

République algérienne Démocratique et populaire
Ministre de l'enseignement Supérieure et de la recherche scientifique
Université Mohamed Boudiaf M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT Des sciences
de la nature et de vie
N° :.....



DOMAINE : SCIENCES DE LA
NATURE ET DE VIE
FILIERE : SCIENCES
ALIMENTAIRES
OPTION : Contrôle de qualité
Et sécurité alimentaire

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Professionnelle

Par: SAOULI kaouther, HADJAB Sawsen, KHERIFI Amira

Intitulé

Utilisation des flavonoïdes
comme conservateur alimentaire naturel

Soutenu devant le jury composé :

Dr. RAHALI Abdeallh	Université de M'Sila	Promoteur
Dr. BENSLAMA Abderrahim	Université de M'Sila	Examineur
Dr. CHERIF Kamel	Université de M'Sila	Président

Année universitaire : 2022/2023

Remerciement

Nous remercions Dieu, les bienfaiteurs, de nous avoir donné le courage et la volonté nécessaires pour accomplir cette tâche.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de cet thèse. Le chemin que nous avons parcouru jusqu'ici n'aurait pas été possible sans leur précieux soutien.

Tout d'abord, je tiens à remercier sincèrement mon promoteur et professeur DR·RAHALI Abdellah pour son expertise, son encadrement et ses bons conseils. Leur engagement envers notre projet de recherche est essentiel à son succès. Leurs encouragements constants, leur disponibilité et leur patience nous ont permis de progresser et de repousser nos limites.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements aux membres du jury : le Président Dr·CHERIF Kamel et l'examineur Dr· BENSÉLAMA Abderrahim.

Nos amis méritent aussi une mention spécial. Leur présence, leurs encouragements et leur amitié sont une source d'inspiration dans les moments de doute et d'épuisement. Leur incroyable soutien a rendu cette expérience encore plus enrichissante.

Ce mémoire de fin d'étude est le fruit de l'engagement collectif et de la bienveillance de tous ceux qui nous entourent. Leur confiance, leur soutien et leurs encouragements ont été les piliers de notre réussite.

Avec une profonde gratitude,

Merci du fond du cœur à chacun d'entre vous d'avoir été avec nous durant ce aventure. Votre contribution a été essentielle et sera gravée à jamais dans nos archives.

Avec une profonde gratitude,

@Kaouther @Sawsen @Amira

Dédicace

Pour l'âme de ma mère r, que Dieu ait pitié d'elle, dont la bienveillance continue de guider mes pas et d'inspirer ma résolution.

Merci à mon père d'avoir toujours été mon pilier, mon inspiration et ma confidente, d'avoir cru en moi et de m'avoir encouragé à poursuivre mes rêves.

Mon frère et mes sœurs ont partagé avec moi les joies et les défis de ce parcours académique, et je vous remercie pour votre soutien mutuel et votre complicité.

Merci à mon mari qui a été mon pilier de force et ma source inébranlable de motivation, et à mes enfants bien-aimé.

Merci à tous mes beaux-frères et à tous les descendants de ma famille

Enfin, à tous les membres actuels et futurs de ma famille, je vous envoie ce document en guise d'expression de soutien, d'amour et de gratitude.

Crois-moi.

À ma chère amie Sawsen, nous continuerons d'avancer ensemble pour inspirer les générations futures et contribuer à un monde meilleur. Et bien sûr Amira, la petite de notre groupe.

Avec tout mon amour et ma gratitude,

@ kaouther

Dédicace

Pour les âmes de mon père et de ma sœur, que Dieu ait pitié d'eux, dont la bienveillance continue de guider mes pas et d'inspirer ma résolution.

Merci à ma mère d'avoir toujours été mon pilier, mon inspiration et ma confidente, d'avoir cru en moi et de m'avoir encouragé à poursuivre mes rêves.

Mes frères et sœurs ont partagé avec moi les joies et les défis de ce parcours académique, et je vous remercie pour votre soutien mutuel et votre complicité.

Merci à mon mari qui a été mon pilier de force et ma source inébranlable de motivation, et à mes enfants bien-aimés.

Merci à tous mes beaux-frères et à tous les descendants de ma famille, Merci à la personne qui m'a encouragé à faire les premiers pas dans cette aventure "Saliha"

Je présente humblement ma thèse.

À ma chère amie Kawthar, nous continuerons d'avancer ensemble pour inspirer les générations futures et contribuer à un monde meilleur. Et bien sûr Amira, la petite de notre groupe.

Avec tout mon amour et ma gratitude,

@ Sawsen

Dédicace

"Je dédie ce travail à Dieu Tout-Puissant et Tout Miséricordieux. Gloire à Allah qui m'a soutenu tout au long de ma vie dans Sa force et sa majesté et m'a donné le courage nécessaire pour mener à bien ce travail, force et santé".

Merci mon père pour tout ce que tu as fait et continuera de faire pour moi. Grâce à ma mère, elle n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager durant mes années d'études. Mes frères et sœurs ont partagé avec moi les joies et les défis de ce parcours académique, et je vous remercie pour votre soutien mutuel et votre complicité. Merci à mon mari pour sa patience et son soutien tout au long des travaux. Merci à tous les descendants de ma famille · À ma chère amie Madjeda pour ton soutien, tes encouragements, tes conseils et ton amour, qui ont été les piliers de ma réussite · Mes chers Sawsen et Kaouther vous remercient et je vous souhaite toujours le meilleur avec tout mon amour et ma gratitude.

@Amira

Liste des abréviations :

PAL : Phénylalanine ammonialyase.

CHS : Chalcone synthase.

CHI : Chalcone isomérase.

FSI : Flavone synthétases.

FHT : Flavanone hydroxylase.

FLS : Flavonol synthase.

NHDC : Néohespéridine dihydrochalcone.

CLHP : Chromatographie liquide haute performance.

ERO : Espèces réactives d'oxygène.

DFT: Théorie fonctionnelle de la densité.

CMC : Carboxymethyl cellulose.

LAB: Bactéries lactiques (Lactic Acid Bacteria).

GRAS: Generally Recognized as Safe.

Liste des tableaux :

Tableau 1 .1 : Les différentes classes des flavonoïdes	9
Tableau 1 .2 : Représente la distribution des principaux flavonoïdes dans certains aliments.....	10
Tableau 1 .3 : Représente Plantes médicinales riches en flavonoïdes.....	12
Tableau 1 .4 : Absorption UV des flavonoïdes dans le méthanol.....	17
Tableau 1 .5 : Quelque source naturelle des flavonoïdes.....	20

Table des figures :

1 .1	structure de base d'un flavonoïde	5
1 .2	Schéma présentatif la classification des flavonoïdes avec la source végétale	8
1 .3	Principales étapes de biosynthèses des différentes classes des flavonoïdes	13
1 .4	Schéma représentant le domaine d'absorption des flavonoïdes dans le domaine UV-visible	15
1 .5	Sites de chélation des ions métalliques (M) des flavonoïdes	18
1 .6	Principaux composés phénoliques présents dans les feuilles de Quercus (acide chlorogénique, acide vanilique), les glands (acide gallique, acide ellagique, épicatechine, naringénine, quercétine) et l'écorce (ellagitannins)	25
1 .7	Partie d'une plante et composé phénolique actifs qu'elles contiennent	27
1 .8	Plante de tubercule sauvage (gadung tuber dioscoreae hispida dennst)	28
1 .9	Plante d'échalote frais et séchée	29

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Table des figures

Introduction : 1

Chapitre

Les flavonoïdes

I. Définition : 4

I. 1 : Historique : 5

I. 2 : Nomenclature des flavonoïdes : 5

I. 3 : Classification des flavonoïdes : 6

II. Localisation et sources: 8

II. 1 : Localisation tissulaire de flavonoïde : 8

II. 2 : Sources dans les règnes végétal et animal: 9

II. 1 : Biosynthèse des flavonoïdes : 11

II. 2 : Biodisponibilité des flavonoïdes : 14

III. Propriétés physico-chimiques et biologiques : 14

III. 1 : Solubilité des flavonoïdes : 14

III. 2 : Absorption dans l'UV-visible : 15

III. 3 : Stabilité des flavonoïdes : 16

III. 4 : Inhibition d'enzymes : 17

III. 5 : Chélation d'ions métalliques : 17

IV. Sources alimentaires et consommation des flavonoïdes : 19

IV .1 : Sources alimentaires 19

IV .2 : Consommation : 20

Chapitre II

Flavonoïdes conservateurs alimentaires

Introduction : 22

I. L'utilisation des flavonoïdes dans la conservation des aliments: 23

I. 1 : Mécanismes d'action des flavonoïdes dans la conservation des aliments : 23

I. 2 : Les étapes à suivre pour utiliser les flavonoïdes comme conservateurs: 25

I. 3 : Les Méthodes d'application des flavonoïdes dans la conservation des aliments : 25

II. Les avantages de l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires naturel:	29
II. 1 : Les recherches récentes sur l'utilisation des flavonoïdes dans la conservation des aliments:	30
II. 2 : L'étude sur l'effet des flavonoïdes dans la conservation des aliments :	30
Conclusion :	32
Références Bibliographiques	33

Résumé

ملخص

Summary

Introduction :

L'industrie alimentaire est confrontée à un défi constant : comment maintenir la fraîcheur et la qualité des aliments tout en garantissant la sécurité des consommateurs. Pour cela, l'utilisation de conservateurs alimentaires efficaces et sûrs est cruciale. Cependant, avec l'inquiétude croissante suscitée par les additifs chimiques, de plus en plus de recherches se sont concentrées sur l'exploration de solutions naturelles pour la conservation des aliments.

Les flavonoïdes, un groupe de composés bioactifs largement présents dans les plantes, ont récemment suscité un grand intérêt en tant que conservateurs potentiels.

Cette étude de la littérature vise à explorer l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires.

Les flavonoïdes sont des métabolites secondaires dans de nombreuses plantes telles que les fruits, les légumes et les herbes. Ils sont connus pour leurs propriétés antioxydantes, antibactériennes et anti-inflammatoires, qui leur confèrent un potentiel intéressant en tant qu'antiseptiques naturels.

L'objectif principal de cette étude était de collecter et d'analyser les informations disponibles dans la littérature scientifique sur l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires.

Nous examinerons différentes classes de flavonoïdes et leurs mécanismes d'action supposés, ainsi que leur efficacité dans la conservation des aliments. De plus, nous examinerons comment les flavonoïdes sont utilisés concrètement dans divers produits alimentaires, tels que la viande et les produits laitiers.

Pour mener à bien cette étude bibliographique, nous avons effectué une recherche approfondie dans des bases de données académiques et scientifiques. Nous avons sélectionné des articles, des études et des revues consacrées à l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires.

Enfin, cette étude bibliographique vise à fournir une synthèse des dernières connaissances sur l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires, en mettant en évidence leurs avantages.

Les résultats de cette étude peuvent aider à faire avancer la recherche dans le domaine de la conservation des aliments naturels et à développer des stratégies plus durables pour la préservation de la qualité des aliments.

Introduction:

Notre étude se compose de deux chapitres; un premier chapitre qui explore les flavonoïdes en tant que composés naturels, abordant leur historique, leur nomenclature, leurs classifications, leur biosynthèse, leurs sources alimentaires, leurs propriétés physico-chimiques et leur consommation.

Le deuxième chapitre se concentre sur l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires naturels. Il examine les mécanismes d'action, les étapes à suivre pour leur utilisation, les méthodes d'application (Extraits de plante, Films comestibles, Cultures des micro-organismes producteurs de flavonoïdes) ainsi que leurs avantages. Des études récentes sur l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires sont également présentées.

Chapitre I :

Les flavonoïdes

Introduction :

Les flavonoïdes constituent un groupe de plus de 6000 composés naturels qui sont quasiment universels chez les plantes vasculaires **(1)**.

Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de différents organes végétaux **(2)**. Les flavonoïdes sont rencontrés dans les fruits (notamment du genre Citrus où ils représentent jusqu'à 1 % des fruits frais) et les légumes. Des boissons telles que le vin rouge, le thé, le café et la bière en contiennent également des quantités importantes. Les flavonoïdes sont retrouvés également dans plusieurs plantes médicinales.

Des remèdes à base de plantes renfermant des flavonoïdes ont été (et sont) utilisés en médecine traditionnelle de par le monde **(3)**.

Les travaux relatifs aux flavonoïdes se sont multipliés depuis la découverte du « French paradox », correspondant à un bas taux de mortalité cardiovasculaire observé chez des populations méditerranéennes associant une consommation de vin rouge à une prise importante de graisses saturées **(4)**.

I. Définition :

Les flavonoïdes, présents dans la plupart des fruits et légumes, font partie des composés photochimiques les plus importants de notre alimentation (5). Ces molécules appartiennent à un groupe de poly phénols constitué de deux cycles benzéniques (A et B) reliés par un cycle phéniques contenant de l'oxygène (C). Les flavonoïdes avec un groupe hydroxyle en position C-3 du cycle C sont classés comme 3-hydroxy flavonoïdes (sous-classe comprenant les flavonols, les anthocyanes, les leucocyanidines et les catéchines), tandis que ceux sans classe sont classés comme 3-désoxy flavonoïdes (une classe qui comprend les flavanones et sous-classes de flavonoïdes) (Fig. 1.1).

