



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم علوم الغذاء

Département des Sciences Alimentaires



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

UNIVERSITY MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

## Intitulé

**Étude bibliographique sur les polyphénols alimentaires**

Présenté par :

- DEBOUCHA Ahlam
- LOUASSAA Amani

Soutenu le 11 / 06/ 2024, devant le jury :

**Président :** M<sup>r</sup> TOUATI Noureddine MCA (Université de Bordj Bou Arreridj)  
**Encadrant :** M<sup>me</sup> Benbougerra Nawel MCB (Université de Bordj Bou Arreridj)  
**Examineur :** M<sup>r</sup> BELHADJ Mohamed Tayeb MAA (Université de Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2023/2024

## **Remerciements**

La gratitude à Allah, le Tout-Puissant, qui nous a doté de courage, de volonté, de persévérance, de patience et de foi en nous-mêmes, ainsi que de ce souffle de vie qu'il renouvelle en nous pour rendre possible l'accomplissement de ce travail. Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la contribution de nombreuses personnes que nous souhaitons remercier et honorer dans les quelques lignes suivantes.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude aux membres du jury "**Touati Noureddine et Belhadj Med Tayeb**" pour nous avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail. Leur approbation de notre travail est un grand honneur pour nous et une reconnaissance de nos efforts. Nous sommes reconnaissants pour leur temps précieux et leur dévouement à revoir et à évaluer ce travail, car leurs observations et suggestions ont contribué à l'améliorer et à l'enrichir

.Nous tenons à remercier profondément notre promotrice, Madame **Benbouguerra Nawal**, pour avoir accepté de diriger ce travail, ainsi que pour ses conseils précieux et ses suggestions constructives concernant la rédaction de ce manuscrit. Ses paroles directrices et ses observations critiques ont été un grand moteur pour nous améliorer et atteindre la meilleure version possible de notre travail. Nous apprécions également la confiance qu'elle nous a accordée tout au long de la production de ce mémoire de fin d'études, une confiance qui nous a donné un énorme coup de pouce moral et nous a incités à viser l'excellence.

En conclusion, nous exprimons notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué, même par un mot d'encouragement, à l'accomplissement de cette modeste travail. Cet accomplissement est le fruit d'efforts communs et résulte du soutien et de l'encouragement que nous avons reçu de tous ceux qui nous entourent.

**AMANI/AHLAM**

## DÉDICACES

Tout d'abord, louange à **Allah** Tout-Puissant qui m'a donné courage, santé et patience sans lesquels ce travail aurait été définitivement impossible à accomplir.

À mes très chers parents **Louassaa abaoub** et **Rouibeh houria** en hommage à tous sacrifices que vous avez consentis pour moi pendant les longues années d'études.

Merci de m'avoir fait devenir la personne que je suis aujourd'hui et de m'avoir appris à vivre avec dignité et honneur. Mon amour et mon respect pour vous sont sans limites, et les mots ne suffisent pas à vous rendre justice. Merci pour votre confiance et vos encouragements constants, et pour votre présence à mes côtés chaque fois que j'en avais besoins.

Un grand hommage est également dédié à grand-mère **Zaibet Zaidouma** malgré ton absence, ta présence restera toujours dans mon cœur. Merci pour l'amour et les leçons que tu m'as donné. Que dieu ait pitié de toi et t'accorde le paradis.

À mon âme et ma sœur **liliane**, sans oublier ce que j'ai de plus chers, mes frères **Mohib Eddine** et **Alae Eddine**, Merci d'être présents dans ma vie, je vous aime beaucoup.

À mes chères amies **Abir, Nihed, Laarem, Amira, Imen, Maroua** et **Maissa** ...merci d'avoir cru en moi et de m'avoir toujours encouragé

Enfin à ma binôme **Ahlam** merci de ne pas avoir lâché prise, et d'avoir tenu bon jusqu'au bout ... ce n'était pas facile, mais on y est quand même arrivé !!

**AMANI**

## DÉDICACES

Louange à Dieu pour le début et la fin. Après des années d'études, me voici aujourd'hui sur le seuil de ma remise de diplôme, récoltant les fruits de mes efforts et levant mon chapeau avec fierté. Louange à Dieu qui a facilité les débuts et nous a permis d'atteindre les fins par sa grâce et sa générosité.

Je dédie cette réussite en premier lieu à moi-même, ambitieux au départ et réussi à la fin, puis à tous ceux qui ont travaillé avec moi pour achever ce parcours.

À celui dont le nom ne se sépare pas du mien, qui est le soutien de ma force et la lampe qui éclaire mon chemin (*mon cher père Deboucha Chaâbane*).

À celle sous les pieds de laquelle se trouve le paradis, et qui a facilité les difficultés par ses prières, et qui est la lumière de ma vie (*ma chère mère Deboucha Taouas*)

À ma chère grand-mère, que Dieu prolonge votre vie (*Benzaoui Fatma*)

À ceux à qui on a dit "Tu auras la force de ton frère" (*Marouan et Youssef Sadik*).

À celle qui a cru en mes capacités, ma grande sœur (*Sonia*).

À celle qui me soutient comme mon ombre, mes sœurs (*Maroua et Ikram*).

Aux plus jeunes membres de notre famille, fils de ma sœur (*Jaouad*).

À ceux qui ont misé sur mon succès et me rappellent ma force et ma capacité (*Ruibah Bassma et kerrache Sabiha*).

À ceux qui ont partagé avec moi cette réussite (*Louassaâ Amani*).

À l'enseignante "*Benbouguerra Nawal*" qui a supervisé ce mémoire.

Et je voudrais conclure cette dédicace en hommage à mes amis que j'ai rencontrés lors de mes études, parmi eux "*Aicha, Iman, Marwa et Maïssa*".

Enfin, à celui qui dit : "Je lui appartiens, malgré elle", ce que je ferais sans la réussite de Dieu, louange à Dieu, amour, gratitude et reconnaissance.

