceptabilité et l'appréciation des dégustateurs des biscuits préparés avec une préférence particulière pour le biscuit à base des graines et des fleurs ce qui prouve que les farines des sous-produits de figuier de barbarie pourraient devenir une bonne source de composants bioactifs pour l'enrichissement des biscuits.

Le présent travail a montré que la valorisation des fleurs, graines et tourteaux en vue de leur éventuelle transformation en poudre et leur incorporation dans des produits alimentaires (biscuits) est possible.

Afin de compléter ce travail, il serait toujours souhaitable de poursuivre les travaux pour plus de résultats pertinents, en ce sens :

- Formulation d'autres biscuits à base de farines composite afin d'optimiser le meilleur taux d'incorporation des poudres des fleurs, des graines et des tourteaux d'*OFI*.
- Utiliser des techniques plus performantes (HPLC et l'UPLC) afin d'identifier les substances bioactives des poudres.
- Faire d'autres recherches plus approfondies dans le but d'innover et standardiser de nouveaux produits et les mettre sur le marché.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

AACC, (2000). Official Methods of Analysis. 10ème édition. American Association Of Cereal Chemistry. États-Unis, St. Paul., Minnesota.

AACC, 2012. Official Methods of Analysis. 11ème édition. American Association Of Cereal Chemistry. États-Unis, St. Paul., Minnesota.

AFNOR (Association Française de Normalisation). (1970). Détermination de degré de Brix.

Aljane, F., Toumi, I., & Ferchichi, A. (2007). HPLC determination of sugars and atomic absorption analysis of mineral salts in fresh figs of Tunisian cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 6(5), 599.

Aljane, F., Nahdi, S., & Essid, A. (2012). Genetic diversity of some accessions of Tunisian fig tree (*Ficus carica* L.) based in morphological and chemical traits. *Journal of Natural Product and Plant Resources*, 2(3), 350-359.

Amellal nee Chibane, H. (2008). *Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes : formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé* (Doctoral dissertation, Université de Boumerdès-M'hamed Bougara), Algérie, 164 p.

Ammar, I., Bardaa, S., Mzid, M., Sahnoun, Z., Rebai, T., Attia, H., & Ennouri, M. (2015). Antioxidant, antibacterial and in vivo dermal wound healing effects of Opuntia flower extracts. *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 483-490.

Ansari, M. M., et Kumar, D. S. (2012). Fortification of food and beverages with phytonutrients. *Food and Public Health*, 2(6), 241-253.

Araba, A., El Aich, A., Sarti, B., Belbahri, L., Boubekraoui, A., Ait Hammou, A., Zemmouri, A., and Sbaa, A. (2000). Valorisation du figuier de barbarie en élevage. Transfert de technologie en agriculture, 1-4.

Arba, M. (2009, May). Le cactus opuntia une espèce fruitière et fourragère pour une agriculture durable au Maroc. In *Actes du Symposium International AGDUMED-durabilité des systèmes de culture en zone méditerranéenne et gestion des ressources en eau et en sol* (pp. 14-16). Rabat : Cana Print.

Awad-Allah, M. A. A. (2013). Evaluation of selected nuts and their proteins functional properties. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(1), 885-896

B

Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunet, C., Dine, T., Luyckx, M., ... & Pinkas, M. (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-forschung*, 46(11), 1086-1089.

Benattia, F. K. (2017). *Analyse et Application des Extraits de pépins de Figes de Barbarie* (Doctoral dissertation, 08-01-2018).

Benayad, Z., Martinez-Villaluenga, C., Frias, J., Gomez-Cordoves, C., & Es-Safi, N. E. (2014). Phenolic composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of extracts from Moroccan *Opuntia ficus-indica* flowers obtained by different extraction methods. *Industrial crops and products*, 62, 412-420.

Benhamou, A. A., Boussetta, A., Kassab, Z., Nadifiyine, M., Salim, M. H., Grimi, N., ... & Moubarik, A. (2021). Investigating the characteristics of cactus seeds by-product and their use as a new filler in phenol formaldehyde wood adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 110, 102940.

Benkadri, S., & Zidoune, M. N. (2010). *Contribution à la diversification de l'alimentation pour enfants coeliaques* (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).

Berrabah, H., Taïbi, K., Ait Abderrahim, L., & Boussaid, M. (2019). Phytochemical composition and antioxidant properties of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) flowers from the Algerian germplasm. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(2), 1166-1174.

Blois, M. S. (1958). Déterminations antioxydantes par l'utilisation d'un radical libre stable. *Nature*, 181, 1199-1200.

Bonjoch, N. P., & Tamayo, P. R. (2001). Protein content quantification by Bradford method. *Handbook of plant ecophysiology techniques*, 283-295.

Borchani M., (2022). *Contribution à la valorisation de la pulpe, de la peau et du tourteau de graines de figue de barbarie (opuntia spp)* (Doctoral dissertation, Université de Sfax).

Borchani, M., Yaich, H., Abbès, F., Blecker, C., Besbes, S., Attia, H., & Masmoudi, M. (2021). Physicochemical, functional and antioxidant properties of the major protein fractions extracted from prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.) seed cake. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 1749-1760.

Bousbia, N., Mazari, A., Lamoudi, L., Akretche-kelfat, S., Chibane, N., et DIF, M. E. (2022). Evaluation of the phytochemical composition and the antioxidant activity of cactus pear flowers and fruit derivatives. *Revue Agrobiologia*, 12(2), 3235-3243.

Bousdira, K. (2007). *Contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pour une meilleure gestion et une valorisation de la biomasse* (Doctoral dissertation, Boumerdes, Université M'hamed Bougara. Faculté des sciences de l'ingénieur).

Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2012). Effet antifongiques des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp (*Nepeta*) briq. *Revue des Bio Ressources*, 2(1), 1-7.

Bradford, M. M. (1976). Une méthode rapide et sensible pour la quantification de quantités de microgrammes de protéines utilisant le principe de liaison protéine-colorant. *Biochimie analytique*, 72(1-2), 248-254.

Brahmi, F., Blando, F., Sellami, R., Mehdi, S., De Bellis, L., Negro, C., ... & Makhoulf-Boulekbache, L. (2022). Optimization of the conditions for ultrasound-assisted extraction

of phenolic compounds from *Opuntia ficus-indica* [L.] Mill. flowers and comparison with conventional procedures. *Industrial Crops and Products*, 184, 114977.

Brahmi, F., Hauchard, D., Guendouze, N., Madani, K., Kiendrebeogo, M., Kamagaju, L., ... et Duez, P. (2015). Phenolic composition, in vitro antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian *Mentha* species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (Lamiaceae). *Industrial crops and products*, 74, 722-730.

Brahmi, F., Boulkbatche-Makhlouf, L., Yalaoui-Guellal, D., Chibane, M., et Madani, K. (2014). Comparative study on the antioxidant effect of aqueous and ethanolic extracts of *Mentha pulegium* L. grown at two different locations.

C

Cardador-Martínez, A., Jiménez-Martínez, C., & Sandoval, G. (2011). Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source of antioxidants. *Food Science and Technology*, 31, 782-788.

Chahdoura, H., Barreira, J. C., Barros, L., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C., & Achour, L. (2015). Graines d'*Opuntia* spp. en tant que nouveau sous-produit à fort potentiel : caractérisation phytochimique et activité antioxydante. *Industrial Crops and Products*, 65, 383-389.

Chinma, C. E., Adewuyi, O., & Abu, J. O. (2009). Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Food Research International*, 42(8), 1004-1009.

Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidj, W., Hallal, S., Barras, A., Richard, T., & Larbat, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food chemistry*, 139(1-4), 796-803.

D

Devi, A., & Khatkar, B. S. (2016). Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: a review. *Journal of food science and technology*, 53, 3633-3641.

Dhahri, R., Yilmaz, M., Mechi, L., Alsukaibi, A. K. D., Alimi, F., ben Salem, R., & Moussaoui, Y. (2022). Optimisation de la préparation du charbon actif à partir de tourteaux de figue de barbarie pour l'élimination des ions plomb et cadmium de la solution aqueuse. *Durabilité*, 14(6), 3245.

Doukani, K., & Tabak, S. (2015). Profil Physicochimique du fruit "Lendj" (*Arbutus unedo* L.). *Nature & Technology*, (12), 51.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

E

Ebrahimzadeh, M. A., Pourmorad, F., & Hafezi, S. (2008). Antioxidant activities of Iranian corn silk. *Turkish Journal of biology*, 32(1), 43-49.

Elkhalifa, A. E. O., & Bernhardt, R. (2010). Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food chemistry*, 121(2), 387-392.

El Kossori, R. L., Villaume, C., El Boustani, E., Sauvaire, Y., and Méjean, L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 52, 263-270.

El Mannoubi, I., Barrek, S., Skanji, T., and Zarrouk, H. (2008). Étude de la composition de la fraction volatile des graines du figuier de barbarie (*Opuntia Ficus Indica*). *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 10, 61-67.

Ennouri, M., Fetoui, H., Bourret, E., Zeghal, N., and Attia, H. (2006). Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*. 1. Influence of a seed oil supplemented diet on rats. *Bioresource Technology*, 97, 1382-1386.

Ennouri M., Fetoui H., Bourret E., Zeghal N., Guermazi F. & Attia H. (2006). Evaluation of some biological parameters of *Opuntia ficus indica*: 1. Influence of seed supplemented diet on rats. *Bioresource Technology*.97, 2136–2140.

Ennouri, M., Ammar, I., Khemakhem, B., & Attia, H. (2014). Chemical composition and antibacterial activity of *Opuntia ficus-indica* f. *inermis* (cactus pear) flowers. *Journal of medicinal food*, 17(8), 908-914.

F

Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes rendus biologies*, 331(5), 372-379.

Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., and Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, 11, 2574-2589.

Fredot, E. (2005). *Connaissance des aliments*. Tec & Doc Lavoisier.

G

Ghaderi-Ghahfarrokhi, M., Sadeghi-Mahoonak, A. R., Alami, M., & Khanegah, A. M. (2017). Effect of processing treatments on polyphenol removal from kernel of two Iranian acorns varieties. *International Food Research Journal*, 24(1), 86.

Gozlekci, S. (2011). Pomological traits of fig (*Ficus carica* L.) genotypes collected in the west Mediterranean region in Turkey. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(4)

H

Habibi Y., (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux caractérisation et modification chimique. Thèse soutenue en vue d'obtention de grade de Docteur de l'Université JosephFourier-Grenoble I.

Habibi, Y., Heux, L., Mahrouz, M., & Vignon, M. R. (2008). Morphological and structural study of seed pericarp of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Polymers*, 72(1), 102-112.

Habibi, Y., Mahrouz, M., & Vignon, M. R. (2002). Isolation and structure of D-xylans from pericarp seeds of *Opuntia ficus-indica* prickly pear fruits. *Carbohydrate Research*, 337(17), 1593-1598.

Hadj Sadok, T. (2010). Composition chimique des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* et possibilités de valorisation alimentaire. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger, 94p.