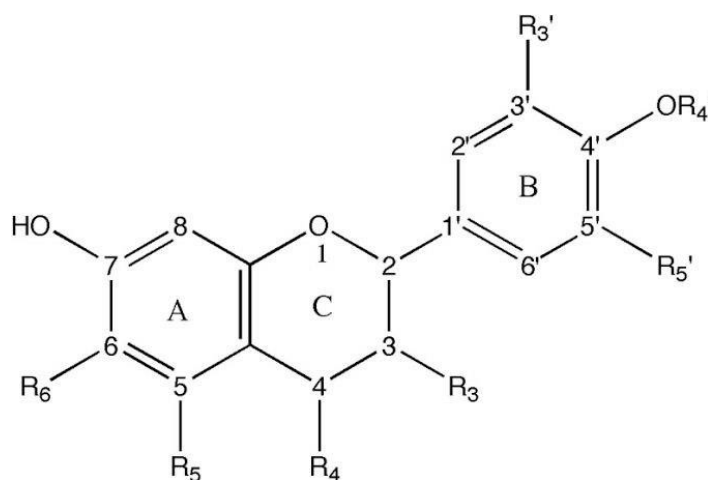


Figure 1.1 : structure de base d'un flavonoïde (1)

La classification de ces deux familles est basée sur la présence ou l'absence de groupes hydroxyle et méthyle supplémentaires et leurs positions d'insertion dans le squelette de base. En plus de ces deux familles, le cycle B des isoflavones est lié au C-3 du cycle C au lieu du C-2, faisant des isoflavones une classe. Notamment, les anthocyanes et les catéchines n'ont pas de carbonyle en C-4 (1).

Les flavonoïdes existent principalement dans les plantes sous forme de glycosylation, et rarement sous forme d'aglycone (exemple d'un groupement saccharide). Il existe au moins huit types de monosaccharides ou leurs combinaisons (di- ou tri-saccharides) qui peuvent se lier à différents groupes hydroxyle libres sous la forme d'aglycones flavonoïdes. Ces combinaisons conduisent à une probabilité très élevée de produire des flavonoïdes. En règle générale, les glycosides existent sous des formes O-glycosylsilicate dans lesquelles les sucres (le plus souvent le d-glucose et le l-rhamnose) sont attachés au groupe hydroxyle en C-3 ou C-7 (1).

I. 1 : Historique :

Il y a des siècles, les guérisseurs préparaient des médicaments composés de flavonoïdes et les administraient à leurs patients. Par exemple, dans la Grèce antique, Hippocrate recommandait la propolis aux personnes souffrant de plaies et d'ulcères (6).

En Chine, la phytothérapie *Scutellaria baicalensis*, contenant de la baicaleine, la flavone responsable de son activité antimicrobienne, a longtemps été appliquée sur les plaies buccales infectées et les maladies parodontales (6). Les Européens utilisaient des plantes comme remèdes folkloriques traditionnels qui contiendraient des flavonoïdes ayant une activité thérapeutique (7). L'apigénine était la flavone confirmée comme constituant responsable de l'effet calmant des fleurs de camomille; la quercétine a fourni l'effet calmant nerveux de la bruyère; l'application combinée de quercétine et de kaempférol a produit un effet sédatif lorsque les fleurs de tilleul étaient utilisées (7).

L'utilisation du thé a été documentée pour la première fois en 2700 avant JC, tandis qu'Eisai, un moine japonais, a enregistré ses effets thérapeutiques pour la première fois en 1211(8). Des extraits de thé ont été consommés par des aventuriers européens du XVI^e siècle pour soulager «la fièvre, les maux de tête, les maux d'estomac et les douleurs articulaires» (8). On pense que les antioxydants, les poly phénols, comme les catéchines et les flavones, sont les éléments du thé responsables de son potentiel thérapeutique (8). Dans les années 1930, Albert Szent-Györgyi a été le premier à isoler la rutine, un glycoside flavonoïde, des oranges, dont il a découvert qu'il donnait de la force aux parois capillaires par un moyen que la vitamine C ne pouvait pas; les flavonoïdes étaient à l'origine appelés vitamine P, mais en raison de la diversité des flavonoïdes présents dans la nature, ils ne pouvaient pas être étiquetés comme une seule vitamine (8).

I. 2 : Nomenclature des flavonoïdes :

En plus de l'état d'oxydation et des substituant du cycle C, les flavonoïdes sont également divisés en sous-classes en fonction de l'attachement du cycle B au cycle C (9). Ils sont également classés et identifiés individuellement en fonction des schémas d'hydroxylation et de conjugaison des cycles A, B et C (9). Les flavonoïdes peuvent recevoir des noms triviaux qui peuvent faire référence à leur classe ou à leur source botanique ; par exemple, le suffixe "etin" indique un flavonol, et le composé hypolaetin est obtenu à partir de plantes du genre *Hypolaena* (6) Ils peuvent être nommés de manière semi-systématique selon des noms triviaux, tels que la chalcone comme structure mère dans la 3, 3, 4, 5,7-pentahydroxyflavone (6). Une troisième façon peu pratique de nommer les flavonoïdes consiste à leur donner des noms chimiques systématiques, tels que 3,4-dihydro-2-phényl-

2H-benzopyrane pour les flavanes (6). La biosynthèse de diverses sous-classes de flavonoïdes se produit par des voies complexes catalysées par des enzymes spécifiques.

I. 3 : Classification des flavonoïdes :

Les flavonoïdes se répartissent en plusieurs classes de molécules selon le degré d'oxydation et la nature des substituants portés sur le cycle C (10), 14 groupes différents ont été identifiés dont six groupes sont particulièrement les plus répandus et les mieux caractérisés flavones, isoflavones, flavanones, flavanols, flavonols, anthocyanidines (11).

I. 3.1. Les flavonols :

Les flavonols sont les constituants flavoniques les plus abondants des aliments. Les composés les plus représentatifs de cette famille sont le kaempferol et la quercétine. Ces dernières possèdent un très fort pouvoir antioxydant en raison de leur structure chimique favorable au piégeage des radicaux libres (12).

I. 3.2. Les flavones :

Les flavones sont abondantes chez les plantes supérieures sous les deux formes aglycones ou glycosylées. Certaines sont responsables de l'aspect blanc ou ivoire de certaines fleurs, comme les roses et les œillets. Ils ont des activités physiologiques remarquables, notamment des propriétés antimicrobiennes et antivirales (14).

I. 3.3. Les flavanones :

Les Flavanones ont une structure similaire à celle des flavones mais ne possèdent pas d'insaturation au niveau de l'hétérocycle. Les flavanones sont fréquemment rencontrés chez les Myrtacées (15). Dans l'alimentation, les flavanones se retrouvent dans les tomates, certaines plantes comme la menthe, et sont présents en grandes quantités dans les agrumes. Les principaux aglycones sont la naringénine dans le pamplemousse, l'héspéridine dans l'orange et l'ériodictyol dans le citron.

I. 3.4. Les isoflavones :

Les produits dérivés du soja sont la principale source d'isoflavones dans l'alimentation, glycosylées ou non. On les rencontre aussi dans les légumineuses (16).

I. 3.5. Les flavanols :

Les flavanols existent sous forme de monomères : l'unité la plus simple est la catéchine, ou polymérique appelés pro anthocyanidines. La catéchine est présente dans de nombreux fruits comme la pomme, le chocolat et le thé restent les principales sources de ce composé.

I. 3.6. Les anthocyanes:

Les anthocyanes sont des pigments naturels qui donnent les couleurs à de nombreuses plantes. Leur aptitude à se solubiliser facilement dans les milieux aqueux offre des possibilités très larges dans le domaine industriel. Ils sont responsables de la coloration (orange, rose, rouge, violet et bleu) de certaines fleurs (tulipe, rose, orchidée) et fruits (pomme, baies, raisin). Leurs génines (anthocyanidols) sont des dérivés du cation 2-phénylbenzopyrylium (cation flavylum). Une propriété importante de ces composés réside dans leur aptitude antioxydante, et de nombreuses études sur leurs activités biologiques en témoignent (**Figure 1 .2**) (**Tableau 1 .1**) (17).

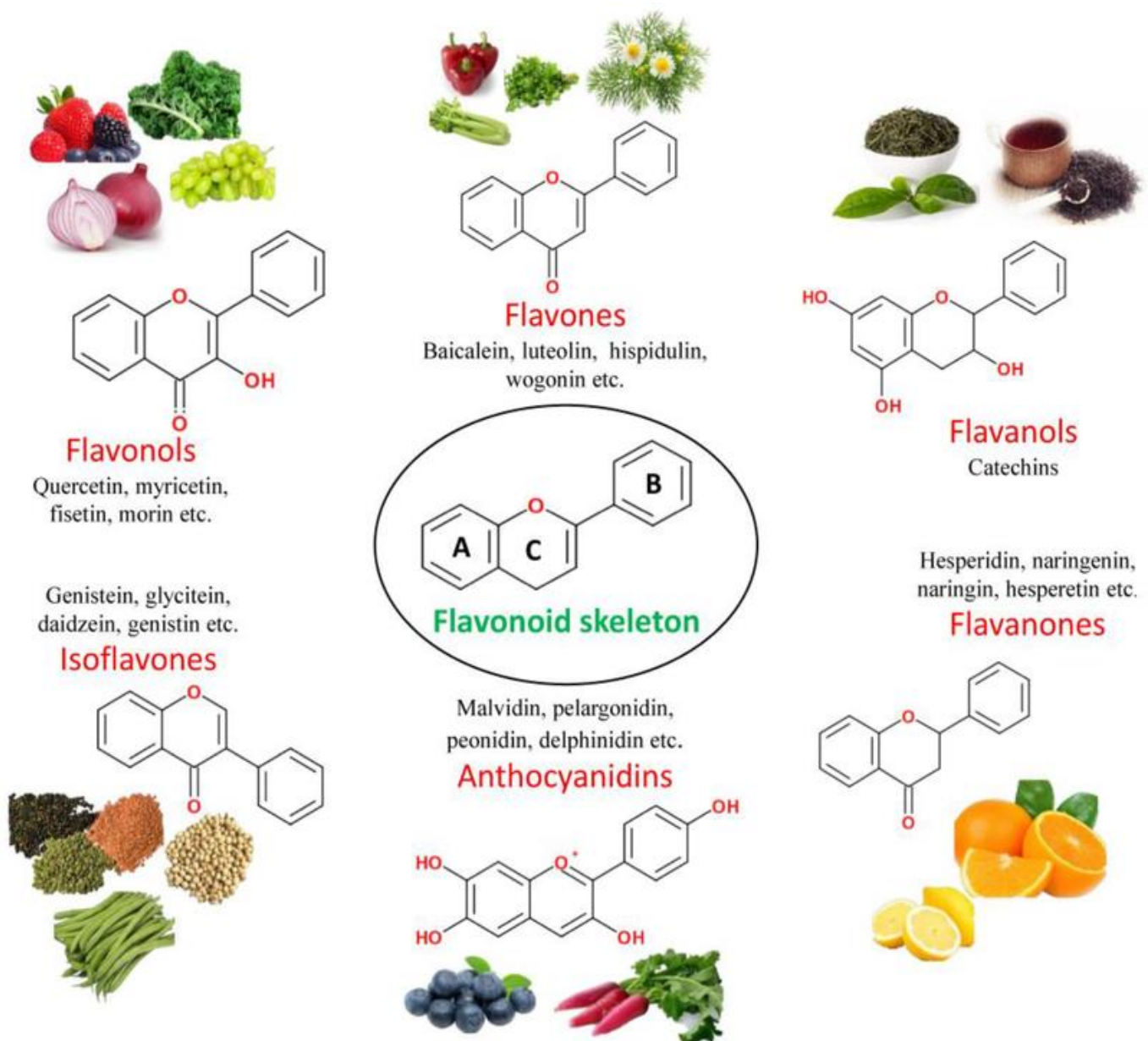


Figure 1 .2 : Schéma présentatif la classification des flavonoïdes avec la source végétale (18).

Structure des différentes classes de flavonoïdes	Exemple	Substitutions					
		5	6	7	3'	4'	5'
FLAVONOL	Kaempférol Quercétine Myricétine	OH OH OH	H H H	OH H OH OH	H OH OH	OH OH OH	H OH OH
FLAVONE	Apigénine Chrysin Lutéoline	OH OH OH	H H H	OH H OH H	H OH OH	OH H OH	H H OH
FLAVANONE	Hespéridine Naringénine	OH OH	H H	OH OH	OH H	OMe OH	H H
ISOFLAVONE	Diadézéine Génistéine	OHH OHH	OH OH	OH OH OH	OH OH	OH OH	H OH
FLAVAN-3-OL	Catéchine Gallocatechine			HHOHHOHH OH H OH HOHH			
ANTHOCYANE	Pélgargonidine Cyanidine Delphinidine	OHH OH OH	OH H H	H OH OH	OH OH OH	OH OH OH	H H OH
CHALCONE							
AURONES							

Tableau 1-1 : Les différentes classes des flavonoïdes (19).