**AHLAM**

## **Table des matières**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Résumé**

**Introduction .....1**

### **Chapitre I : Généralités sur les polyphénols**

I.1. Structure des polyphénols.....3

I.2. Classification des polyphénols.....3

I.3. Applications technologiques des composés phénoliques.....10

### **Chapitre II : Polyphénols dans les aliments**

II.1. Présence et répartition des polyphénols.....14

II.2. Facteurs influençant la teneur en polyphénols des aliments.....16

### **Chapitre III : Techniques d'extraction des polyphénols**

III.1. Technologies conventionnelles.....20

III.2. Technologies non conventionnelles.....22

### **Chapitre IV : Biodisponibilité et métabolisme des polyphénols**

IV.1. Acides phénoliques.....26

IV.2. Flavonoïdes.....27

IV.3. Stilbènes.....28

IV.4. Tanins.....28

### **Chapitre V : Propriétés biologiques des polyphénols**

V.1. Effet cardioprotecteur.....30

V.2. Effet anti-cancer.....31

V.3. Effets neuroprotecteur.....	33
V.4. Effet antidiabétique.....	34
V.5. Effet anti-obésité.....	35
V.6. Effet antioxydant.....	36
V.7. Effet anti-inflammatoire.....	37
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>39</b>

## **Références bibliographiques**

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Structure du noyau phénol.....	3
<b>Figure 02</b> : Structure de l'acide hydroxybenzoïque.....	4
<b>Figure 03</b> : Structure de l'acide hydroxycinnamique.....	5
<b>Figure 04</b> : Structure de base d'un flavonoïde.....	6
<b>Figure 05</b> : Structure de base des flavonols.....	6
<b>Figure 06</b> : Structure de base des flavones.....	7
<b>Figure 07</b> : Structure de base des flavanones.....	7
<b>Figure 08</b> : Structure de base des flavanols.....	8
<b>Figure 09</b> : Structure de base des anthocyanines.....	8
<b>Figure 10</b> : Structure de base des isoflavones.....	8
<b>Figure 11</b> : Structure de base des stilbènes.....	9
<b>Figure 12</b> : Structure chimique (a) d'un tanin condensé et (b) d'un gallotanin.....	10
<b>Figure 13</b> : Technologies d'extraction utilisées pour isoler les composés bioactifs des aliments.....	20
<b>Figure 14</b> : Métabolisme et absorption des polyphénols alimentaires.....	27

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Principaux dérivés de l'acide hydroxybenzoïque.....	4
<b>Tableau II</b> : Principaux dérivés acide hydroxynnamique.....	5
<b>Tableau III</b> : Teneurs en polyphénols de certains aliments.....	14



## **Liste des abréviations**

**4-OMG** : Acide 4-O-méthylgallic

**ADN** : Acide Désoxyribonucléique

**COX** : Cyclooxygénase

**DAH** : Dérivés de l'acide hydroxycinnamique

**EAM** : Extraction assistée par micro-ondes

**EAU** : Extraction assistée par ultrasons

**EFS** : Extraction par fluide supercritique

**EGCG** : Epigallocatechine Gallate

**HDL** : Lipoprotéines De haute Densité

**KHz** : kilohertz

**LDL** : Lipoprotéines de basse Densité

**MAE** : Extraction assistée par micro-ondes

**MCV** : Maladies Cardiovasculaires

**MF** : Matière fraîche

**MHz** : Mégahertz

**MPTP** : N-méthyl-4-phényl-1,2,3,6-tétrahydropyridine

**MS** : Matière sèche

**SM** : Métabolites secondaires

**UV** : Ultraviolettes

## ملخص

الهدف من هذا البحث البيولوجرافي هو توفير مورد قيم للباحثين وأخصائيي التغذية والأطباء، لتعزيز فهم أعمق للأطعمة الغنية بالبوليفينولات، وتقنيات استخراج هذه المركبات، والعلاقة المعقدة بين البوليفينولات وصحة الإنسان. تصنف هذه المركبات إلى عدة فئات رئيسية بناءً على تنوع هيكلها الكيميائي، حيث تقدم كل منها فوائد وتأثيراتها الصحية الخاصة. تعمل البوليفينولات كمضادات أكسدة فعالة وتُعرف بفوائدها الصحية العديدة، بما في ذلك قدرتها على مكافحة الأكسدة وتقليل مخاطر الأمراض المزمنة. يشمل مصير البوليفينولات في جسم الإنسان عدة مراحل؛ يتم هضمها في الجهاز الهضمي ثم تمر إلى مجرى الدم. يتنوع مصيرها في الجسم، حيث يتراكم بعضها في أنسجة محددة بينما يخضع جزء آخر لعملية تفكك ويتم التخلص منه من الجسم بواسطة الكبد والكلية.

**الكلمات المفتاحية:** بوليفينولات، استخراج، أيض، أنشطة بيولوجية

## Summary

The objective of this bibliographic research is to provide a valuable resource for researchers, nutritionists, and clinicians, promoting a deeper understanding of polyphenol-rich foods, the techniques for extracting these compounds, and the complex relationship between polyphenols and human health. These compounds are classified into several main categories based on the diversity of their chemical structures, each offering its own benefits and health effects.

Polyphenols act as effective antioxidants and are recognized for their numerous health benefits, including their ability to combat oxidation and reduce the risk of chronic diseases.

The fate of polyphenols in the human body involves several stages; they are digested in the digestive system and then pass into the bloodstream. Their fate in the body varies, with some accumulating in specific tissues while another part undergoes a decomposition process and is eliminated from the body by the liver and kidneys.

**Keywords:** Polyphenols, extraction, metabolism, biological activities

## Résumé

L'objectif de cette recherche bibliographique est de fournir une ressource précieuse pour les chercheurs, les nutritionnistes et les cliniciens, en favorisant une compréhension plus approfondie des aliments riches en polyphénols, des techniques d'extraction de ces composés, ainsi que de la relation complexe entre les polyphénols et la santé humaine.