Huffposte Algérie. (2015). La figue de Barbarie, un fruit venu d'ailleurs devenu produit du terroir en Algérie

Hui, Y.H., Corke, H., De Leyn, I., Nip, W.K. et Cross, N. (2006). Bakery Products Science and Technology. 1ère édition. Blackwell Publishing Professional, 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014, USA, 575 p

Hyun-Jung, C., Ahra, C. et Seung-Taik, L. (2014). Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rice in sugar-snap cookies, *LWT - Food Science and Technology*, 57 : 260-266.

J

Jiang, L., Shen, Z., Zheng, H., He, W., Deng, G., & Lu, H. (2013). Noninvasive evaluation of fructose, glucose, and sucrose contents in fig fruits during development using chlorophyll fluorescence and chemometrics. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(2), 333-34

Julkunen-Tiitto, R. (1985). Constituants phénoliques dans les feuilles des saules nordiques : méthodes d'analyse de certains composés phénoliques. *Journal of agricultural and food chemistry*, 33(2), 213-217.

K

Keller A-L., Girard. C., Chaumont. J-P., (2009). *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, le figuier de barbarie ou nopal, une plante aux multiples usages. UFR des sciences médicales et pharmaceutiques de Besançon, pp 24.

Khaled, S (2023). Extraction et caractérisation des huiles et tourteaux de la graine d'*Opuntia ficus-indica*. Etude de cas : Séchage et extraction par microonde et ultrason. Thèse de doctorat en sciences alimentaires. Université A. MIRA-Bejaia, Algérie, 88 p.

Khaneghah, A. M., Fakhri, Y., & Sant'Ana, A. S. (2018). Impact of unit operations during processing of cereal-based products on the levels of deoxynivalenol, total aflatoxin, ochratoxin A, and zearalenone: A systematic review and meta-analysis. *Food chemistry*, 268, 611-624.

Kinsella, J. E., & Melachouris, N. (1976). Functional properties of proteins in foods: a survey. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 7(3), 219-280.

Kumaran, A. et Karunakaran, R. J. (2007). Activité antioxydante des fleurs de *Cassia auriculata*. *Fitoterapia*, 78(1), 46-47.

L

Laabidi O. (2007). Etude Rhéologique et Microbiologique d'une Farine Traitée par Irradiation. Impression : Photocopie et Reliure à chaud, Supérieure Des Industries Alimentaire De Tunis Esiat Projet De Fin D'etude En Vue D'obtention Du Diplome D'ingénieur National :66p.

Lien, E. J., Ren, S., Bui, H. H., & Wang, R. (1999). Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(3-4), 285-294

M

Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Prasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 44(8), 2534-2544.

Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J. M., Allaf, K. et Patras, C. (1998). Etude du mélange en relation avec les propriétés rhéologiques de la pâte à biscuits et les caractéristiques dimensionnelles des biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35(1), 43-56.

Manley, D. (2001). Biscuit, cracker and cookie recipes for the food industry. Cambridge, UK : Woodhead. Manohar RS, Rao PH. 1999a. Effect of emulsifiers, fat level and type on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits. *J Sci Food Agric* 79 :1223–31.

Manley, D. (1998b). Biscuit, Cookie, and Cracker Manufacturing - Manual 4 : Baking and cooling of biscuits. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, 61 p.

Manley D. (1998). Biscuits, cookies and crackers manufacturing manuals. CRC, 2000. Woodhead publishing limited, Cambridge : 15-20.

Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., & Villanueva-Suárez, M. J. (2010). Isolation and characterisation of cell wall polysaccharides from legume by-products: Okara (soymilk residue), pea pod and broad bean pod. *Food chemistry*, 122(1), 339-345.

Mamat, H., & Hill, S. E. (2014). Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-sweet biscuit. *Journal of food science and technology*, 51, 1998-2005.

Mamat, H. et Hill, S. E. (2018). Propriétés structurelles et fonctionnelles des principaux ingrédients du biscuit. *International Food Research Journal*, 25(2).

Mazari, A., & Mahdeb, A. (2021). Importance nutritionnelle et agroéconomique des produits issus du figuier de barbarie : revue de la littérature. *Recherche Agronomique*, 19, 43-63.

Menasra, A. (2020). *Etude de la formulation et des traitements technologiques des biscuits enrichis* (Doctoral dissertation, UB1).

Mezian, S. (2011). Influence du procédé de congélation sur les levures et les propriétés techno-fonctionnelles des pâtes sucrées (type Kougelhopf). Thèse de doctorat en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires. École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires. Université de Nancy, 123p.

Misra, N. N., & Tiwari, B. K. (2014). Biscuits. *Bakery products science and technology*, 585-601.

N

Ndangui, C. B. (2015). Production et caractérisation de farine de patate douce (*Ipomoea batatas* Lam) : optimisation de la technologie de panification. *Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules*, 151p.

Nhouchi, Z., Botosoa, E. P., & Karoui, R. (2018). Évaluation critique des conditions de formulation, de traitement et de stockage de la qualité des produits de boulangerie alvéolaires déterminée par différentes techniques analytiques : une revue. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 159-171.

Nieddu, G., De Pau, L., Schirra, M., & D'hallewin, G. (1996). Chemical composition of fruit and seeds of cactus pears during early and late-induced crop ripening. In *III International Congress on Cactus Pear and Cochineal 438* (pp. 105-112).

Noah, A. A. (2018). Production, nutrient and sensory qualities of biscuits produced from wheat-coconut-almond flour blend. *This study asses the proximate and sensory analysis of biscuits made from dried almond seed and coconut blend. Biscuits was produced from blends of wheat, coconut and almond flour. Five blends were prepared by homogenously mixing wheat with coconut and Al*, 3(6), 302-306.