II. Localisation et sources:

II. 1 : Localisation tissulaire de flavonoïde :

Les flavonoïdes sont impliqués dans de nombreuses interactions des plantes avec les conditions biotiques et abiotiques de leur environnement, ces substances sont accumulées dans différentes parties cellulaires et tissulaires de la plante durant l'organogénèse et sous l'influence de plusieurs facteurs stimulants (20). Sur le plan cellulaire, les flavonoïdes sont synthétisés dans les chloroplastes puis migrent et se dissolvent dans les vacuoles (21), la répartition de ces composés montre des accumulations très localisées, généralement en relation avec une fonction physiologique ou avec l'interaction la plante avec son environnement. Ainsi, les flavonoïdes qui ont une localisation épidermique ont un rôle

d'écran vis-à-vis des rayonnements solaires, tandis que ceux qui sont impliqués dans les mécanismes de défense ont plutôt une localisation sous épidermique (22).

II. 2 : Sources dans les règnes végétal et animal:

Les flavonoïdes sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs : racines, tiges, feuilles, fruits, graines, bois, pollens (23), ils peuvent aussi être rencontrés dans certains boissons et chez certains fourrages (ex: trèfle) (24).

Certaines classes de flavonoïde sont présents exclusivement chez certains végétaux, on trouvera par exemple, les flavonones dans les agrumes, les isoflavones dans le soja, les anthocyanes et les flavonols ont eux une large distribution dans les fruits et les légumes tandis que les chalcones se retrouvent plus fréquemment dans les pétales des fleurs, sont considérés comme des pigments naturels au même titre que les chlorophylles et les caroténoïdes (25).

Le monde animal est très concerné par les flavonoïdes dont ont isolé respectivement quinze et seize composés aromatiques à partir du lait de vache avec respectivement 6 et 5 composés importants dus principalement à la consommation des plantes par les herbivores (25).

On trouve aussi la chrysin, la quercétine, de la galangine dans les propolis : sécrétion des bourgeons de nombreux arbres (le bouleau, le sapin, le saule...) récoltés par les abeilles, ces insectes les fabriquent en modifiant la propolis par leurs enzymes salivaires. Les abeilles mettent en œuvre les propriétés antifongiques et antibactériennes des polyphénols pour aseptiser leurs ruches (Tableau 1 .2) (Tableau 1 .3) (26).

Flavonoïdes	Exemple	Aliment	Caractéristiques
FLAVONOLS	Quercétine kaempférol	Oignon, poireau, brocolis, pommes, chou frisé, vin rouge, thé.	Le groupe le plus abondant des composés phénoliques.
FLAVONES	Lutéoline Apigénine	Persil, céleri.	Le groupe le plus abondant des composés phénoliques, les flavones se diffèrent des flavonols seulement par le manque d'un OH libre en C3, ce qui affecte ainsi leur absorption aux UV, mobilité chromatographique et les réactions de coloration.
Flavanone	Naringénine	Fruits du genre	Sont caractérisés par l'absence

	Eriodictyol	citrus.	de la double liaison C2-C3, le flavanone le plus abondant est la naringénine, isolée pour la première fois à partir des écorces de citrus.
ISOFLAVONES	Genisteine Daidzeine	Graines de soja et produits qui en dérivent.	Caractérisés par leur variabilité structurale dont l'attachement du cycle B se fait en C3. Ils sont présents dans les plantes sous forme libre ou glycosylée.
FLAVAN 3-OLS	Catéchine Epicatéchine Epigallocatec hine	Vin rouge, thé noire, thé vert, cacao, chocolat	Falvan –ols ainsi que flavan 3,4 diols sont tout les deux impliqués dans biosynthèse de proanthocyanidines (tanins condensés) par des condensations enzymatiques et chimiques
ANTHOCYANIDINES	Cyanidine Delphénidine	Raisins, vin rouge, certaines variétés de céréales.	Représentent le groupe le plus important des substances colorées, ces pigments hydrosolubles des anigiospermes.

Tableau 1-2 représente la distribution des principaux flavonoïdes dans certains aliments (27).

PLAN	FAMILY	FLAVONOÏD
Aloe vera	Asphodelaceae	Luteolin
Acalypha indica	Euphorbiaceae	Kaempferol glycosides
Azadirachta indica	Meliaceae	Quercetin
Andrographis paniculata	Acanthaceae	5-hydroxy-7,8-dimethoxyflavone
Bacopa moneirra	Scrophulariaceae	Luteolin
Betula pendula	Betulaceae	Quercetrin
Butea monospermea	Fabaceae	Genistein
Bauhinia monandra	Fabaceae	Quercetin-3-O-rutinoside
Brysonima crassa	Malphigaceae	(+)-catechin
Calendula officinalis	Compositae	isorhamnetin
Cannabis sativa	Compositae	Quercetin
Citrus medica	Rutaceae	hesperidin
Clerodendrum phlomidis	Verbenaceae	Pectolinarigenin,
Clitoria ternatea	Fabaceae	kaempferol-3-neohesperidoside
Glyccheriza glabra	Leguminosae	Liquiritin,
Mimosa pudica	Mimosoideae	Isoquercetin
Limnophila indica	Serophulariaceae	3,4-methlenedioxyflavone
Mentha longifolia	Lamiaceae	Luteolin-7-O-glycoside
Momordica charantia	Curcurbitaceae	Luteolin
Oroxylun indicum	Bignoniaceaea	Chrysin
Passiflora incarnate	Passifloraceae	Vitexin
Pongamia pinnata	Fabaceae	Pongaflavonol
Tephrosia purpurea	Fabaceae	Purpurin
Tilia cordata	Tiliaceae	hyperoside

Tableau 1-3 Représente Plantes médicinales riches en flavonoïdes (28).

II. 1 : Biosynthèse des flavonoïdes :

Les flavonoïdes sont largement distribués dans les angiospermes et leur métabolisme phénolique produit un grand nombre de structures moléculaires caractérisées par une diversité phénotypique. Malgré leur structure variable, ces molécules sont toutes issues de la même voie de biosynthèse, dont les différentes étapes sont mieux connues d'un point de vue biochimique et moléculaire. La structure des flavonoïdes est toujours organisée autour d'un squelette C6-C3-C6 1,3-diphénylpropane, décrit par une nomenclature spécifique.

Des voies communes sont impliquées dans la biosynthèse des flavonoïdes : la voie du shikimique via la phénylalanine ammonialyase (**PAL**) (23), et la voie de l'acétate via la chalcone synthase (**CHS**) (29). La PAL permet la synthèse d'acide p-coumarique et d'acide cinnamique. Le raffinement du composé phénolique consiste en la condensation de trois

unités malonyl-CoA avec l'acide p-coumarique, résultant en deux cycles aromatiques A et B est lié par l'hétérocycle C. Ces condensations sont catalysées par la chalcone synthase (**CHS**), enzyme clé dans la formation des flavonoïdes qui conduit à un précurseur, une chalcone (**Figure 1-4**). Les chalcones nouvellement formées produisent des flavanones (naringénine), une conversion catalysée par la chalcone isomérase (**CHI**) (**30**).

La naringénine est au centre de la synthèse de différentes classes de flavonoïdes par action enzymatique la flavone - synthétases (**FSI**) introduit une double liaison en 2,3 pour donner une flavone ; la flavanone - 3 - hydroxylase (**FHT**) catalyse l'hydroxylation en position 3 d'une flavanone pour donner un dihydroflavonol qui est transformé en flavonol par la flavonol synthase (**FLS**). Ces molécules peuvent subir deux types de substitutions : les O-substitution et les C-substitutions qui sont soit de nature hydroxylique, méthoxylique ou osidique (**31**).

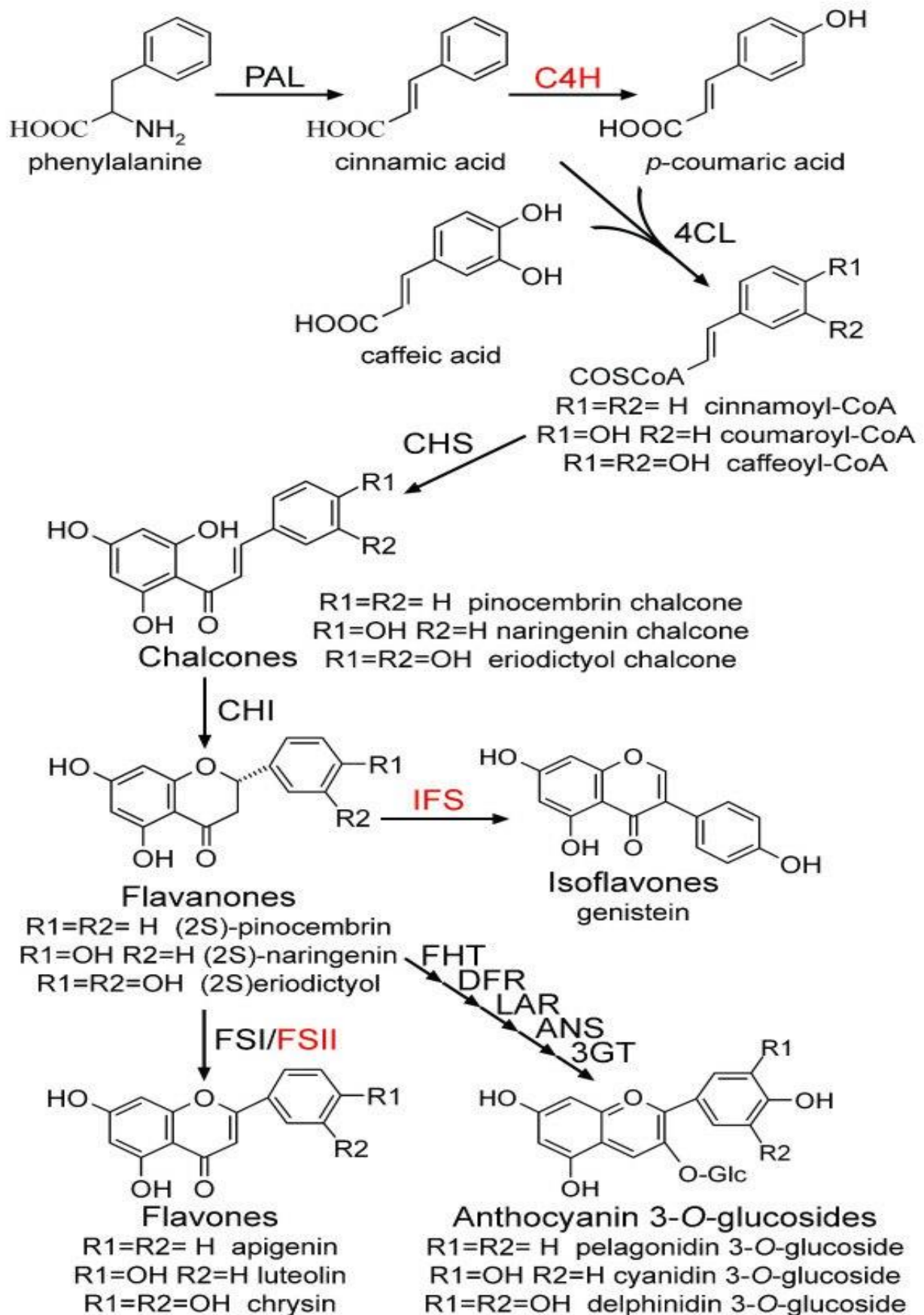


Figure 1 .3 : Principales étapes de biosynthèses des différentes classes des flavonoïdes (31).

II. 2 : Biodisponibilité des flavonoïdes :

Une meilleure compréhension de la biodisponibilité des flavonoïdes est essentielle pour expliquer leurs effets protecteurs sur la santé. Les effets des flavonoïdes sur la santé dépendent non seulement de leur apport mais aussi de leur biodisponibilité. Peu d'études systématiques ont été menées sur la pharmacocinétique des flavonoïdes chez l'homme. Cependant, à partir d'expériences avec des flavonoïdes dans les aliments, il apparaît que seuls les flavonoïdes sous forme d'aglycone (ou d'aglycone) sont absorbés. L'hydrolyse des liaisons hétérosidiques (reliant la génines à la chaîne sucrée) n'intervient que dans le côlon où le micro - organismes dégradent simultanément les flavonoïdes d'origine alimentaire. Le foie est largement impliqué dans le métabolisme des flavonoïdes absorbés (32).

III. Propriétés physico-chimiques et biologiques :

III. 1 : Solubilité des flavonoïdes :

L'utilisation des flavonoïdes en industrie pharmaceutique est malheureusement limitée par leur manque de solubilité en solution aqueuse, principalement due à la présence de groupes phénoliques.