Ces composés sont classés en plusieurs catégories principales en fonction de la diversité de leurs structures chimiques, chacune offrant ses propres avantages et effets sur la santé. Les polyphénols agissent comme des antioxydants efficaces et sont reconnus pour leurs nombreux bienfaits pour la santé, notamment leur capacité à lutter contre l'oxydation et à réduire le risque de maladies chroniques.

Le destin des polyphénols dans le corps humain comprend plusieurs étapes ; ils sont digérés dans le système digestif puis passés dans la circulation sanguine. Leur destin dans le corps varie, une partie s'accumulant dans des tissus spécifiques, tandis que l'autre partie subit un processus de décomposition et est éliminée du corps par le foie et les reins.

**Mots clés :** Polyphénols, extraction, métabolisme, activités biologiques

# **Introduction générale**

Les polyphénols sont des métabolites secondaires naturellement présents dans les plantes en tant que composés physiologiques essentiels (**Quideau, 2013**). Ils constituent une vaste famille de molécules comportant un ou plusieurs noyaux phénoliques et se trouvent dans de nombreuses sources alimentaires telles que le thé vert, les raisins, les légumes, les fruits rouges et le café (**Pandey et Rizvi, 2009**). Il est connu que la plupart des polyphénols sont de puissants antioxydants et peuvent également posséder des propriétés anti-inflammatoires (**Chira et al., 2008**).

Ces propriétés ont suscité l'intérêt des chercheurs pour les polyphénols, et de nombreuses études ont mis en évidence leur rôle potentiel dans la prévention et le traitement de diverses affections pathologiques liées au stress oxydatif et à l'inflammation, telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et les troubles neurodégénératifs (**Fraga et al., 2010**).

Récemment, l'industrie alimentaire s'est également intéressée aux sous-produits dérivés des plantes et des fruits en raison de leur riche contenu en polyphénols et de leur utilisation potentielle dans les aliments fonctionnels ou les compléments alimentaires. Bien que certains composés phénoliques soient spécifiques à certains fruits et plantes, de nombreux polyphénols sont présents dans plusieurs sources alimentaires, et de nombreux fruits et légumes produisent plus d'un type particulier de phénol, étant plus ou moins riches en une variété de ces composés (**Silva et Pogačnik, 2020**).

L'extraction de composés à partir de matériaux végétaux constitue la base de la recherche sur les produits naturels. Un effort inlassable a été déployé pour découvrir de meilleures méthodes d'extraction. De même, plusieurs méthodes modernes d'extraction respectueuses de l'environnement, telles que les fluides supercritiques, les ultrasons et l'extraction assistée par micro-ondes gagnent en importance (**Bitwell et al., 2023**).

Notre recherche bibliographique vise à fournir une ressource précieuse pour les chercheurs, les nutritionnistes et les cliniciens, en favorisant une compréhension plus approfondie des aliments riches en polyphénols, des techniques d'extraction de ces composés, ainsi que de la relation complexe entre les polyphénols et la santé humaine.

Cette recherche bibliographique est répartie en 5 chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les polyphénols, en commençant par leurs structures jusqu'à leurs applications technologiques.
- Le deuxième chapitre donne un aperçu des composés phénoliques présents dans les aliments ainsi que de leurs teneurs.

## **Introduction générale**

- Le troisième chapitre décrit les techniques d'extraction les plus utilisées pour extraire les composés phénoliques.
- Le quatrième chapitre décrit la pharmacocinétique des polyphénols dans l'organisme.
- Le dernier chapitre se concentre sur les bienfaits et les propriétés biologiques des polyphénols.

**Chapitre I :**  
**Généralités sur les**  
**polyphénols**

### I.1. Structure des polyphénols

Les polyphénols, au nombre de 8000, constituent un ensemble de métabolites secondaires comprenant divers composés présents dans les plantes (Collin et Crouzet, 2011). Les composés phénoliques naturels se trouvent sous forme conjuguée, liés à des mono- et polysaccharides associés à un ou plusieurs groupes phénoliques. Ils peuvent également se présenter sous forme de dérivés fonctionnels, tels que des esters et des esters méthyliques (Molino *et al.*, 2016). Ces composés contiennent au moins un cycle aromatique avec un ou plusieurs groupes hydroxyles, (Figure 01). Les acides phénoliques, exemplifiés par l'acide gallique, représentent les formes les plus simples, tandis que les tanins sont des structures polymérisées dépassant les 3000 daltons (Emira et Erwan, 2011). Un composé est considéré comme phénolique s'il renferme un seul cycle phénolique, tandis qu'il est qualifié de polyphénol en présence de plusieurs cycles phénoliques. Les cycles phénoliques des polyphénols sont fréquemment liés à des structures complexes de poids moléculaire élevé. Malgré cela, il est habituel d'inclure les composés phénoliques dans la catégorie des polyphénols (Quideau, 2013).

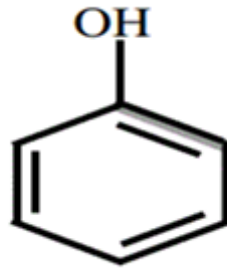


Figure 01 : Structure du noyau phénol (Quideau, 2013)

### I.2. Classification des polyphénols

La classification des polyphénols se base principalement sur leur structure, le nombre de noyaux aromatiques et les éléments structuraux qui les relie. Ils peuvent être divisés en deux catégories : les composés phénoliques simples et les composés phénoliques complexes (D'Archivio *et al.*, 2007).