O

Okpala, L. C., et Okoli, E. C. (2013). Optimization of composite flour biscuits by mixture response surface methodology. *Food science and technology international*, 19(4), 343-350.

Ouazib M. (2016). Effet de traitements sur les paramètres nutritionnels et fonctionnels du pois chiche produit localement : impact sur les propriétés rhéologiques, physicochimiques et sensorielles de pain à base de pois chiche. Thèse de doctorat en Science de la Nature et de la Vie. Université A. MIRA BEJAIA, 114 p.

Oppong, D., Eric, A., Osei, K.S., Badu, E. et Skyi, P., (2015). Proximate composition and some functional properties of soft wheat flour. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(2), 2347-6710.

P

Park, H. J., & Cha, H. C. (2003). Flavonoids from leaves and exocarps of the grape Kyoho. *Korean Journal of Biological Sciences*, 7(4), 327-330.

Pensamiento-Niño, C. A., Campos-Montiel, R. G., Añorve-Morga, J., Ramírez-Moreno, E., Ascacio-Valdés, J. A., & Hernández-Fuentes, A. D. (2021). Caractérisation nutritionnelle de l'activité fonctionnelle et antioxydante des fleurs de cactus d'Hidalgo, Mexique. *Sciences appliquées*, 11(13), 5965.

Prieto, P.; Pineda, M.; Aguilar, M. (1999) Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of Vitamin E1. *Anal. Biochem.* 269 : 337 - 341.

R

Ramírez-Moreno, E., Hervert-Hernández, D., Sánchez-Mata, M. C., Díez-Marqués, C., & Goñi, I. (2011). Intestinal bioaccessibility of polyphenols and antioxidant capacity of pulp and seeds of cactus pear. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(8), 839-843.

Rakić, S., Povrenović, D., Tešević, V., Simić, M., & Maletić, R. (2006). Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 416-423.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.

Reyes-Agüero, J. A. et Valiente-Banuet, A. (2006). Biologie de la reproduction d'Opuntia : une revue. *Journal of arid environments*, 64(4), 549-585.

Ribéreau-Gayon P. (1968). Les composés phénoliques des végétaux. Dunod (Ed). Paris.

Ruiz G. (2005). Extraction, Détermination Structurale et Valorisation Chimique de Phycocolloïdes d'Algues Rouges. Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Limoges Discipline : Chimie appliquée Chimie de substances Naturelles. 258p.

S

Saadoudi, M. (2019). Caractérisation biochimique, conservation et essais d'élaboration des produits alimentaires à base du fruit de Zizyphus lotus L. Thèse de doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar Batna 01 (UHB1), Algérie, 140 p.

Saidi, N., Elmsellem, H., Ramdani, M., Yousfi, F., Rmili, R., Azzaoui, K., ... & Chahboun, N. (2016). A Moroccan Opuntia Ficus Indica methanolic flowers extract as an eco-friendly antioxidant and anti-corrosion for mild steel in 1 M HCl. *J. Mater. Environ. Sci*, 7(11), 4105-4115.

Salim, N., Abdelwaheb, C., Rabah, C., & Ahcene, B. (2009). Chemical composition of Opuntia ficus-indica (L.) fruit. *African Journal of Biotechnology*, 8(8).

Sánchez-Moreno, C. (2002). Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food science and technology international*, 8(3), 121-137.

Serrem, C. A., de Kock, H. L., & Taylor, J. R. (2011). Nutritional quality, sensory quality and consumer acceptability of sorghum and bread wheat biscuits fortified with defatted soy flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(1), 74-83.

Sharma, A. (2013). Tea catechins: their stability and roles in the biscuit making process and effects on biscuit quality. Thèse de doctorat en Science et Technologie Alimentaire. Université Nationale de Singapour, 226 p.

Skadhauge, B., Gruber, M. Y., Thomsen, K. K., & Von Wettstein, D. (1997). Leucocyanidin reductase activity and accumulation of proanthocyanidins in developing legume tissues. *American Journal of Botany*, 84(4), 494-50

Stan, C. (2019). Stan 152-1985. *Standard for Wheat Flour. Codex Alimentarius.*

Sudha, M. L., Vetrmani, R. et Leelavathi, K. (2007). Influence des fibres de différentes céréales sur les caractéristiques rhéologiques de la pâte à farine de blé et sur la qualité des biscuits. *Food chemistry*, 100(4), 1365-1370.

Salim, N., Abdelwaheb, C., Rabah, C., & Ahcene, B. (2009). Chemical composition of *Opuntia ficus-indica* (L.) fruit. *African Journal of Biotechnology*, 8(8).

V

Vujic, L., Vitali cepo, D. U. B. R. A. V. K. A., Sebecic, B., & Dragojevic, I. V. (2014). Effets des pseudocéréales, des légumineuses et de l'inuline sur certaines propriétés nutritionnelles et l'indice glycémique des biscuits à base de blé entier. *Journal of Food & Nutrition Research*, 53 (2).