Il est pratiquement impossible de prédire la solubilité d'un flavonoïde, sans l'avoir étudiée préalablement. La modélisation moléculaire est une méthode *in silico* qui est une étape préliminaire essentielle à la détermination de la solubilité d'une molécule, permettant un gain de temps considérable pour les scientifiques. L'équipe de Chebil (33) a réussi à prédire la solubilité de la quercétine en déterminant son énergie libre de solvation (AG_{solv} en kcal/mol) par modélisation moléculaire. Pour cela, ils ont testé la solubilité de ce flavonoïde en présence de différents solvants : l'eau, l'acétonitrile, l'acétone, l'alcool amylique tertiaire (2-méthyl-2-butanol) et le chloroforme. Les résultats ont montré que la quercétine est peu soluble dans l'eau, le chloroforme et l'acétonitrile. A l'inverse, cette molécule est très soluble dans l'acétone et l'alcool amylique tertiaire, deux composés amphiphiles (-28,99 et -28,88 kcal/mol respectivement). Ces résultats sont concordants avec ceux obtenus expérimentalement.

La détermination expérimentale de la solubilité des flavonoïdes implique de nombreux paramètres : le solvant utilisé, le composé et sa configuration, les conditions environnementales (température de la pièce, luminosité etc). Au sein d'un même sous-groupe, les composés présentent des structures très différentes, entraînant une capacité différente à se solubiliser. Par exemple, les hétérosides sont solubles dans l'eau et les solvants polaires (alcool, acétone). À l'inverse, les génines se solubilisent préférentiellement dans les solvants organiques peu polaires (éther éthylique, hexane) (34).

L'équipe de Benavente-Garcia et al. (35) a étudié la solubilité de la néohesperidine dihydrochalcone (NHDC) dans des mélanges eau/éthanol à différents volumes. Cette

étude a montré qu'à un mélange eau/éthanol 75/25, la solubilité de la NHDC à 20 °C est de 8 g.L alors qu'elle est de 123 g.L" pour un mélange 50/50. Cette solubilité se voit réduite lorsque l'on veut solubiliser ce composé dans de l'eau seule (0,4 g.L) ou bien de l'éthanol seul (12g.L").

Par ailleurs, la capacité d'un composé à se solubiliser est également due au pH. Tommasini et al ont montré qu'à pH 1,5, la solubilité de l'hespéridine et de la naringinine est respectivement de 0,06.10 et de 0,025.10 g.L". Leurs solubilités se voient augmenter d'un facteur 4 lorsque l'on augmente le pH à 8 (36).

Pour pallier à ce manque de solubilité des flavonoïdes, différentes stratégies ont été développées:

- L'acylation des groupements phénols 7-OH et 3'-OH de l'hespéridine (37). Cela a pour but de stabiliser la fonction du phénol et d'augmenter la solubilité du flavonoïde en milieu lipophile.
- La glycosylation de la naringine à l'aide de l'amylose maltogénique (bactérie *Bacillus Stearotherophilus*) et de maltotriose. Ce flavonoïde a vu sa solubilité augmenter de 250 fois dans l'eau (38).
- L'insertion d'une β -cyclodextrine dans l'hespéridine ou la naringinine. Tommasini et al (36) se sont aperçus que plus on augmentait la concentration de β -cyclodextrine dans ces composés, plus la solubilité augmentait.

III. 2 : Absorption dans l'UV-visible :

Les UV-visibles sont capables de pénétrer la couche d'ozone et potentiellement causer des dommages à la vie végétale.

Les flavonoïdes absorbent les UV visibles et sont capables d'agir comme des filtres anti-UV, protégeant ainsi les tissus photosynthétiques sous-jacents d'éventuels dommages (39). Les spectres des flavonoïdes présentent deux bandes d'absorption dans l'UV-visible (Figure 1. 4):

- ✓ La bande I, située entre 290 et 385 nm, représentative de l'absorption du cycle B (chromophore cinnamoyle);
- ✓ La bande II, située entre 240 et 285 nm, représentative de l'absorption du cycle A (chromophore benzoyl).

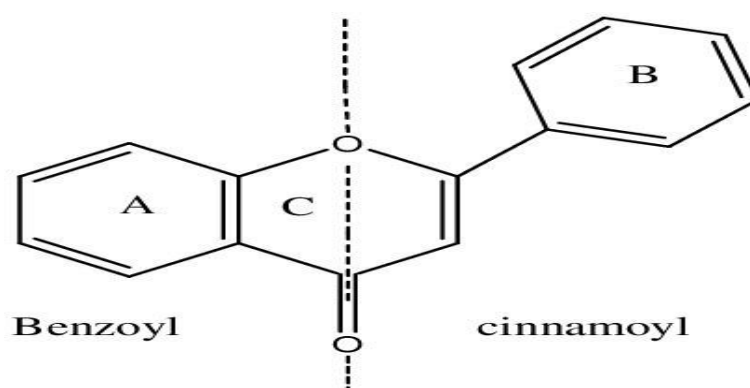


Figure 1.4 : Schéma représentant le domaine d'absorption des flavonoïdes dans

l'UV-visible (38).

Les bandes d'absorption des flavonoïdes peuvent se déplacer par l'influence de différents facteurs : la nature et la position de la substitution (hydroxylation, méthylation, acylation), le pH, le solvant, les interactions intramoléculaires « fortes » comme les liaisons π ou bien les interactions intermoléculaires « faibles » comme les liaisons hydrogènes.

Une substitution telle qu'une méthylation (ajout d'un groupe méthoxy O-CH₃) ou l'acylation (ajout d'un groupe acyle RCO-) affecte la position d'absorption des bandes qui auront tendance à se déplacer vers les plus courtes longueurs d'onde: c'est l'effet hypsochrome.

A l'inverse, une augmentation du degré d'hydroxylation entraîne un effet bathochrome (déplacement de la position de la bande spectrale vers les plus grandes longueurs d'onde).

C'est le cas de la bande I des flavonols qui est plus haute de 30 nm que celle de la flavone équivalant car cette dernière ne possède pas d'hydroxylation en position 4 (40) (tab 1.4).

Classe des flavonoïdes	Absorption UV-visible	
	Bande II (nm)	Bande I (nm)
Flavone	250 - 280	310 – 350
Flavonol	250 - 280	330 – 385
Flavanone	275 - 295	300 – 330
Anthocyane	270 - 280	465 – 560
Isoflavone	245 - 275	310 – 330
Flavanol	270 - 280	-

Tableau 1.4 : Absorption UV des flavonoïdes dans le méthanol.

III. 3 : Stabilité des flavonoïdes :

La stabilité des flavonoïdes est influencée par différents paramètres tels la lumière (41,42), le pH (43), la température (44) ou bien encore la présence d'enzymes (45).

a. Effet de la lumière :

Concernant l'étude de la stabilité de certains flavonoïdes à la lumière, Smith et al. (41) ont reporté que les flavones ont une plus grande photo stabilité que les flavonols. Les flavonols possèdent un groupe hydroxyle libre (-OH) en position 3 contrairement aux flavones qui n'en ont pas. L'absence de ce groupe chez les flavones leur confère ainsi une plus grande stabilité en présence de lumière.

b. Effet du pH :

Dans leur étude, Ungar et al se sont intéressés à la stabilité thermodynamique de deux flavonoïdes : la génistéine et la daidzéine (44). Pour ce faire, ils ont étudié la cinétique de dégradation de ces deux composés à haute température. La génistéine et la daidzéine ont été étudiées dans 2 milieux, l'un à pH 7 et l'autre à pH 9, à différentes températures (70°, 80° et 90°C). La dégradation de ces flavonoïdes a été suivie par Chromatographie Liquide Haute Performance (CLHP).

Les résultats ont montré qu'à haute température, la génistéine et la daidzéine se dégradent plus vite dans le milieu alcalin à pH 9. La stabilité de ces composés est plus faible à pH basique en raison d'une augmentation de leur oxydation due à une déprotonation (diminution du potentiel d'oxydation).

c. Effet de la configuration et du nombre de substituant :

La configuration des flavonoïdes et la nature du substituant influencent grandement leur stabilité en solution.

Selon Friedman et al. (46), la stabilité de certains acides aromatiques tels que l'acide trans-cinnamique, l'acide férulique, est plus importante que les composés phénoliques grâce à la stabilisation par résonance des intermédiaires de type phenoxy et quinoïque. Il semblerait que les groupes -OH situés sur l'anneau benzénique sont responsables de la non stabilité des composés phénoliques à pH élevés. Ainsi, les acides aromatiques ont une plus grande stabilité à pH élevé.

III. 4 : Inhibition d'enzymes :

Les flavonoïdes sont capables d'inhiber les enzymes tels que la xanthine oxydase (47) ou encore la protéine kinase (47) qui sont responsables de la production d'anion super oxyde O_2^- .

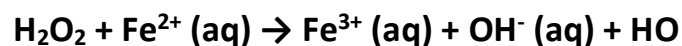
Il a également été démontré que les flavonoïdes sont capables d'inhiber des composés impliqués dans la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) comme : la cyclo-oxygénase, la lipoxygénase, la mono oxygénase microsomale, la glutathion S-transférase, la succin oxydase mitochondriale et enfin la NADH oxydase (48).

Les flavonoïdes permettent donc de réguler la production d'ERO au sein de l'organisme.

III. 5 : Chélation d'ions métalliques :

Certains oligo-éléments tels que le fer, le cuivre, sont indispensables à la vie. Présent en petite quantité dans l'organisme, le fer joue un rôle indispensable dans le métabolisme : transport extra et intracellulaire, stockage, ses fonctions sont nombreuses.

Lorsque le fer et le cuivre sont à l'état libre, sous forme Fe^{2+} et Cu^+ , ils se révèlent dangereux. En effet, ils sont alors capables de donner un électron au profit de l'eau oxygénée H_2O_2 . La liaison Fe^{2+}/H_2O_2 , ou Cu^+/H_2O_2 , génère des radicaux hydroxyles HO^\cdot réactifs et néfastes pour les cellules en oxydant les lipides, les protéines, les sucres et l'ADN. Cette réaction d'oxydation est plus communément appelée la réaction de Fenton (Équation 1).



Équation 1 - Réaction de Fenton

Certains flavonoïdes sont capables de chélater les ions métalliques en formant des complexes flavonoïdes-métaux. Les flavonoïdes piègent les métaux grâce aux doubles non-liants de leurs atomes d'oxygène, plus précisément au niveau de trois sites de chélation (**Figure 1.5**):

- Entre le groupe 5- hydroxy et le groupe 4-carbonyle ;
- Entre le groupe 3- hydroxy et le groupe 4-carbonyle;
- Entre le groupe 3'-4'-hydroxy du cycle B (groupe catéchol) ;

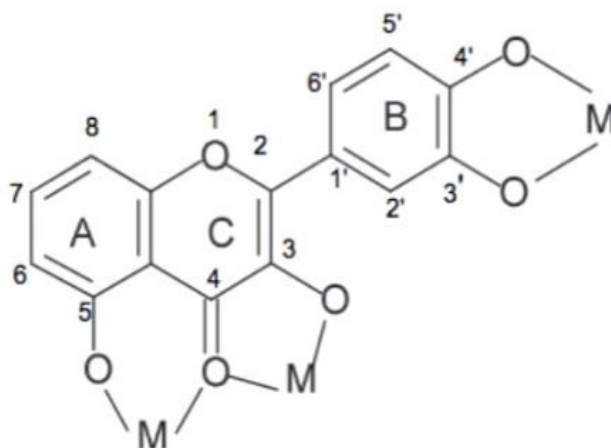


Figure 1.5 : Sites de chélation des ions métalliques (M) des flavonoïdes (**49**).

Une fois piégés, les ions métalliques sont inactivés et sont incapables de réagir avec les espèces environnantes. De nombreuses études (**50-51**) ont révélé que les flavonoïdes n'ont pas tous la même capacité à piéger ces ions métalliques.

L'équipe de Ren (**50**) a étudié le mécanisme de complexation de plusieurs flavonoïdes avec le fer en utilisant des calculs quantiques basés sur la (**DFT**). Ils ont déterminé les sites de chélation les plus probables en observant les énergies de liaison des sites les plus élevés. Leurs résultats ont montré que les sites de chélation les plus probables (par ordre décroissant) sont:

- 1) Le groupe 3-hydroxy-4-carbonyl;
- 2) Le groupe 5-hydroxy-4-carbonyl ;
- 3) Le groupe catéchol.

Au contraire, l'étude in vitro de Mladenka et al (**52**) concernant l'activité chélatante des flavonoïdes sur le fer a montré que les groupes 3-hydroxy-4-carbonyl et catéchol sont largement plus efficaces que le groupe 5-hydroxy-4-carbonyl.

Les résultats divergents entre ces deux études sont dus à la différence de méthode utilisée.

IV. Sources alimentaires et consommation des flavonoïdes :

IV .1 : Sources alimentaires

Les flavonoïdes constituent une part importante de notre alimentation. On les retrouve dans les fruits mais aussi dans les légumes. Dans les agrumes, les flavonoïdes peuvent représenter jusqu'à 1% de teneur en fruit frais.

Les boissons telles que le thé, le café et la bière contiennent également de grandes quantités de flavonoïdes. On en retrouve dans les herbes fraîches, les épices, miel (53) mais aussi dans les plantes médicinales.

Les flavonoïdes représentent une famille de plus de 9000 composés naturels, différenciés en une trentaine de sous-groupes. Cinq de ces 30 sous-groupes sont les plus largement répandus au sein de notre alimentation (54). Le tableau ci-dessous représente les produits alimentaires les plus communs que l'on peut retrouver dans chaque sous-groupe de flavonoïdes (Tableau 1. 5).