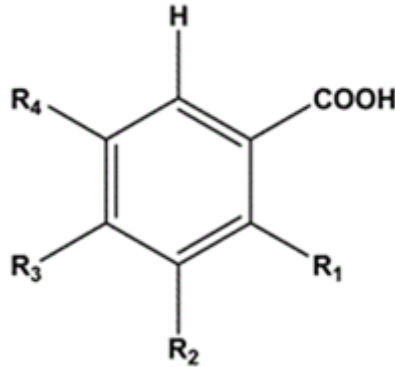
#### I.2.1. Polyphénols simples

##### I.2.1.1. Acides phénoliques

Composés organiques possèdent au moins une fonction acide carboxylique et un hydroxyle phénolique, ils se divisent en deux catégories : les dérivés de l'acide hydroxybenzoïque (C6-C1) et les dérivés de l'acide hydroxycinnamique (C6-C3) (Pandey et Rizvi, 2009).

✓ **Dérivés de l'acide hydroxybenzoïque (C6-C1)**

Les dérivés de l'acide hydroxybenzoïque se caractérisent par une formule de base simple de type C6-C1. Ils comprennent un noyau benzénique auquel est attachée une chaîne aliphatique reliée à un carbone (**figure 02**) (**Chira et al., 2008**).



**Figure 02** : Structure de l'acide hydroxybenzoïque (**Stalikas, 2007**)

Les acides phénoliques sont associés à la couleur, aux qualités sensorielles, ainsi qu'aux propriétés nutritionnelles et antioxydantes des aliments (**Robbins, 2003**). Les acides hydroxybenzoïques les plus courants incluent l'acide gallique, l'acide vanillique, l'acide protocatéchique et l'acide p-hydroxybenzoïque (**tableau I**) (**Stalikas, 2007**).

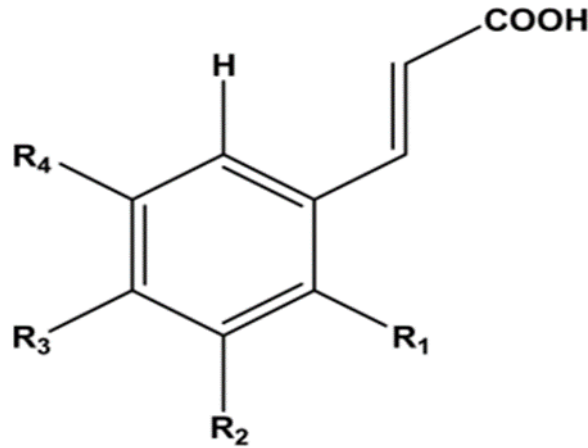
**Tableau I** : Principaux dérivés de l'acide hydroxybenzoïque (**Stalikas, 2007**)

Nom	R1	R2	R3	R4
Acide vanillique	H	OCH <sub>3</sub>	OH	H
Acide gallique	H	OH	OH	OH
Acide gentisique	OH	H	H	OH
Acide benzoïque	H	H	H	H
Acide syringique	H	OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>
Acide parahydroxybenzoïque	H	H	OH	H
Acide protocatéchique	H	OH	OH	H
Acide salicylique	OH	H	H	H
Acide veratrique	H	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>	H



## ✓ Dérivés de l'acide hydroxycinnamique (C6-C3)

Les dérivés de l'acide hydroxycinnamique (DAH) se caractérisent par une structure chimique simple (C6-C3) (**Figure 03**), représentant le principal sous-groupe des acides phénoliques présents de manière ubiquitaire dans le règne végétal (**Teixeira *et al.*, 2013**).



**Figure 03** : Structure de l'acide hydroxycinnamique (**Stalikas, 2007**)

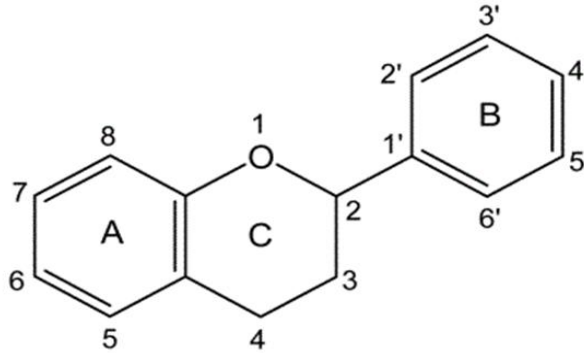
Les DAH, tels que l'acide p-coumarique, caféique, férulique et sinapique (**Tableau II**) occupent une place importante dans la nature (**Chira *et al.*, 2008**). Leur distribution étendue et leur concentration élevée leur confèrent un rôle central dans la biosynthèse des systèmes phénoliques plus complexes. Ces métabolites secondaires se trouvent également sous plusieurs formes conjuguées, notamment des amides, des esters, principalement des esters d'acides hydroxy tels que l'acide tartrique et des dérivés de sucre, ainsi que des glycosides (**Škerget *et al.*, 2005**)

**Tableau II** : Principaux dérivés acide hydroxynnamique (**Stalikas, 2007**)

Nom	R1	R2	R3	R4
Acide sinapique	H	OCH <sub>3</sub>	OH	OCH <sub>3</sub>
Acide férulique	H	OCH <sub>3</sub>	OH	H
Acide cinnamique	H	H	H	H
Acide o-Coumarique	H	OH	H	H
Acide caféique	H	OH	OH	H
Acide p-coumarique	H	H	OH	H
Acide m-coumarique	H	OH	H	H

### I.2.1.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés possédant une structure de base composée de quinze atomes de carbone, incluant deux noyaux aromatiques et un hétérocycle central de type pyrane, formant ainsi une structure C6-C3-C6 (**Figure 04**) (**Ghedira, 2005**). Selon **Heim et al. (2002)**, plus de 4 000 flavonoïdes ont été identifiés.