Vioque, J., Alaiz, M., & Girón-Calle, J. (2012). Nutritional and functional properties of *Vicia faba* protein isolates and related fractions. *Food chemistry*, 132(1), 67-72

W

Wilfred .V et Ralph .N. (2006). Phenolic compound biochemistry Ed Springer USA. 24p

Y

Yıldırım, A., Mavi, A., & Kara, A. A. (2001). Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(8), 4083-408

Z

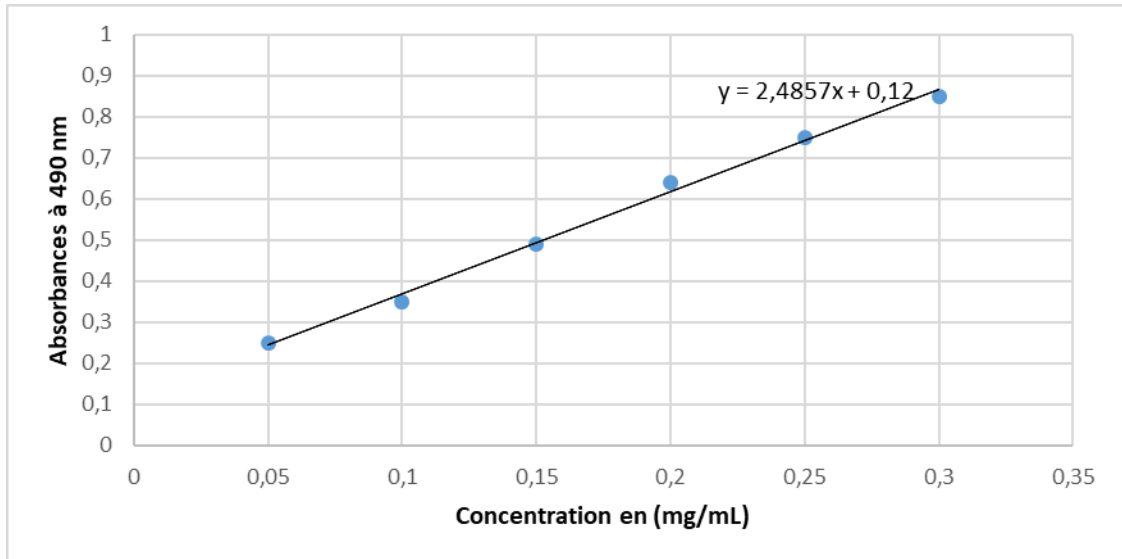
Zidani S. (2019). Influence des techniques de séchage sur les propriétés physicochimiques et fonctionnelles de la pomme locale. Thèse de doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar Batna 01 (UHB1), Algérie, 134 p

Zouari, R., Besbes, S., Ellouze-Chaabouni, S., & Ghribi-Aydi, D. (2016). Cookies from composite wheat–sesame peels flours: Dough quality and effect of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant addition. *Food chemistry*, 194, 758-769.