Sous-classes	flavonoïdes	Source : produits alimentaires
Flavanol	Epicatechine Catéchine Gallate d'épigallocatechine	Thé vert, noir Vin rouge
Flavanone	Naringine	Zeste d'agrumes
	Taxifoline	Agrumes
flavonol	kaempférol	Endive, poireau, brocoli, radis, pamplemousse, thé noir
	Quercétine	Oignon, laitue, brocoli, canneberge, peau de pommes, olives, thé, vin rouge
	Myricétine	Canneberge, raisin, vin rouge
Flavone	Hydroxyflavones (apigénine, lutéoline, neodiosamine) Methoxyflavones (tangérétine, nobilétine)	Céleri, persil
Anthocyane	Cyanidine	Cerise, framboise, fraise, raisin
	Apigénidine	Coloration des fruits

Tableau 1.5 : Quelque source naturelle des flavonoïdes (54-55).

Dans ce contexte, l'équipe de Merken et Beecher (53) a effectué une revue concernant la quantité de flavonoïdes présente dans divers aliments à l'aide d'une technique de

séparation analytique: la **CLHP**. Les études utilisant cette méthode pour séparer des aliments les différents sous-groupes de flavonoïdes ont révélé que :

- * composés appartenant aux anthocyanes sont majoritairement retrouvés dans les
- * fruits rouges, les baies et le raisin. Le composé que l'on retrouve dans chacun d'entre eux est la cyanidine.
- * La catéchine, appartenant au sous-groupe des flavanols, est surtout retrouvée au niveau du thé. Les concentrations de catéchine sont plus élevées dans le thé vert que dans le thé noir.
- * Au niveau des herbes aromatiques, on retrouve essentiellement des composés appartenant aux flavones. L'apigénine est présente en quantité élevée dans le persil alors que c'est la lutéoline qui est abondante dans le thym.
- * Concernant les agrumes, on retrouve surtout des flavanones (**3**).
- * Les flavonoïdes de bas poids moléculaire sont responsables de l'amertume et de l'acidité des fruits. A contrario, les flavonoïdes de haut poids moléculaire sont responsables de l'astringence. C'est par exemple le cas lorsqu'un individu boit un vin rouge chargé en tanins qui provoque une crispation des muqueuses.

Cette revue scientifique montre donc que la distribution des flavonoïdes, aussi nombreux soient-ils, varie en fonction de l'espèce végétale, fruit ou légume.

IV .2 : Consommation :

La consommation moyenne de flavonoïdes, calculée par Kuhnau et al en 1976 (**56**), est définie à 1 g /jour (160 mg de flavanols, flavones et flavanones; 170 mg d'anthocyanes; 200mg de catéchine et 450 mg de biflavones). Cependant, ces chiffres varient grandement en fonction du pays étudié. En prenant l'exemple de la Finlande, on remarque que la consommation d'anthocyanes peut excéder 200 mg/jour car les finlandais sont de grands consommateurs de baies. Par ailleurs, la consommation de catéchines en Espagne est d'environ 18-31 mg/jour car les espagnols consomment beaucoup de pommes, raisin et vin rouge. En Hollande, la consommation de catéchine s'élève à 50 mg/jour car les habitants consomment beaucoup de thé, de chocolat, des pommes et des poires.

Par ailleurs, le taux de flavonoïdes au sein d'un aliment peut varier en fonction de multiples facteurs:

- Les facteurs environnementaux ont le plus d'influence sur le taux de poly phénols au sein d'un aliment. Il s'agit :
 - De facteurs climatiques (exposition au soleil, taux de précipitation, type de sol) :
 - De facteurs agronomiques (culture sous serre ou en plein champ, culture biologique, rendement de fruits par arbre etc.);
 - Du degré de maturité du fruit. Ce dernier facteur affecte grandement les concentrations et les proportions des différents flavonoïdes.
- Les facteurs génétiques : le taux de flavonoïdes varie en fonction de la variété, c'est le cas pour les pommes. Dans leur étude, Hamme stone et al (**57**) se sont

aperçus que le taux de pro anthocyanidines variait énormément d'un type de pomme à l'autre. Par exemple, les pommes Red Delicious contiennent 2 fois plus de flavonoïdes que les Golden Delicious.

- Le stockage et les procédés de fabrication industrielle affectent grandement le taux de flavonoïdes à cause des réactions d'oxydation qui s'y produisent. Une telle réaction induit un changement dans la qualité de l'aliment (aspect visuel, caractéristiques organoleptiques) et entraîne une perte des composés d'intérêt.
- La façon de préparer les aliments influence aussi ce paramètre. Peler un fruit ou un légume suffit à enlever une portion importante de flavonoïdes. En effet, ces composés se situent préférentiellement dans la partie externe des végétaux et pas dans la chair (**56,58**).
- La cuisson peut avoir un effet néfaste sur le taux de flavonoïdes contenus dans certains aliments. Dans leur étude, Crozier et al (**59**) ont montré que cuire des oignons ou des tomates aux micro-ondes suffisait à ce qu'ils perdent plus de 65% de leur quantité initiale en quercitrine. Faire bouillir ces aliments pendant plus de 15 minutes a un effet encore plus dévastateur avec une perte estimée à 80% de leur quantité initiale en quercitrine.

Une banque de données a été ouverte en 2003 pour répertorier la composition en flavonoïdes de 225 aliments. L'enrichissement de cette banque de données serait intéressant. Cela permettrait d'établir pour chaque individu une consommation journalière en flavonoïdes en fonction de ses besoins.

Chapitre II :
Flavonoïdes conservateurs alimentaires

Introduction :

Les flavonoïdes sont des phytochimiques naturelles qui se trouvent dans de nombreux fruits, légumes et plantes. Leurs propriétés antioxydants et anti-inflammatoires, ainsi que leur potentiel en tant que conservateurs alimentaires naturels, ont été largement étudiés **(60)**.

Selon plusieurs études, les flavonoïdes peuvent empêcher la prolifération de bactéries, de champignons et des levures dans les aliments. Ils ont également été étudiés pour leur capacité à retarder l'oxydation des lipides et à réduire les niveaux de radicaux libres.

Les flavonoïdes peuvent être incorporés dans les aliments sous forme d'extraits des plantes ou des produits chimiques synthétiques. Cependant, en raison de leurs effets secondaires potentiels sur la santé, les produits chimiques synthétiques sont souvent évités.

Les flavonoïdes présentent un potentiel intéressant en tant que conservateurs naturels de l'alimentation **(61)**.

Des chercheurs de la Nanyang Technological University à Singapour ont découvert que les flavonoïdes ont des propriétés de conservation des aliments plus efficaces que les conservateurs chimiques artificiels.

Lors d'une expérience, les flavonoïdes ont été ajoutés à la viande et aux jus de fruits conservés à température ambiante. Les produits contenant des flavonoïdes ont conservé leur fraîcheur pendant deux jours, tandis que ceux contenant des conservateurs artificiels ont été contaminés par des bactéries après seulement six heures **(78)**.

I. L'utilisation des flavonoïdes dans la conservation des aliments:

I. 1 : Mécanismes d'action des flavonoïdes dans la conservation des aliments :

les flavonoïdes agissent principalement de trois manières :

I. 1. 1 : Inhibe la croissance microbienne :

Les flavonoïdes ont des propriétés antimicrobiennes qui inhibent la croissance des microorganismes responsables de la détérioration des aliments. Les flavonoïdes agissent en perturbant la membrane cellulaire des bactéries et en inhibant l'activité des enzymes nécessaires à leur survie.

Les interactions entre les composés phytochimiques des fruits et les bactéries sont des effets divers. Elles perturbent les enveloppes cellulaires, perturbent la communication intercellulaire et la régulation des gènes, et inhibent l'activité métabolique et enzymatique.

Par conséquent, les composés phytochimiques présents dans les fruits peuvent inhiber directement la croissance bactérienne ou agir indirectement en modulant l'expression des facteurs de virulence, réduisant ainsi la pathogénicité microbienne (62).

I. 1. 2 : Protection contre l'oxydation :

Les flavonoïdes sont également connus pour leur capacité à protéger les aliments de l'oxydation. L'oxydation est un processus chimique qui modifie la couleur, le goût et l'arôme des aliments et réduit également la valeur nutritionnelle des aliments. Les flavonoïdes agissent en neutralisant les radicaux libres et en protégeant les acides gras essentiels et les protéines de l'oxydation.

➤ Exemple:

Propriétés antioxydants de l'extrait de chêne (*Quercus* sp) et son utilisation potentielle dans la prévention du rancissement oxydatif des aliments. Le rancissement oxydatif peut affecter négativement la qualité des aliments, provoquant des changements de couleur, d'odeur et de saveur, et réduisant la durée de conservation du produit. En raison des problèmes de santé potentiels associés aux antioxydants synthétiques, l'utilisation d'antioxydants naturels dérivés de plante, tels que les extraits de chêne, suscite un intérêt croissant.

L'extrait de chêne contient plusieurs composés antioxydants, notamment des acides phénoliques, des flavonoïdes et des tanins, qui contribuent à renforcer ses capacités antioxydantes (Figure 1.6) (63).

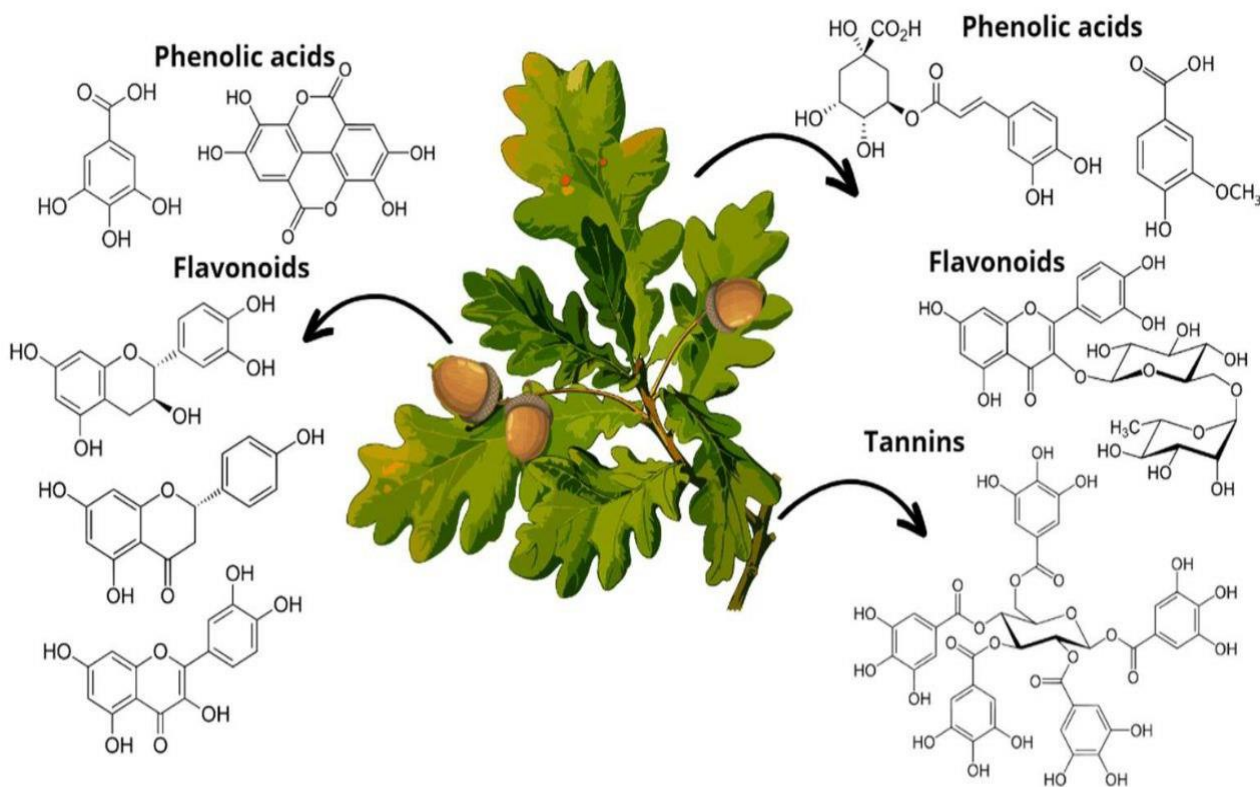


Figure 1. 6: Principaux composés phénoliques présents dans les feuilles de Quercus (acide chlorogénique, acide vanilique), les glands (acide gallique, acide ellagique, épicatechine, naringénine, quercétine) et l'écorce (ellagittannins) (64).

I. 1. 3 : Améliorer la couleur, le goût et l'arôme :

Les flavonoïdes peuvent également améliorer la couleur, le goût et l'arôme des aliments. Les flavonoïdes sont souvent responsables des couleurs vives des fruits et légumes et peuvent également rehausser la saveur et l'arôme des aliments. Les flavonoïdes peuvent agir en modifiant les propriétés physiques et chimiques des aliments, en stimulant la production d'enzymes qui améliorent la saveur et l'arôme, ou en agissant comme agents aromatisants naturels.