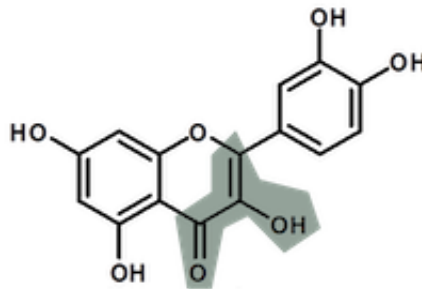


**Figure 04** : Structure de base d'un flavonoïde (**Pandey et Rizvi, 2009**)

Selon le type d'hétérocycle impliqué, les flavonoïdes peuvent être classés en six sous classes : flavonols, flavones, flavanones, flavanols, anthocyanines et isoflavones (**Chira et al., 2008** ; **Quideau et al., 2011**). Les différences au sein de chaque sous-classe résultent de la variation du nombre et de l'arrangement des groupes hydroxyles, ainsi que de leur degré d'alkylation et/ou de glycosylation (**Amiot et al., 2009**).

#### ✓ Flavonols

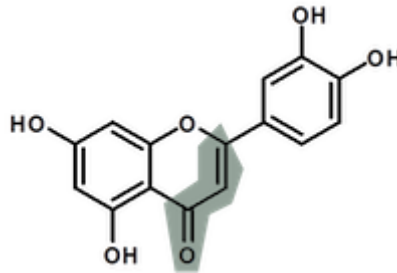
Ils possèdent une double liaison entre les carbones C2 et C3, ainsi qu'un groupe hydroxyle en position C3 (**Figure 05**). Les flavonols sont les flavonoïdes les plus courants dans les aliments. Parmi les flavonols, on trouve le kaempférol, la myricétine et l'isorhamnétine, avec la quercétine comme composé le plus représentatif.



**Figure 05** : Structure de base des flavonols (**Prabhu et al., 2021**)

### ✓ Flavones

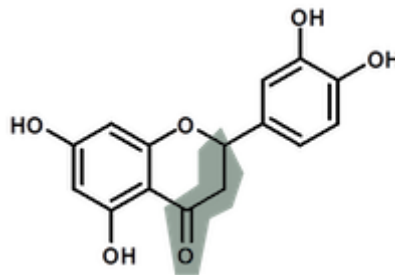
Les flavones sont structurellement très proches des flavonols, la différence réside dans l'absence du groupe hydroxyle en position C3 (**Figure 06**). De nombreuses substitutions peuvent se produire sur les flavones, telles que l'hydroxylation, la méthylation, ainsi que les O- et C-alkylations et la glycosylation. Les flavones se trouvent principalement sous forme de glucosides (**Chira et al., 2008**).



**Figure 06** : Structure de base des flavones (**Pandey et Rizvi, 2009**)

### ✓ Flavanones

Les flavanones sont les premiers produits de la voie de synthèse des flavonoïdes. Elles se caractérisent par l'absence de la double liaison entre les carbones 2 et 3 (**Figure 07**). La plupart des flavanones présentes dans la nature ont le cycle B attaché au cycle C en position C2 (**Chira et al., 2008**). La structure des flavanones est très réactive et subit des réactions d'hydroxylation, de méthylation et de glycosylation. Une flavanone bien connue des agrumes est l'hésperidine (**D'Archivio et al., 2007**).

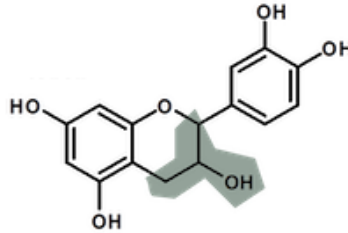


**Figure 07** : Structure de base des flavanones (**D'Archivio et al., 2007**)

### ✓ Flavanols

Les flavanols, en tant que sous-groupe distinct des flavonoïdes, se distinguent par l'absence de double liaison entre les carbones C-2 et C-3, ainsi que par l'absence d'un groupe carbonyle en position C-4 du cycle C. Ils possèdent par ailleurs un ou plusieurs groupes hydroxyle en position C-3 ou C-4 (**Figure 08**) (**Luo et al., 2022**).

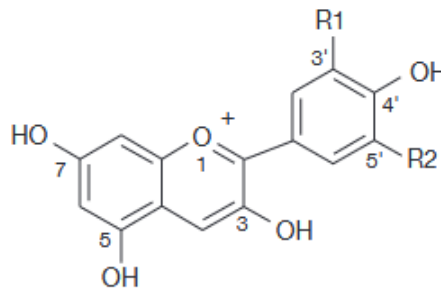
Les flavanols monomères les plus fréquemment trouvés dans les sources alimentaires sont la catéchine, l'épi(gallo)catéchine et leurs dérivés gallates (Arfaoui, 2021).



**Figure 08** : Structure de base des flavanols (Chira *et al.*, 2008)

### ✓ Anthocyanines

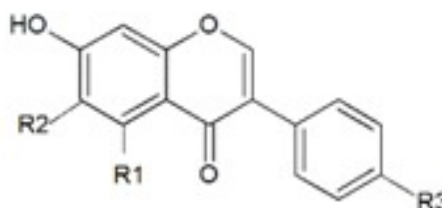
Ces composés phénoliques se caractérisent par une génine comportant un noyau flavylum ou cation 2-phénylbenzopyrilium (Figure 09). Ils sont des pigments hydrosolubles et stables sous forme d'hétérosides, responsables des couleurs rouge, rose, mauve, pourpre, bleue ou violette de la plupart des fleurs et des fruits (Derbel et Ghedira, 2005). Parmi les anthocyanines, on trouve fréquemment la pélagonidine, la cyanidine et la malvidine (Vitrac *et al.*, 2005).



**Figure 09** : Structure de base des anthocyanines (Derbel et Ghedira, 2005)

### ✓ Isoflavones

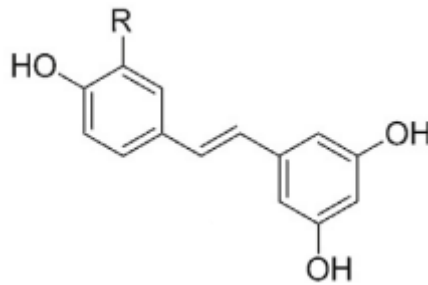
Les isoflavones sont une sous-classe des flavonoïdes. Leur structure moléculaire se compose de trois cycles, comprenant deux cycles aromatiques et un cycle hétérocyclique avec un atome d'oxygène (Figure 10). Les principales isoflavones provenant du soja sont la génistéine, la daidzéine et la glycitéine (Andres *et al.*, 2011).