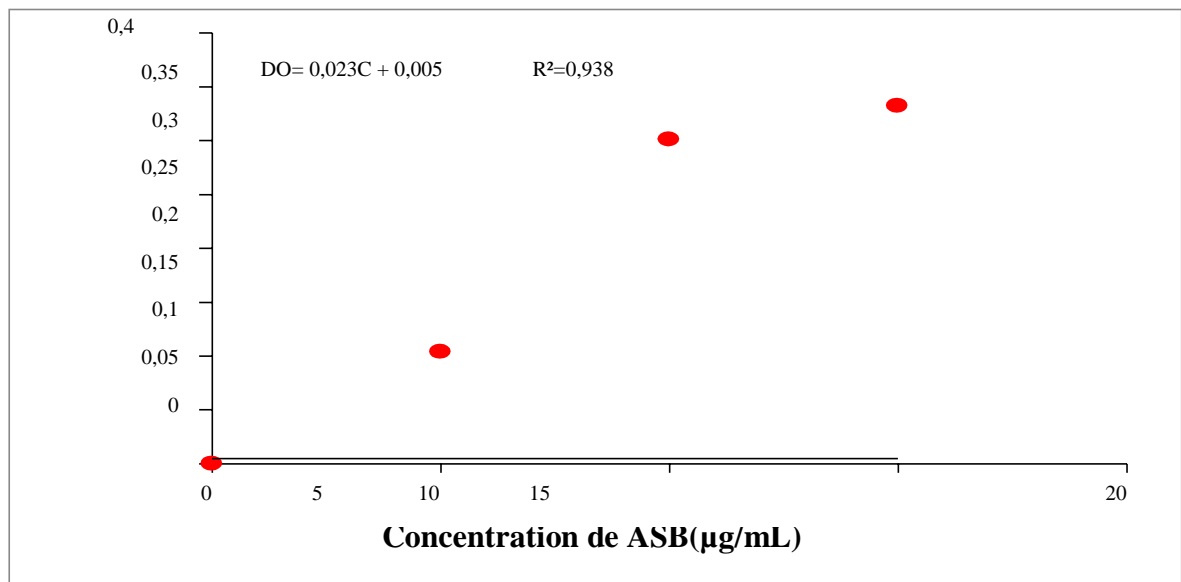
Annexes

Annexe I: Courbes d'étalonnage

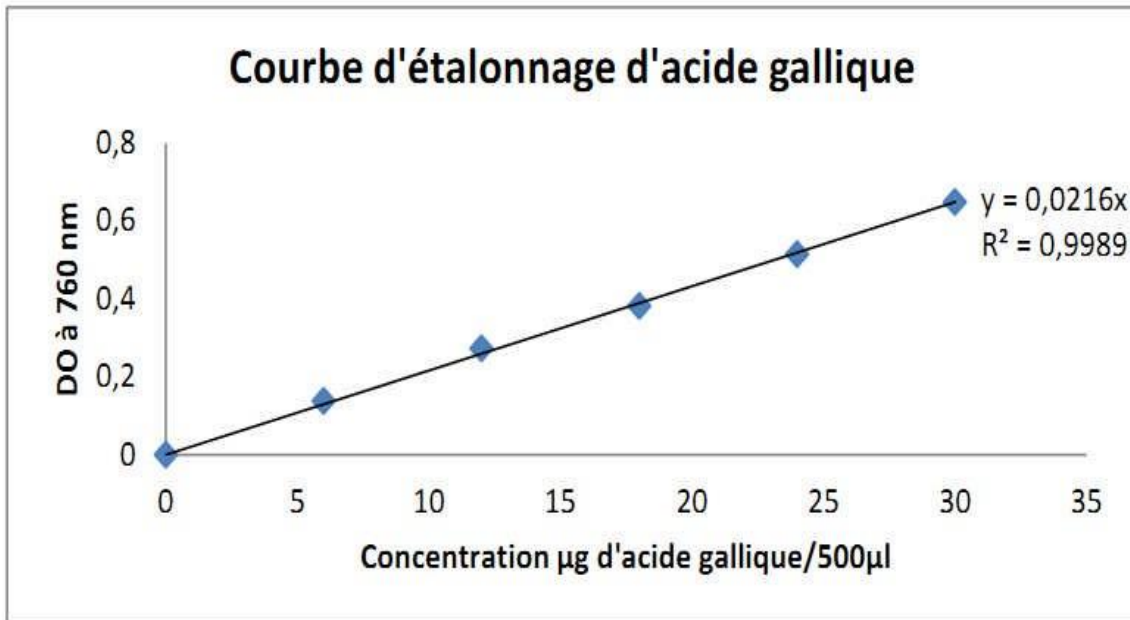
Annexe I.1. Courbe étalonnage pour le dosage des sucres totaux



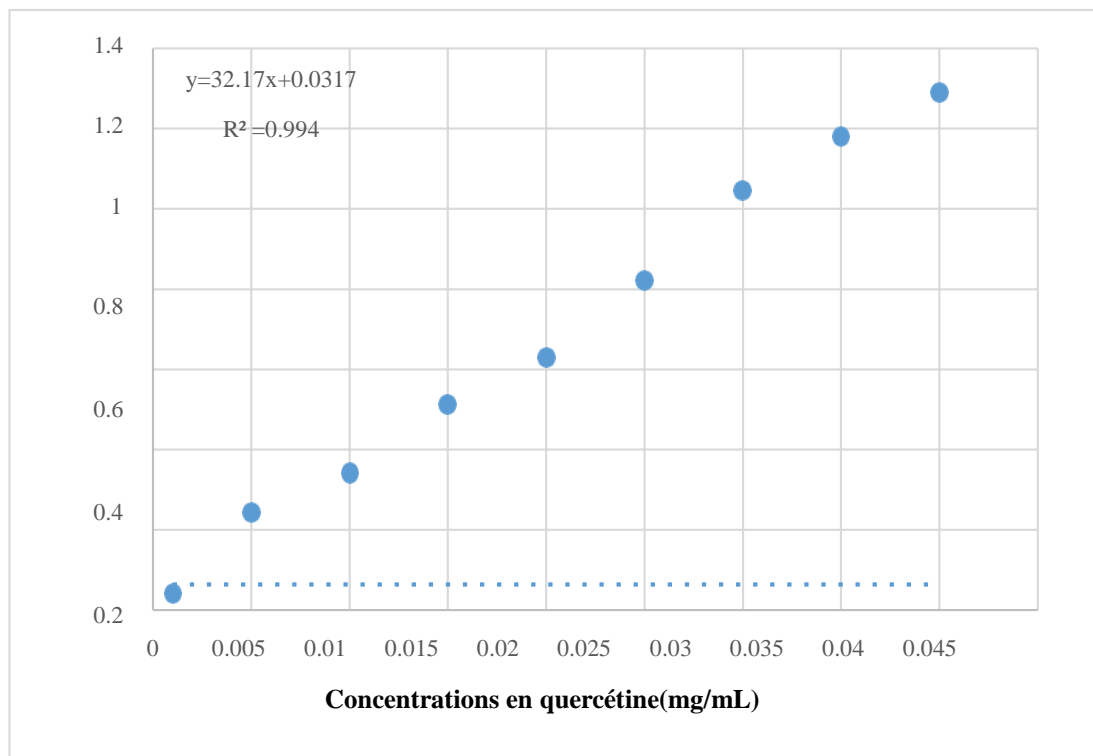
Annexe I.2. Courbe d'étalonnage des protéines.



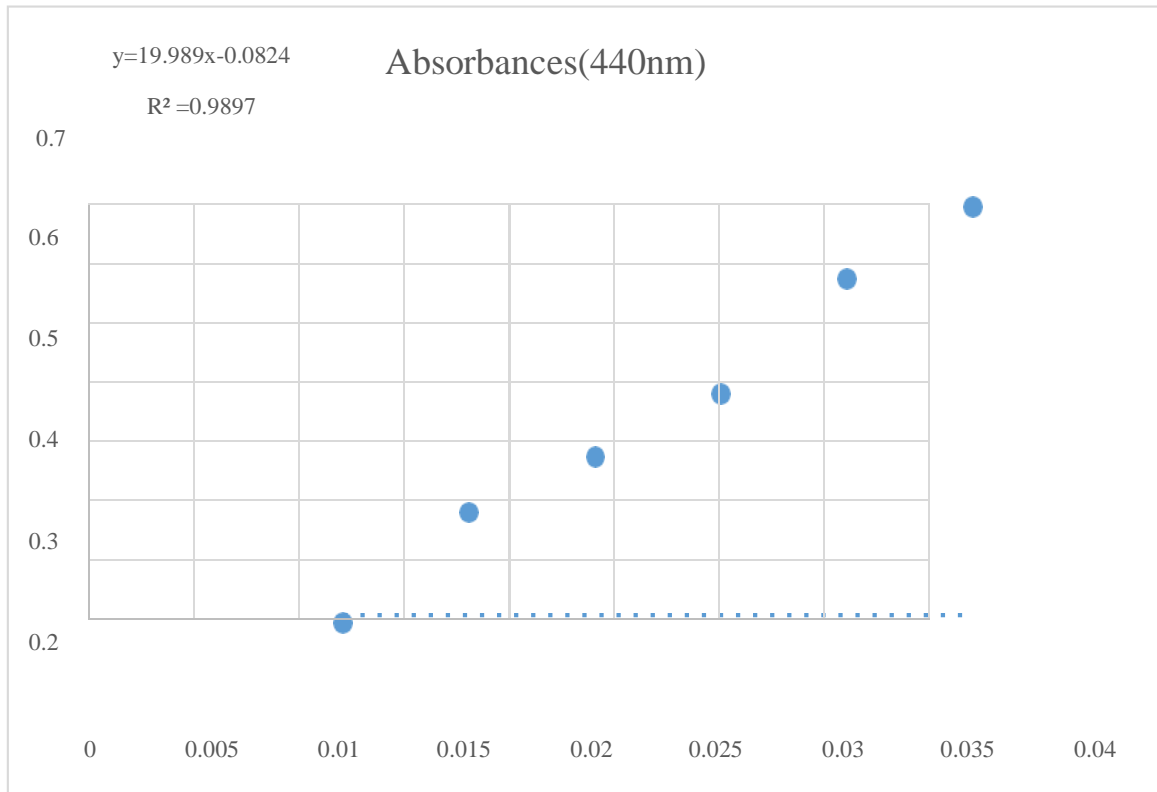
Annexe I.3. Courbe d'étalonnage de dosage des polyphénols totaux.