➤ **Exemple:**

Les anthocyanes sont des pigments naturels appartenant à la famille des flavonoïdes qui donnent aux fruits, légumes et fleurs leurs teintes rouges, bleues et violettes. Leur structure et leur couleur dépendent de divers facteurs, tels que le pH.

Les anthocyanes sont rouges dans les solutions acides, violettes dans les solutions neutres et bleues dans les solutions alcalines, elles peuvent donc être utilisées comme indicateurs de pH naturels (65).

I. 2 : Les étapes à suivre pour utiliser les flavonoïdes comme conservateurs:

I. 2. 1 : Identification des flavonoïdes appropriés:

Il est important de sélectionner les flavonoïdes appropriés pour chaque type d'aliment car différents types des flavonoïdes ont des propriétés différentes (66).

I. 2. 2 : Extraction des flavonoïdes:

Les flavonoïdes peuvent être extraits à partir de plantes, des fruits et des légumes. Les méthodes d'extraction comprennent l'extraction par solvant, l'extraction par pression et l'extraction par macération (67).

I. 2. 3 : Enrichissement des flavonoïdes:

Les flavonoïdes extraits peuvent être enrichis par des processus tels que la purification et la séparation (68).

I. 2. 4 : Ajout des flavonoïdes au produit alimentaire:

Les flavonoïdes peuvent être ajoutés à des produits alimentaires sous forme liquide ou solide (69).

I. 2. 5 : Évaluation de l'efficacité du conservateur :

L'efficacité du conservateur doit être évaluée pour déterminer s'il est efficace pour augmenter la durée de conservation et prévenir la croissance de microorganismes et d'autres facteurs qui peuvent causer la détérioration d'un produit alimentaire (69).

I. 3 : Les Méthodes d'application des flavonoïdes dans la conservation des aliments :

Trois méthodes d'application des flavonoïdes dans la conservation des aliments :

I. 3. 1 : Extraits de plante :

Les plantes sont considérées comme des sources naturelles d'antioxydants tels que les flavonoïdes, qui peuvent être extraits par des solvants verts tels que l'eau, l'éthanol ou leurs mélanges binaires.

En raison de leur capacité antioxydante, les extraits de plante sont de plus en plus utilisés comme additifs alimentaires dans divers systèmes alimentaires. Leur utilisation dans les produits alimentaires prolonge la durée de conservation des produits en empêchant les

modifications indésirables des propriétés nutritionnelles et organoleptiques, telles que le développement de saveurs indésirables dans les aliments riches en matières grasses. Les extraits de plantes riches en antioxydants peuvent avoir un impact positif sur la sécurité alimentaire en remplaçant partiellement ou complètement les antioxydants synthétiques (70).

Les composés phénoliques antimicrobiens peuvent être ajoutés directement à la formulation des aliments périssables ou incorporés dans les matériaux en contact avec les aliments pour les libérer dans la zone immédiate des aliments périssables. Par conséquent, des revêtements comestibles ou des matériaux d'emballage alimentaire actifs peuvent être utilisés comme supports pour des composés végétaux bioactifs (72) (Figure 1.7).

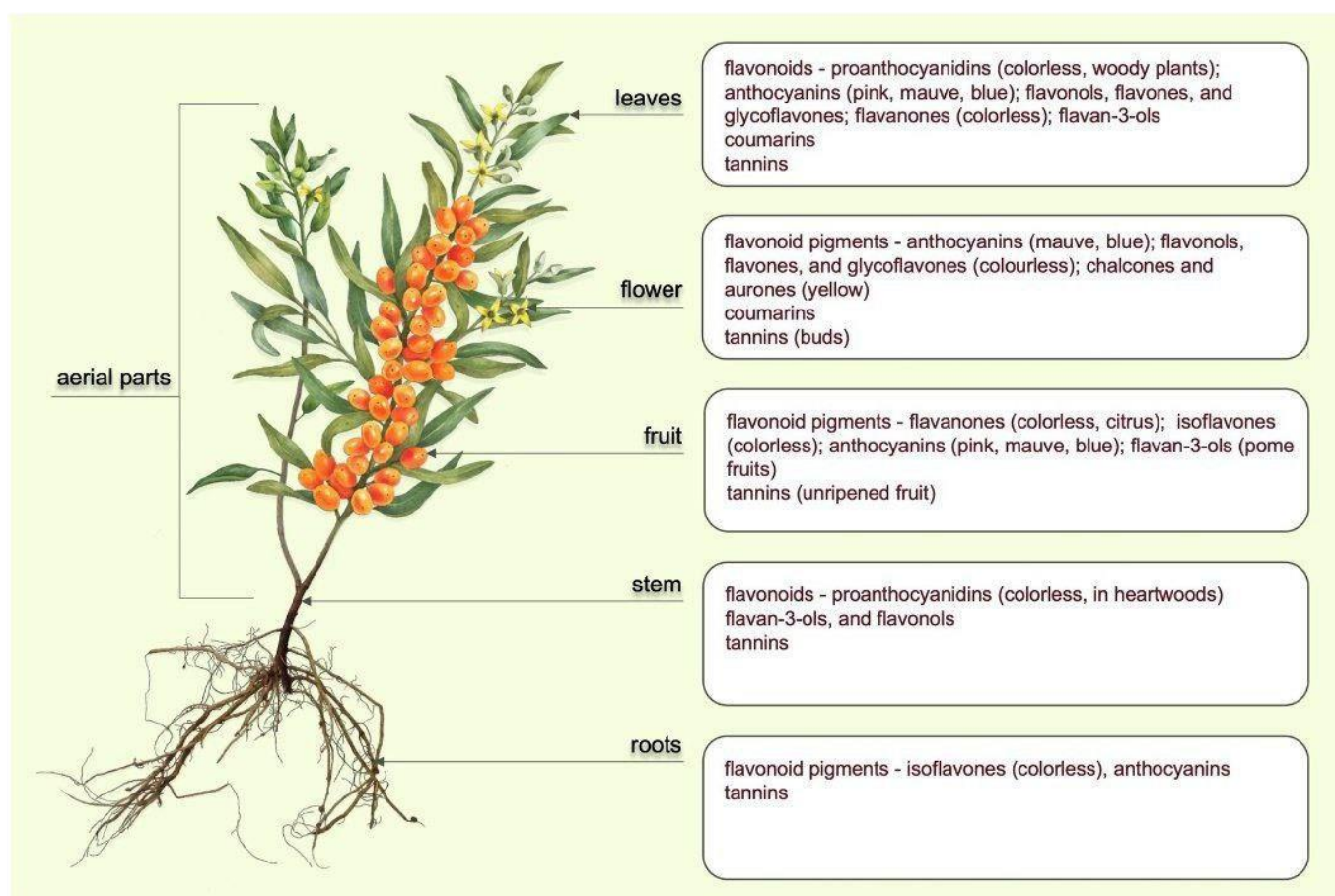


Figure 1.7 : Partie d'une plante et composé phénolique actifs qu'elles contiennent (71).

I. 3. 2 : Films comestibles :

Aujourd'hui, l'utilisation de polymères synthétiques a un rôle important dans l'économie de la société industrielle moderne. Les emballages en plastiques ont souvent été utilisés comme matériau d'emballage alimentaire. Cependant, l'utilisation de plastiques peut polluer l'environnement, car le plastique est difficile à dégrader naturellement.

Une alternative au remplacement de l'utilisation des plastiques conventionnels comme emballages alimentaires est le plastique biodégradable appelé film comestible.

L'utilisation de l'amidon de tubercule de gadung comme matière première pour la fabrication de films comestibles ne perturbera pas la stabilité des aliments, car le gadung n'est pas consommé comme le riz et le maïs. Les tubercules de Gadung sont très bons pour les matériaux polymères à film. Comestible contenant des glucides élevés.

Les conditions optimales pour fabriquer des films comestibles sont bonnes à une concentration d'amidon de 6 % avec KA 11,50 % et une épaisseur moyenne de 0,13mm (73) (Figure 1. 8)



Figure 1 .8 : Plante de tubercule sauvage (gadung tuber dioscoreae hispida dennst) (74).

➤ **Exemple:**

L'incorporation de poudre d'écorce d'échalote séchée par pulvérisation dans de la gélatine CMC gomme de guar a été réalisée pour étudier l'applicabilité des films comestibles dans la conservation du bœuf cru. Les tests d'activité antibactérienne ont révélé que les films peuvent inhiber et tuer les bactéries **Gram⁺** positives et **Gram-** négative ainsi que les champignons. Il est à noter que l'ajout de 0,5 % de poudre d'échalote a non seulement ralenti efficacement la croissance microbienne, mais a également détruit E. coli pendant 11 jours de stockage et le nombre de bactéries était encore inférieur à celui du bœuf cru non enrober (75).



Figure 1. 9 : Plante d'échalote frais et séchée (76).

I. 3. 3 : Cultures des micro-organismes producteurs des flavonoïdes:

Certains micro-organismes, tels que les bactéries lactiques, peuvent produire des flavonoïdes lorsqu'ils sont cultivés dans certaines conditions. Ces micro-organismes peuvent être ajoutés aux aliments pour prolonger leur durée de vie; Les bactéries lactiques (**LAB**) sont reconnues comme des micro-organismes sûrs (**GRAS**). Cette étude vise à identifier de nouvelles souches de **LAB** qui peuvent convertir les flavonoïdes en aglycones pour améliorer la biodisponibilité. Ils ont sorti 34 variétés de kimchi LAB.

L'activité de biotransformation de ces 34 souches de BL a été étudiée sur la base de l'a-L-rhamnosidase et de la BD-glucosidase. Parmi eux, 10 espèces de **LAB** à haute activité ont été identifiées en analysant 165 séquences d'ARNr. Toutes les souches **LAB** testées ont été converties de l'hespéridine à l'hespérétine (**12,5 à 30,3%**). Parmi celles-ci, seule la souche NGI01 de *Lactobacillus pentosus* a produit de la quercétine à partir de la rutine (3,9 %).

Les conditions optimales de biotransformation de *L. pentosus* NGI01 produisant de l'hespérétine et de la quercétine ont été étudiées. La teneur la plus élevée en hespérétine et en quercétine dans le produit final était de 207 et 78 μM , respectivement. Par conséquent, l'infection de *L. pentosus* NGI01 peut être un biocatalyseur pour la production d'aglycones flavonoïdes dans les industries chimiques et alimentaires (77).

II. Les avantages de l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires naturels:

Plusieurs études ont montré que l'utilisation de flavonoïdes dans la conservation des aliments présente de nombreux avantages, Voici quelques avantages de l'utilisation des flavonoïdes pour la conservation des aliments (78).

a. Conservation plus longue des aliments :

Les flavonoïdes peuvent aider à prolonger la durée de conservation des aliments en réduisant l'oxydation et en empêchant la croissance de certaines bactéries et champignons.

b. Amélioration de la qualité et de la valeur nutritive :

Les flavonoïdes peuvent également aider à préserver la qualité et la valeur nutritive des aliments en évitant la dégradation de certaines vitamines et nutriments sensibles à l'oxydation.

c. Réduction de l'utilisation de conservateurs chimiques :

Les flavonoïdes peuvent remplacer certains conservateurs chimiques synthétiques dans les aliments, ce qui peut être bénéfique pour la santé et pour l'environnement.

d. Meilleure acceptation des consommateurs pour les produits naturels :

Les consommateurs sont de plus en plus conscients de l'impact environnemental des produits qu'ils achètent, et sont donc plus enclins à acheter des produits naturels. Les flavonoïdes sont des composés naturels, ce qui peut améliorer l'acceptation des consommateurs pour les produits alimentaires qui en contiennent.

e. Effet sur la texture :

Certains flavonoïdes peuvent également avoir un effet bénéfique sur la texture des aliments. Ils peuvent améliorer la stabilité des protéines et empêcher leur dénaturation, ce qui peut aider à maintenir la texture et la qualité des aliments pendant une plus longue période de conservation.

f. Substitut naturel aux additifs alimentaires synthétiques :

Les flavonoïdes offrent une alternative naturelle aux additifs alimentaires synthétiques utilisés couramment dans l'industrie alimentaire. Leur utilisation permet de réduire la dépendance aux produits chimiques artificiels tout en offrant des avantages de conservation similaires ou même supérieurs (78).

II. 1 : Les recherches récentes sur l'utilisation des flavonoïdes dans la conservation des aliments:

Il y a plusieurs recherches qui ont montré que les flavonoïdes peuvent être utilisés comme conservateur alimentaire pour améliorer la qualité des aliments, Voici quelques exemples :

- Une étude publiée dans le Journal of Agricultural and Food Chemistry a montré que l'ajout de flavonoïdes à la viande hachée peut améliorer sa qualité nutritionnelle en réduisant les niveaux de composés toxiques et en augmentant les niveaux d'antioxydants.
- Une autre étude publiée dans le Journal of Food Science and Technology a montré que l'ajout de flavonoïdes à la farine de blé peut améliorer sa qualité nutritionnelle en augmentant les niveaux d'antioxydants et en réduisant les niveaux de composés toxiques.
- Une étude publiée dans le Journal of Functional Foods a montré que l'ajout de flavonoïdes à la boisson énergétique peut améliorer ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (78).