**Figure 10** : Structure de base des isoflavones (Křížová *et al.*, 2019)

### I.2.1.3. Stilbènes

Les stilbènes (1,2-diphényléthylène) sont des composés phénoliques dérivés de la voie métabolique de la phénylalanine (**Figure 11**). Parmi les stilbènes couramment identifiés, le resvératrol est le plus connu (**Gambini *et al.*, 2015**). Leur structure se compose de deux cycles phénoliques reliés par un pont éthylène, formant une chaîne C6-C2-C6. Les cycles aromatiques peuvent être substitués par divers groupes fonctionnels tels que des groupes hydroxyle et méthoxyle. De plus, les unités monomériques peuvent se coupler pour former des oligomères. Plus de 1000 stilbènes naturels ont été décrits dans la littérature (**Rivière *et al.*, 2012**). En outre, les stilbènes sont considérés comme des phytoalexines car ils sont associés à la résistance des plantes aux maladies, et leur synthèse est souvent une réponse à des attaques par des agents phytopathogènes et d'autres facteurs de stress tels que les radiations ultraviolettes (UV), les métaux lourds ou les blessures ou le gel (**Błaszczuk *et al.*, 2019**).



**Figure 11** : Structure de base des stilbènes (**Richard *et al.*, 2014**)

### I.2.2. Polyphénols complexes (Tanins)

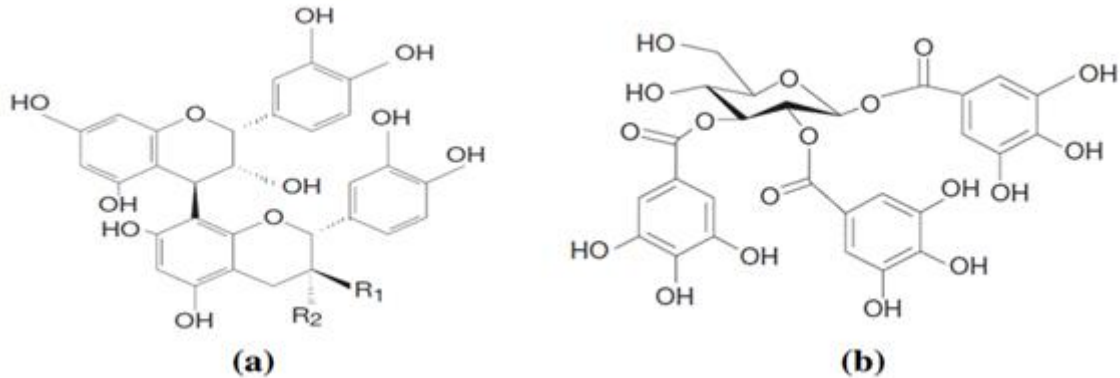
Les tanins sont un groupe de substances phénoliques polymériques qui possèdent la capacité de tanner le cuir ou de précipiter la gélatine en solution, un phénomène connu sous le nom d'astringence. Leur poids moléculaire varie de 500 à 3 000 et ils sont présents dans presque toutes les parties de la plante : écorce, feuilles, fruits et racines. Ils peuvent être produits par la condensation de dérivés flavaniques transportés vers les tissus ligneux des plantes ou par la polymérisation d'unités de quinone. Les tanins sont divisés en deux groupes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (**Quideau *et al.*, 2011**).

#### I.2.2.1. Tanins hydrolysables

Constitués par une molécule glucidique sur laquelle est estérifiée de l'acide gallique (**Figure 12**) ou un de ces dérivés (acide ellagique, acide digallique) d'où le nom de pyrogalliques et d'ellagitanins qu'on leur donne quelquefois. Ils sont facilement hydrolysés par voie chimique ou enzymatique (**Sereme *et al.*, 2011**).

### I.2.2.2. Tanins condensés

Appelés aussi proanthocyanidines, résultent de la polymérisation de molécules élémentaires de flavanols reliées par des liaisons C4 et C8 ou C4 et C6 (**Figure 12**). Les proanthocyanidines ont été isolés ou identifiés dans tous les groupes de végétaux (**Balasundram *et al.*, 2006**).



**Figure 12** : Structure chimique (a) d'un tanin condensé et (b) d'un gallotanin (**Derbel et Ghedira, 2005**).

## I.3. Applications technologiques des composés phénoliques

En ce qui concerne le potentiel technologique des composés phénoliques, plusieurs applications ont été proposées, non seulement dans l'industrie alimentaire, mais aussi dans d'autres domaines d'intérêt commercial. Cependant, il est important de noter que les fabricants de produits alimentaires doivent non seulement maîtriser la technologie de combinaison des ingrédients pour répondre aux exigences sensorielles et de sécurité, mais aussi créer un nouveau cadre de recommandations alimentaires basé particulièrement sur la physique, les techniques de stockage et de conservation, la restauration des nutriments et l'enrichissement des aliments. Cela permet le développement de nouveaux produits avec des allégations fonctionnelles et une qualité améliorée (**Araújo *et al.*, 2021**).

### I.3.1. Films bioactifs

Les films bioactifs peuvent être utilisés pour fabriquer des emballages bioactifs ainsi que pour d'autres applications technologiques. Les emballages actifs ont suscité beaucoup d'intérêt ces dernières années en raison de la possibilité d'incorporer des conservateurs ou des antioxydants qui sont intentionnellement libérés dans les aliments emballés ou dans l'atmosphère entourant le produit (**Kaewprachu *et al.*, 2018**). Un grand avantage des emballages bioactifs est qu'ils sont écologiques et représentent une avancée majeure pour le secteur alimentaire, car ils peuvent remplacer les emballages plastiques dérivés du pétrole (**Harb, 2022**).