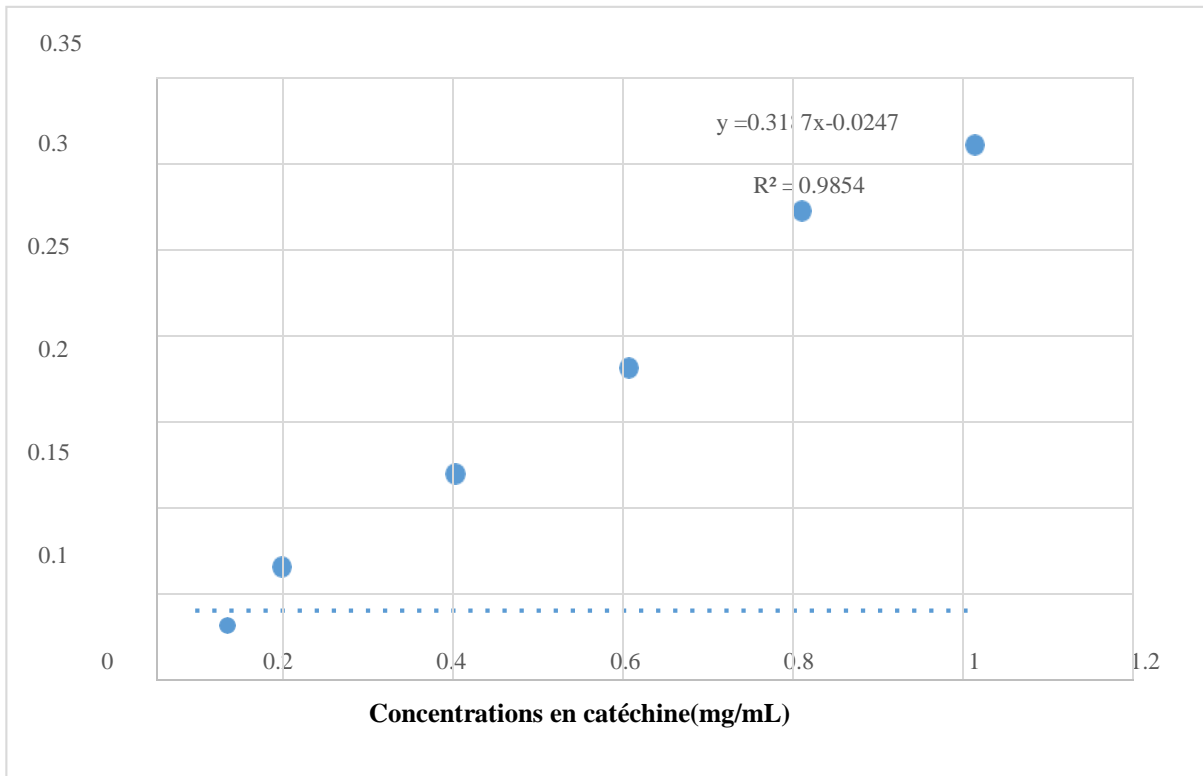
Annexe I.3. Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.



Annexe I.4. Courbe d'étalonnage des flavonols.



Annexe I.5. Courbe d'étalonnage des tannins condensés.



Annexe III. Questionnaire pour analyse sensorielle des gâteaux (panel expert)

Date :Age :Sexe :.....

Dans le cadre d'une analyse sensorielle des gâteaux, 4 échantillons vous sont présentés codés A, B, C et D. Il vous est demandé de les examiner et de les goûter successivement (de gauche à droite), puis répondre aux questions qui suivent en attribuant une note de 1 à 5 selon l'échelle présentée.

NB : après la dégustation de chaque échantillon, rincez la bouche avec de l'eau.