II. 2 : L'étude sur l'effet des flavonoïdes dans la conservation des aliments :

La conservation des aliments est un enjeu majeur pour l'industrie agroalimentaire et pour les consommateurs. Les méthodes de conservation traditionnelles, telles que la réfrigération et la stérilisation, sont souvent coûteuses et peuvent altérer la qualité des aliments. Les flavonoïdes, des composés naturels présents dans de nombreux fruits, légumes, et autres aliments d'origine végétale, sont de plus en plus étudiés pour leur potentiel tant que conservateurs naturels.

a. Les flavonoïdes dans la conservation des fruits :

Les flavonoïdes ont démontré leur efficacité dans la conservation des fruits, notamment en inhibant la croissance des bactéries responsables de la pourriture. Par exemple, une étude a montré que l'application de flavonoïdes extraits de baies de sureau sur des fraises fraîches a réduit la croissance des bactéries de 50 % par rapport à des fraises non traitées. Les flavonoïdes ont également été utilisés avec succès pour prolonger la durée de conservation des pommes et des poires. (Une étude publiée en 2017 dans le Journal of Food Science and Technology).

b. Les flavonoïdes dans la conservation des légumes :

Les légumes sont également sensibles à la pourriture et à la décomposition, et les flavonoïdes peuvent aider à prévenir ces problèmes. Une étude a montré que l'ajout de flavonoïdes extraits de l'ail dans une sauce à base de tomates a réduit la croissance des bactéries de 90 % par rapport à une sauce témoin. Les flavonoïdes extraits de l'oignon ont également été utilisés pour prolonger la durée de conservation des carottes.

c. Les flavonoïdes dans la conservation des viandes :

Les viandes sont souvent sujettes à la croissance de bactéries et de moisissures, ce qui peut causer des problèmes de sécurité alimentaire. Les flavonoïdes ont été étudiés pour leur potentiel dans la conservation des viandes, en particulier en tant qu'antibactériens naturels. Une étude a montré que l'ajout de flavonoïdes extraits de la feuille de thé vert à du bœuf haché a réduit la croissance des bactéries de 90 % par rapport à du bœuf haché témoin.

d. Les flavonoïdes dans la conservation des produits laitiers :

Les produits laitiers peuvent également être sensibles à la croissance de bactéries, ce qui peut affecter leur durée de conservation et leur qualité. Les flavonoïdes ont été étudiés pour leur potentiel dans la conservation des produits laitiers, en particulier en tant qu'antifongiques naturels. Une étude a montré que l'ajout de flavonoïdes extraits de la peau de raisin à du yaourt a réduit la croissance des moisissures de 50 % par rapport à du yaourt témoin (78).

Conclusion

Conclusion :

Cette étude bibliographique vise à fournir une synthèse des dernières connaissances sur l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires, en mettant en évidence leurs avantages. Les résultats de cette étude peuvent aider à faire avancer la recherche dans le domaine de la conservation des aliments naturels et à développer des stratégies plus durables pour la préservation de la qualité des aliments.

Les preuves à ce jour suggèrent que les flavonoïdes ont le potentiel d'être une alternative sûre et efficace aux conservateurs synthétiques. À mesure que la recherche dans ce domaine continue de s'approfondir, les flavonoïdes pourraient devenir une méthode de conservation des aliments plus largement utilisée.

L'étude des flavonoïdes est encore relativement nouvelle et des recherches supplémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement leur potentiel en tant que conservateurs alimentaires naturels.

Grâce à cette recherche, nous espérons contribuer à une meilleure compréhension de l'utilisation des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires, ouvrant ainsi la voie aux consommateurs pour qu'ils adoptent des pratiques de conservation plus naturelles et plus saines.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

1. Erlund I (2004) review of the flavonoids quercetin, hesperetin, and naringenin. Dietary source, bioactivities, bioavailability and epidemiology. *Nutr Res* 24 :851-74.
2. Havsteen BH (2002) the biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol Therap* 96 : 67-202.
3. Di carlo G, mascolo N, Izzo AA, et al. (1999) Flavonoids: old and new aspects of a class of natural therapeutic drugs. *Life Sci* 65 (4) : 337-53.
4. Nijveldt RJ, van Nood E, van Hoorn DEC, et al. (2001) Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *Am J Clin* 74 (4) : 418-25.
5. Surh, Y.J. 2003. « Cancer chemoprevention with dietary phytochemicals ». *Nat Rev Cancer*. Vol. 3, 10, P. 768-780.
6. Cushine, T.T, & Lamb, A.J. (2005). Antimicrobial activity of flavonoids. *international journal of antimicrobial agents*, 26(5), 343-356.
7. Jäger, A.K, & Saaby, L. (2011). Flavonoids and the CNS. *Molecule*, 16(2), 1471-1485.
8. Kale, A. Gawande, S, & Kotwal, S. (2008) cancer phytotherapeutics: role for flavonoids at the cellular level. *phytotherapy research: an international journal devoted to pharmacological and toxicological evaluation of natural product derivatives*, 22(5), 567-577.
9. Pietta, P.G. (2000). flavonoids as antioxidants. *journal of natural products*, 63(7), 1035-1042.
10. Beecher, G.R. (2003). Overview of dietary flavonoids: nomenclature, occurrence and intake. *The journal of nutrition*, 133(10), 3248s-3254s.
11. Heim, K.E, Tagliaferro, A.R, & Bobilya, D.J, (2002). Flavonoids antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *the journal of nutritional biochemistry*, 13(10), 572-584.
12. Liu, H Zhang, L, & Lu, S, (2012). Evaluation of antioxidant and immunity activities of quercetin in isoproterenol-treated rats. *Molecules*, 17(4), 4281-4291.
13. O'Connell, J, E, & Fox, P.F. (2002). significance and applications of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy product: a review. *International dairy journal*, 11(3), 103-120.
14. Stafford, H, A. (1990). Flavonoid metabolism.
15. Wollenweber, E, Wehde, R, Dörr, M, Lang, G, & Stevens, J, F. (2002). C-methyl-flavonoids from the leaf waxes of some myrtaceae. *phytochemistry*, 55(8), 965-970.
16. Iwashina, T. (2000). the structure and distribution of the flavonoids in plants, *Journal of plant research*, 113(3), 287.

17. Castañeda-Ovando, A, dec Lourdes pacheco-hernández, M, páez- hernández, M, E, Rodríguez, J, A, & galán-vidal, C, A. (2009). Chemical studies of anthocyanins : a review .food chemistry, 113(4), 859-871.
18. Trente-sept plantes chinoises (Magnoliidae, Ranunculidae, Asteridae). Caractères botaniques, étude pharmacologique et intérêt thérapeutique / Thirty-seven Chinese herbs (Magnoliidae, Ranunculidae, Asteridae). Botanical characteristics, pharmacological investigation and therapeutical properties Jan 2015.
19. Bruneton, J. (2009). pharmacognosie : plantes médicinales .4^{ème} édition lavoisier Tec & Doc .médicales internationales, paris, p 261, 308, 571, cellular level. phytother. res. 2 :567-577.
20. Hutzler, P, fischbach, R, heller, W, jungblut, T.P, Reuber, S, schmitz , R , & schnitzler, J, P, microscopy. journal of experimental botany, 49(323), 953-965.
21. Piquemal .G. (2008). les flavonoïdes (en ligne) http://www.detourante.com/index.php? Option =com_content & view =article & id=166 & itemid=215 plant science, 1:377-382.
22. Boudet .A.M, (2000). L'usine chimique. 9^{ème} conférence de l'université de tous les savoirs, France. p1-16.
23. Vogt, T. (2010). phenylpropanoid biosynthesis. Molecular plant, 3(1), 2-20.
24. Urquiaga, I, N, E, S. & ET Leighton, F. (2000). plant polyphenol antioxidants and oxidative stress. Biological research, 33(2), 55-64.
25. Besle, J , M .lamaison J, L , pradel, P, Fraisse, D, viala, D, & martin, B ,(2004). Les flavonoïdes, des fourages au lait. Renc .rench .rum, 11, 67.
26. Lahouel, M. (2005). interaction mitochondrie et rôle de la propolis dans la prévention de l'apoptose induite par certains médicaments anticancéreux (Doctoral dissertation, thèse de doctorat de l'université Mentouri de constantine).
27. Erdman Jr, J, W, balentine, D, arab, L, beecher, G, dwyer, J, T, folts, J, & burrowes, J, (2007). flavonoids and heart health : proceedings of the ILSI north america flavonoids workshop, may 31 –june 1, 2005, washington, DC, .the journal of nutrition, 137(3), 718S-737S.
28. Kumar, S, & pendar, A, k, (2013). chemistry and biological activities of flavonoids: overview .the scientific world journal, 2013.
29. Dixon, R, A, & Steele, C, L, (1999). Flavonoids and iso flavonoids-a gold mine for metabolic engineering. Trends in plant science, 4(10), 394-400.
30. Van Tunen , A, J, Mur, L, A, Brouns, G, S, rienstra, J, D, koes, R, E, & Mol, J, N, (1990). Pollen- and anther-specific chi promoters from petunia: tandem promoter regulation of the chiA gene. The plant cell, 2(5) ,393-401.
31. Saffidine, K, (2018). Etude analytique et biologique des flavonoïdes extraits de carthamus caeruleus L. Et de plantago major L (Doctoral dissertation).
32. Hollmann, T, (2007). From waste products to ecochemicals: fifty years research of plant secondary metabolism .phytochemistry, 68(22-24), 2831-2846.

33. Chebil L, chipot C, archambolt F, humeau C, engasser JM, ghoual M, et al solubilités inferred from the combination of experiment and simulation. Case study of quercetin in a variety of solvents. *J phys chem B*. 30 sept 2010; 114(38):12308-13.
34. Škerget M, kotnik P, hadolin M, hraš AR, simonič M, knez Ž. phenols, proanthocyanidines, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *food chem*. 1 févr 2005 ; 89(2) :191-8.
35. Benavente-Garúa O, castillo J, del baño MJ, lorente J, improved water solubility of neohesperidin dihydrocalcone in sweetner blends. *J agric food chem*. Janv 2001 ; 49(1) :189-91.
36. Tommasini S, Raneri D, Ficarra R, Calabrò ML, Stancanelli R, Ficarra P. Improvement in solubility and dissolution rate of flavonoids by complexation with B-cyclodextrin. *J Pharm Biomed Anal*. 16 avr 2004;35(2):379-87.
37. Boumendjel A, Mariette A-M, Bresson-Rival D, Perrier E. Hesperitin Esters: Highly Stable Flavanones with Both Free Radical Scavenging and Anti-Elastase Activities. *Pharm Biol*. 1 janv 2003;41(7):546-9.
38. So Jin Lee t, Jae-Cherl Kim t, Myo Jeong Kim t, Motomitsu Kitaoka t, Cheon Seok Park t, Su Yong Lee t, et al. Transglycosylation of Naringin by *Bacillus stearothermophilus* Maltogenic Amylase to Give Glycosylated Naringin [Internet]. 1999 [cité 23 juin 2018]. Disponible sur: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf990034u>.
39. Harborne JB, Williams CA. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*. 1 Nov 2000; 55(6); 481-504.
40. Dey PM. *methods in plant iochemistry*. Academic press; 2012.565p.
41. Smith GJ, Thomsen SJ, Markham KR, Andary C, Cardon D. The photostabilities of naturally occurring 5-hydroxyflavones, flavonols, their glycosides and their aluminium complexes. *J Photochem Photobiol Chem*. août 2000;136(1-2):87-91.
42. Ishihara K, Nakajima N. Structural aspects of acylated plant pigments: stabilization of flavonoid glucosides and interpretation of their functions. *J Mol Catal B Enzym*. Sept 2003; 23(2-6):411-7.
43. Mochizuki M, Yamazaki S, Kano K, Ikeda T. Kinetic analysis and mechanistic aspects of autoxidation of catechins. *Biochim Biophys Acta BBA Gen Subj* janv 2002; 1569(1-3):35-44.
44. Ungar Y, Osundahunsi OF, Shimoni E. Thermal Stability of Genistein and Daidzein and Its Effect on Their Antioxidant Activity. *J Agric Food Chem*. juill 2003; 51(15):4394-9.
45. Makris DP, Rossiter JT. An investigation on structural aspects influencing product formation in enzymic and chemical oxidation of quercetin and related flavonols. *Food Chem*. mai 2002; 77(2):177-85.
46. Friedman M, Jürgens HS. Effect of pH on the Stability of Plant Phenolic Compounds. *J Agric Food Chem*. juin 2000; 48(6):2101-10.