La fabrication d'emballages bioactifs à base d'amidon, de pectine d'agrumes et fonctionnalisés avec des sous-produits de déchets d'*Acca sellowiana* (riches en composés phénoliques) a montré une activité antimicrobienne contre *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* et *Pseudomonas aeruginosa*. De plus, les emballages produits se sont révélés efficaces pour maintenir la qualité des pommes, en évitant la perte de poids des fruits jusqu'au cinquième jour de stockage (**Sganzerla et al., 2020**). La production de films à partir de chitosane/acide ellagique présente une haute capacité antioxydante et inhibe la croissance des agents pathogènes d'origine alimentaire (**Vilela et al., 2017**).

D'autres applications des composés phénoliques impliquent la production de films actifs de gélatine de poisson avec l'ajout d'anthocyanines (**Uranga et al., 2018**) et l'utilisation de films composés de quercétine qui peuvent être utilisés comme matériaux antioxydants (**Araújo et al., 2021**).

### I.3.2. Utilisation en tant que colorants naturels

La prise de conscience croissante des impacts négatifs de l'utilisation de colorants synthétiques sur la santé humaine a stimulé la recherche de nouveaux pigments naturels (**Chaitanya, 2014**). Les fruits, les légumes et leurs résidus industriels sont riches en composés phénoliques, qui ont une grande valeur ajoutée, un coût relativement bas et un fort potentiel pour être utilisés comme colorants naturels, fournissant des teintes de rouge, jaune-orange, bleu et vert (**Vinha et al., 2018 ; Phan et al., 2020**).

Selon **Bener et al. (2010)**, les flavonoïdes sont des composés qui, en plus de leur potentiel antioxydant remarquable, peuvent également être utilisés industriellement comme colorants naturels. De plus, en raison de leur biocompatibilité, non-toxicité, absence de réactions allergiques et d'effets non cancérogènes sur la santé humaine, les polyphénols peuvent également être utilisés pour la teinture du nylon.

Les anthocyanines, malgré leur instabilité, sont principalement utilisées comme colorants alimentaires, mais elles ont également le potentiel de teindre d'autres produits tels que les substrats textiles, le coton, le cuir, la soie et les cheveux humains (**Phan et al., 2020**). Dans l'industrie alimentaire, les anthocyanines peuvent être utilisées comme pigments dans des produits tels que le lait fermenté, les smoothies, les boissons à faible pH et les matrices solides telles que les pancakes et les omelettes. Ces composés peuvent également être utilisés pour assurer la stabilité des aliments pendant le stockage et comme copigments (**Vinha et al., 2018**).

En ce qui concerne la législation qui régule l'utilisation des colorants naturels en tant qu'additifs alimentaires, l'union européenne autorise l'utilisation de pigments naturels tels que les anthocyanines, les bêtaïnes, les caroténoïdes, la chlorophylle et ses dérivés, les curcumines

et l'acide carminique. En revanche, l'agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux des autorise l'utilisation de l'extrait d'annatto, du  $\beta$ -carotène, de la betterave en poudre, de la canthaxanthine, de l'huile de carotte, du carmin, du jus de fruit, de l'extrait de raisin, de l'extrait de peau de raisin, du paprika et du safran (Araújo *et al.*, 2021).

### I.3.3. Applications des polyphénols en tant qu'ingrédients prébiotiques

Récemment, les polyphénols ont été inclus dans la classe des prébiotiques en raison de leur capacité à interagir avec les microbes intestinaux et l'hôte et/ou à modifier l'ensemble des métabolites microbiens biodisponibles pour l'hôte. Par exemple, Jiao *et al.* (2019) ont rapporté que l'administration d'un extrait polyphénolique de myrtille pendant 12 semaines inhibait la prise de poids et normalisait le métabolisme lipidique des souris nourries avec un régime riche en graisses. De plus, il a été observé que l'amélioration du métabolisme lipidique des animaux traités avec l'extrait phénolique était corrélée avec la modulation de la composition du microbiote intestinal, incluant *Proteobacteria*, *Deferribacteres*, *Actinobacteria*, *Bifidobacterium*, *Desulfovibrio*, *Adlercreutzia*, *Helicobacter*, *Flexispira* et *Prevotella*.

De même, Chen *et al.* (2019) ont constaté que la supplémentation en polyphénols de thé vert dans l'alimentation des souris pendant 7 semaines modifiait significativement la composition du microbiote dans le cæcum et le côlon, cette modification étant corrélée avec la réduction de la glycémie chez les animaux traités.

### I.3.4. Autres applications des composés phénoliques

En plus de leurs applications en tant que colorants naturels, films bioactifs et composés avec des propriétés prébiotiques, l'utilisation des composés phénoliques a été proposée dans divers domaines technologiques.

Selon Liu *et al.* (2018), les flavonoïdes conjugués aux polysaccharides ont de fortes activités antioxydantes, antimicrobiennes et antitumorales, et peuvent être utilisés dans le développement d'hydrogels pour la libération contrôlée de médicaments, de micelles pour l'administration orale de médicaments et d'émulsions pour l'administration de nutraceutiques.

En technologie alimentaire, les composés phénoliques sont également de grande importance. Par exemple, l'application d'un système recombinant laccase-acide chlorogénique dans la fabrication de caillés a entraîné une augmentation du potentiel antioxydant et l'obtention d'un produit final avec une valeur nutritionnelle remarquable. De plus, la combinaison de quercétine et d'amidon s'est révélée efficace dans la production d'un nouvel amidon résistant avec une capacité antioxydante renforcée, pouvant être utilisé comme matériau d'emballage et agent d'encapsulation.