1. Aspect visuel

- **Comment jugez-vous la couleur de biscuit ?**

1- Très claire 2- Claire 3- Peu foncée 4- Foncée 5- Très foncée

Echantillon :

A B C D

- **Comment jugez-vous l'odeur de biscuit ?**

1 - Absente 2- Faible 3- Moyenne 4-Forte 5- Très forte

Echantillon :

A B C D

2. Sensation en bouche

- **Comment jugez-vous le gout sucré ?**

1- Absent 2- Faible 3- Moyen 4- Fort 5- Très Fort

Echantillon :

A B C D

- **Comment jugez-vous l'arrière-gout ?**

1- Absent 2- Faible 3- Moyen 4- Fort 5- Très Fort

Echantillon :

A B C D

- **Comment jugez-vous la texture de biscuit au touché?**

1- Très dure 2- Dure 3- Moyenne (ni dure ni tendre) 4- Molle 5- Très molle

Echantillon :

A B C D

• **Comment jugez-vous l'épaisseur de biscuit ?**

1- Très fin 2- Fin 3- Moyen 4- Epais 5- Très épais

Echantillon :

A B C D

• **Comment jugez-vous la texture de biscuit ?**

1- Très pâteuse 2- Pâteuse 3- Peu croustillante 4- Croustillante 5- très croustillante

Echantillon :

A B C D

• **Comment jugez-vous la consistance de biscuit ?**

1- Très consistante 2- Consistante 3- Légère 4- Peu légère 5- Fortement légère

Echantillon :

A B C D

• **Comment jugez-vous la friabilité de biscuit ?**

1- Pas fiable 2- Peu fiable 3- Moyennement fiable 4- Fortement fiable 5- Très fiable

Echantillon :

A B C D

3- Attribuez pour chaque échantillon une note de préférence entre 1 à 9, sachant que le numéro 1 correspond à l'échantillon le moins préféré et le numéro 9 à celui le plus préféré.

A B C D

4- Quels sont les paramètres qui ont motivé votre préférence ?

(1) la Couleur du gâteau, (2) le goût du gâteau, (3) la texture du gâteau, (4) la consistance du gâteau (5) la friabilité du gâteau, (6) goût de grille, (7) autre (mentionnez)

A B C D

Merci pour votre participation ☺

Résumé

Le présent travail porte sur la valorisation des fleurs, graines et tourteaux d'*Opuntia ficus indica* en vue de leur incorporation comme ingrédient naturel de substitution de farine de blé pour la préparation des biscuits. Les résultats de l'analyse physico-chimique ont montré que la poudre des graines avait une meilleure teneur en cendres (6,54%), en sucres totaux (378,84 mg/100 g) et en protéines (58,67 mg/100 g de MS). L'analyse phytochimique a montré que l'extrait de poudre des fleurs a enregistré les meilleurs résultats dont la teneur varie de 68,08 mg EAG/100 g MS pour les polyphénols totaux ; 6,91 mg QE/100 g de MS pour les flavonoïdes totaux ; 13,05 mg EQ/100 g de MS pour flavonols et 0,22 mg/100 g de MS pour les tannins condensés. Les résultats de l'activité antioxydante ont révélé que l'extrait de poudre des fleurs donne une meilleure activité antioxydante pour le test de phosphomolybdate (IC₅₀ de 112,03 mg/mL), et pour le test de DPPH (IC₅₀ de 31,62 mg/mL), ainsi que pour le pouvoir réducteur de fer (IC₅₀ de 123,77 mg/mL). Tandis que, les graines ont enregistré une meilleure capacité à piéger le radical ABTS^{•+} (IC₅₀ de 118,64 mg/mL). Les résultats des analyses physico-chimiques des biscuits ont montré que les biscuits à base des tourteaux ont donné une teneur plus élevée en protéines (83,97 mg/100 g) et les biscuits à base des graines la meilleure concentration en cendres (3,21%). Les biscuits à base des fleurs ont l'activité anti-radicalaire la plus élevée (81,04%). Ces résultats montrent que la valeur nutritionnelle des biscuits a été améliorée par l'addition des poudres d'enrichissement. L'analyse sensorielle a permis de montrer la préférence des biscuits formulés à base de fleurs et graines (80%) par les experts.

Mots clés : *Opuntia ficus indica*; fleurs ; graines ; tourteaux ; biscuits ; analyses physico-chimiques ; analyses phytochimiques.

Abstract

The present work concerns the valorisation of *Opuntia ficus indica* flowers, seeds and seed cake with a view to their incorporation as a natural ingredient to replace wheat flour in the preparation of biscuits. The results of the physico-chemical analysis showed that the seeds powder had a higher ash (6.54%), total sugar (378.84 mg/100 g) and protein (58.67 mg/100 g DW) content. Phytochemical analysis showed that the powdered extract of the flowers recorded the best results, with contents ranging from 68.08 mg EAG/100 g DW for total polyphenols; 6.91 mg EQ/100 g DW for total flavonoids; 13.05 mg EQ/100 g DW for flavonols and 0.22 mg/100 g DW for condensed tannins. The antioxidant activity results showed that the flowers powder extract gave better antioxidant activity for the phosphomolybdate test (IC₅₀ of 112.03 mg/mL), and for the DPPH test (IC₅₀ of 31.62 mg/mL), as well as for the iron reducing power (IC₅₀ of 123.77 mg/mL). On the other hand, the seeds showed a greater capacity to trap the ABTS^{•+} radical (IC₅₀ of 118.64 mg/mL). The results of the physico-chemical analyses of the biscuits showed that the seed cake-based biscuits had the highest protein content (83.97 mg/100 g) and the seed-based biscuits the highest ash concentration (3.21%). Flowers-based biscuits had the highest anti-free radical activity (81.04%). These results show that the nutritional value of the biscuits has been improved by the addition of the enrichment powders. Sensory analysis showed that experts preferred biscuits made with flowers and seeds (80%).

Key words : *Opuntia ficus indica*; flowers; seeds, seed cake ; biscuits ; physico-chemical analyses ; phytochemical analyses.