47. Ursini F, Maiorino M, Morazzoni P, Roveri A, Pifferi G. A novel antioxidant flavonoid (ldB 1031) affecting molecular mechanisms of cellular activation. *Free Radic Biol Med.* Mai 1994; 16(5):547-53.
48. Brown EJ, Khodr H, Hider CR, Rice-Evans CA. Structural dependence of flavonoid interactions with Cu²⁺ ions: implications for their antioxidant properties. *Biochem J.* 15 mars 1998; 330(3):1173-8.
49. Marzena S, Mateusz K. flavonoids and their properties to form chelate complexes, 2012; 7.
50. Ren J, Meng S, Lekka CE, Kaxiras E. Complexation of Flavonoids with Iron: Structure and Optical Signatures. *J Phys Chem B.* févr 2008; 112(6):1845-50.
51. Fernandez MT, Mira ML, Florêncio MH, Jennings KR. Iron and copper chelation by flavonoids: an electrospray mass spectrometry study. *J Inorg Biochem.* 11 nov 2002; 92(2):105-11.
52. Maladěnka P, Macáková K, filipský T, Zatloukalvová L, jahodář L, bovicelli P, et al. in vitro analysis of iron chelating activity of flavonoids. *J inorg biochem.* mai 2011 ; 105(5) :693-701.
53. Merken HM, Beecher GR. Measurement of Food Flavonoids by High-Performance Liquid Chromatography: A Review. *J Agric Food Chem.* mars 2000; 48(3):577-99.
54. Dwyer JT, Peterson JJ. Measuring flavonoid intake: need for advanced tools. *Public health Nutr.* déc 2002 ; 5(6a) :925-30.
55. Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic Biol Med.* 1 janv 1996; 20(7):933-56.
56. Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr.* 1 mai 2004; 79(5):727-47.
57. Hammerstone JF, Lazarus SA, Schmitz HH. Procyanidin Content and Variation in Some Commonly Consumed Foods. *J Nutr.* 1 août 2000; 130(8):2086S-2092S.
58. Justesen U, Knuthsen P, Leth T. Quantitative analysis of flavonols, flavones, and flavanones in fruits, vegetables and beverages by high-performance liquid chromatography with photo-diode array and mass spectrometric detection. *J Chromatogr A.* Mars 1998; 799(1-2):101-10.
59. Crozier A, Lean MEJ, McDonald MS, Black C. Quantitative Analysis of the Flavonoid Content of Commercial Tomatoes, Onions, Lettuce, and Celery. *J Agric Food Chem.* Mars 1997; 45(3):590-5.
60. (Flavonoids as Promising Neuroprotectants and Their Therapeutic Potential against Alzheimer's Disease Tarun Minocha, 1 Hareram Birla, 2,3 Ahmad A. Obaid, 4 Vipin Rai, 2,3 P. Sushma, 5 Chandan Shivamallu, 5 Mahmoud Moustafa, 6,7 Mohammed Al-Shehri, 6 Ahmed Al-Emam, 8,9 Maria A. Tikhonova, 10 Sanjeev Kumar Yadav, 1 and Burkhard Poeggeler 11 et al.) [Flavonoids as Promising Neuroprotectants and Their Therapeutic Potential against Alzheimer's Disease \(hindawi.com\)](#)

61. [Flavonoïdes - Propriétés et types de flavonoïdes | Creapharma](#)
62. Antioxidants of Fruit Extracts as Antimicrobial Agents against Pathogenic Bacteria by Sureeporn Suriyaprom; Pascale Mosoni; Sabine Leroy; Thida Kaewkod; Mickaël Desvaux; and Yingmanee Tragoolpua. *Antioxidants* 2022, 11(3), 602; <https://doi.org/10.3390/antiox11030602>. Received: 3 February 2022 / Revised: 13 March 2022 / Accepted: 18 March 2022 / Published: 21 March 2022.
63. Antioxidants in Oak (*Quercus* sp.): Potential Application to Reduce Oxidative Rancidity in Foods by Elsa Daniela Othón-Díaz; Jorge O. Fimbres-García; Marcela Flores-Sauceda; Brenda A. Silva-Espinoza; Leticia X. López-Martínez; Ariadna T. Bernal-Mercado and Jesus F. Ayala-Zavala *Antioxidants* 2023, 12(4), 861; <https://doi.org/10.3390/antiox12040861> Received: 6 March 2023 / Revised: 26 March 2023 / Accepted: 31 March 2023 / Published: 2 April 2023 (This article belongs to the Special Issue Antioxidant and Biological Properties of Plant Extracts II).
64. Elsa Daniela Othón-Díaz; Jorge O. Fimbres-García; Marcela Flores-Sauceda; Brenda A. Silva-Espinoza; Leticia X. López-Martínez; Ariadna T. Bernal-Mercado and Jesus F. Ayala-Zavala, *Antioxidants in Oak (Quercus sp.): Potential Application to Reduce Oxidative Rancidity in Foods* *Antioxidants* 2023, 12(4), 861; <https://doi.org/10.3390/antiox12040861> Received: 6 March 2023 / Revised: 26 March 2023 / Accepted: 31 March 2023 / Published: 2 April 2023.
65. Cátia I.; Sousa, Luís F.; Dias, Alice M. *Journal of Chemical Education*, Separation of Anthocyaninic and Nonanthocyaninic Flavonoids by Liquid-Liquid Extraction Based on Their Acid-Base Properties: A Green Chemistry Approach Sampaio, v97 n12 p4533-4539 Dec 2020.
66. Michael A. Smith,¹ Jill Henault,¹ Jodi L. Karnell,¹ Melissa L. Parker,¹ Jeffrey M. Riggs,¹ Dominic Sinibaldi,¹ Devon K. Taylor,¹ Rachel Ettinger,¹ Ethan P. Grant,¹ Miguel A. Sanjuan,¹ Roland Kolbeck,¹ Michelle A. Petri, corresponding author² and Kerry A. Casey, corresponding author^{1,3} [SLE Plasma Profiling Identifies Unique Signatures of Lupus Nephritis and Discoid Lupus - PMC \(nih.gov\)](#).
67. Robert Jankowiak, corresponding author¹ Agnieszka Ostafińska,¹ Truls Aas,² Halvor Solheim,^{2,3} Piotr Bilański,⁴ Riikka Linnakoski,⁵ and Georg Hausner⁶) [Three new *Leptographium* spp. \(Ophiostomatales\) infecting hardwood trees in Norway and Poland - PMC \(nih.gov\)](#)
68. Tai Hato¹, Kaoru Kaseda, Masahiko Harada, Hiroto Horio) [Aorticopulmonary paraganglioma - PubMed \(nih.gov\)](#).
69. David J. Niedzwiecki and Liviu Movileanu [Monitoring Protein Adsorption with Solid-state Nanopores - PMC \(nih.gov\)](#).
70. Lynda Bouarab Chibane, Pascal Degraeve, Hicham Ferhout, Jalloul Bouajila, Nadia Oulahal First published: 11 September 2018. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9357>.

- 71.28 March 2023 Sec. Nutrition and Food Science Technology Volume 10-2023 | <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1118761> Anna Plaskova and Jiri Micek * Department of Food Analysis and Chemistry, Faculty of Technology, Tomas Bata University in Zlin, Zlin, Czechia.
72. [D. Renate](#) **Gadung Tuber (*Dioscoreae Hispida* Dennst) As Potential Source Of Staple Food Supporting Food Diversification** Published 17 May 2018 Chemistry.
73. <https://ar.ingredients-lonier.com/info/what-are-the-benefits-of-dried-leek-powder-74324335.html>, 18 Aug, 2022.
74. Lynda BouarabChibane, Pascal Degraeve, HichamFerhout, JalloulBouajila, Nadia Oulahal First published: 11 September 2018 <https://doi.org/10.1002/jsfa.9357>.
75. Mohammad Deden, Abdul Rahim, AsrawatyAsrawaty <https://pengolahanpangan.jurnalpertanianunisapalu.com/index.php/pangan/article/view/35> SifatFisikdan Kimia Edible Film PatiUmbiGadungpadaBerbagaiKonsentrasi 2020 // DOI: 10.31970/pangan.v5i1.35.
76. ThiTuong Vi Tran , Nhu - Ngọc Nguyen , Quốc - Duy Nguyen " , Tran - Phong Nguyen and Tuyet – NganLiên, Received 20th January 2023, Accepted 23rd March 2023 First published on 29th March 2023 DOI: 10.1039 / D3RA00430A (Paper) RSC Adv. , 2023 , 13 , 10005-10014 .
77. Chan - Mi Park , 1 Gyoung - Min Kim , 2 and Gun - Su Cha2,2021 May ; 9 (5) : 1075 . Published online 2021 May 17. Doi: 10.3390 / microorganisms9051075.
78. PanelKuan Rei Ng, XiaomeiLyu, Rita Mark, Wei Ning Chen)<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814618312172?via%3Dihub>, Antimicrobial and antioxidant activities of phenolic metabolites from flavonoid-producing yeast: Potential as natural food preservatives Author links open overlay.

Résumé

Les conservateurs alimentaires jouent un rôle important dans le maintien de la qualité et de la sécurité des aliments en inhibant la croissance microbienne, la dégradation enzymatique et l'oxydation. Cependant, de nombreux conservateurs chimiques actuellement utilisés ont des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement, ce qui a conduit à un intérêt croissant pour les alternatives naturelles ; le but de cette étude était d'évaluer l'efficacité des flavonoïdes en tant que conservateurs alimentaires naturels, et les résultats montrent que les flavonoïdes ont une capacité significative à inhiber la croissance des micro-organismes d'altération dans les aliments. De plus, ils présentent des propriétés antioxydantes, qui peuvent aider à prolonger la durée de conservation des aliments en inhibant l'oxydation des lipides et des protéines. Les flavonoïdes présentent également une activité inhibitrice sur les enzymes responsables de la dégradation des aliments. Cette revue de la littérature met en évidence le grand potentiel des flavonoïdes comme conservateurs alimentaires naturels. Il peut réduire la dépendance aux conservateurs chimiques tout en offrant une solution naturelle et sûre pour la conservation des aliments. Leur utilisation peut aider à répondre à la demande croissante d'aliments plus sains et plus durables. Nos recherches montrent qu'il existe 3 méthodes d'application des flavonoïdes dans la conservation des aliments, et il est recommandé d'étudier plus avant dans ce domaine pour développer des méthodes d'application pratiques des flavonoïdes en tant que conservateurs alimentaires naturels.

Les mots-clés: "flavonoïdes", "conservation alimentaire", "antioxydants naturels", "sécurité alimentaire"

ملخص:

تلعب المواد الحافظة للأغذية دورًا مهمًا في الحفاظ على جودة وسلامة الغذاء عن طريق تثبيط نمو الكائنات الحية الدقيقة والتحلل الإنزيمي والأكسدة. ومع ذلك، فإن العديد من مواد الحافظة الكيميائية المستخدمة حاليًا لها آثار سلبية على صحة الإنسان والبيئة، مما أدى إلى زيادة الاهتمام بالبدائل الطبيعية. إن الغرض من هذه الدراسة هو التحقق من فعالية مركبات الفلافونويد كمواد حافظة طبيعية، وأظهرت النتائج أن مركبات الفلافونويد لها قدرة كبيرة على تثبيط نمو الكائنات الحية الدقيقة التي تسبب تلف الطعام. بالإضافة إلى ذلك يحتوي على خصائص مضادة للأكسدة يمكن أن تساعد في إطالة مدة صلاحية الطعام عن طريق منع أكسدة الدهون والبروتينات. كما تظهر مركبات الفلافونويد أيضًا نشاطًا مثبطًا للإنزيمات التي تسبب تلف الطعام. تسلط هذه الدراسة الضوء على الإمكانيات الكبيرة لمركبات الفلافونويد كمواد حافظة طبيعية للأغذية. حيث يمكنها التقليل من الاعتماد على المواد الحافظة الكيميائية مع توفير حل طبيعي وآمن لحفظ الطعام. يمكن أن يساعد استخدامها في تلبية الطلب المتزايد على طعام صحي وبفترة صلاحية أطول.

يظهر بحثنا أن هناك ثلاث طرق لإستخدام مركبات الفلافونويد في حفظ الأطعمة الغذائية، ويوصى بدراسة هذا المجال بشكل أعمق لتطوير طرق مفيدة لاستخدام مركبات الفلافونويد كمواد حافظة طبيعية للأغذية.

المصطلحات المفتاحية: "الفلافونويد"، "المواد الحافظة للأغذية"، "مضادات الأكسدة الطبيعية"، "حفظ الطعام"

Summary:

Food preservatives play a crucial role in maintaining food quality and safety by inhibiting microbial growth, enzymatic degradation, and oxidation. However, many currently used chemical preservatives have adverse effects on human health and the environment, leading to a growing interest in natural alternatives. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of flavonoids as natural food preservatives. The results demonstrate that flavonoids have a significant capacity to inhibit the growth of spoilage microorganisms in food. Additionally, they exhibit antioxidant properties that can help extend the shelf life of food by inhibiting lipid and protein oxidation. Flavonoids also display inhibitory activity against food-degrading enzymes. This literature review highlights the immense potential of flavonoids as natural food preservatives. They can reduce dependence on chemical preservatives while offering a natural and safe solution for food preservation. Their use can help meet the increasing demand for healthier and more sustainable food. Our research identifies three methods of applying flavonoids in food preservation, and further investigation in this area is recommended to develop practical application methods for flavonoids as natural food preservatives.

Keywords: "flavonoids," "food preservation," "natural antioxidants," "food safety"