## Généralités sur les polyphénols

Récemment, les études sur l'interaction des glucides et des polyphénols ont gagné en importance, car ce type d'interaction peut améliorer les propriétés physico-chimiques de l'amidon. Par exemple, l'utilisation d'acides phénoliques, de flavonoïdes et de procyanidines peut modifier des propriétés telles que la gélatinisation, la rétrogradation, la gélification et la digestibilité de l'amidon. L'acide férulique, la rutine et la quercétine pourraient réduire la température de gélatinisation et faciliter la formation de gel d'amidon plus doux. De plus, des composés tels que les tanins peuvent augmenter la cristallinité, la température de liaison et la viscosité maximale de l'amidon (**Du et al., 2019**).

**Chapitre II :**  
**Polyphénols dans**  
**les aliments**

### II.1. Présence et répartition des polyphénols

La présence et la répartition des composés phénoliques dans les plantes, tant au niveau tissulaire, cellulaire que subcellulaire ne sont pas uniformes. Les phénoliques insolubles se trouvent dans les parois cellulaires, tandis que les phénoliques solubles sont localisés dans les vacuoles cellulaires des plantes. Certains polyphénols, tels que la quercétine, se retrouvent dans tous les produits végétaux (fruits, légumes, céréales, légumineuses, jus de fruits, thé, infusions, etc.), tandis que d'autres sont spécifiques à certains aliments (les flavanones dans les agrumes et les isoflavones dans le soja). La plupart des aliments contiennent des mélanges complexes de polyphénols (**Tableau III**). Par exemple, les pommes contiennent des monomères de flavanol (principalement de l'épicatéchine) ou des oligomères (principalement de la procyanidine B2), de l'acide chlorogénique et de petites quantités d'autres acides hydroxycinnamiques, plusieurs glycosides de quercétine, et des anthocyanines telles que la cyanidine 3-galactoside dans la peau de certaines variétés rouges (**Manach et al., 2004**).

**Tableau III** : Teneurs en polyphénols de certains aliments (**Manach et al., 2004 ; Chira et al., 2008 ; Amiot et al., 2009 ; El Gharras, 2009 ; Rudrapal et al., 2024**)

Classes	Composés	Sources	Teneurs
<b>Polyphénols</b>	Polyphénols totaux	Orge	1200-1500 mg/100 g MS
		Myrtille	135-280 mg/100 g MS
		Oignon	100-2025 mg/100 g MS
		Pomme	27-298 mg/100 g MS
		Tomate	85-130 mg/100 g MS
		Fenouil	1717 mg/100g MS
		Radis	1411 mg/100g MS
		Chou	733 mg/100g MS
		Carotte	307 mg/100g MS
		Laitue	507 mg/100g MS
		Poireaux	567 mg/100g MS
		Concombre	453 mg/100g MS
		Pomme de terre	155 mg/100g MS

## Polyphénols dans les aliments

<p style="text-align: center;"><b>Acides hydroxybenzoïques</b></p>	<p style="text-align: center;">Acide gallique Acide chlorogénique Acide protocatéchique</p>	<p style="text-align: center;">Chocolat noir Cassis Châtaigne Framboise</p>	<p style="text-align: center;">720 mg/Kg 7 -39 mg/100 g MF 2,7-9 g/kg MF 60-100 mg/kg MF</p>
<p style="text-align: center;"><b>Acides hydroxycinnamiques</b></p>	<p style="text-align: center;">Acide caféique Acide chlorogénique Acide coumarique Acide férulique Acide sinapique</p>	<p style="text-align: center;">Café Kiwi Artichaut Carottes Cerise Prune Aubergine Pomme Grain de blé</p>	<p style="text-align: center;">195 mg - 4 g/L 600-1000 mg/kg 1,36- 4 g/kg MF 44-120 mg/kg MF 180-1150 mg/kg MF 140-1150 mg/kg MF 600 -660 mg/kg MF 50-600 mg/kg MF 0,8 à 2 g/kg MF</p>
<p style="text-align: center;"><b>Flavonols</b></p>	<p style="text-align: center;">Quercétine Kaempférol Myricétine</p>	<p style="text-align: center;">Oignon Brocoli Abricot Pomme Thé noir</p>	<p style="text-align: center;">350-1200 mg/kg MF 40-100 mg/kg MF 25-50 mg/kg MF 20-40 mg/kg MF 30-45 mg/L</p>
<p style="text-align: center;"><b>Flavones</b></p>	<p style="text-align: center;">Apigénine Lutéoline</p>	<p style="text-align: center;">Persil Céleri Olive Poivron rouge</p>	<p style="text-align: center;">240-1850 mg/kg MF 20-140 mg/kg MF 20 mg/kg MF 5-10 mg/kg MF</p>
<p style="text-align: center;"><b>Flavanols</b></p>	<p style="text-align: center;">Catéchines Epicatechine Epigallocatechine Epigallocatechine gallate</p>	<p style="text-align: center;">Chocolat noir Abricot Pomme Thé vert Thé noir</p>	<p style="text-align: center;">460-610 mg/kg MF 100-250 mg/kg MF 20-120 mg/kg MF 100-800 mg/L 60-500 mg/L</p>
<p style="text-align: center;"><b>Flavanones</b></p>	<p style="text-align: center;">Naringénine Hespéridine Eriodictyol</p>	<p style="text-align: center;">Jus de pamplemousse Jus d'orange Jus de citron</p>	<p style="text-align: center;">100-650 mg/L 215-685 mg/L 50-300 mg/L</p>

## Polyphénols dans les aliments

<b>Anthocyanes</b>	Cyanidine Pélagonidine Delphinidine Malvidine	Aubergine	7500 mg/kg MF
		Mûre	1000-4000 mg/kg MF
		Cassis	1300-4000 mg/kg MF
		Raisin noir	300-7500 mg/kg MF
		Myrtille	250-5000 mg/kg MF
		Chou rouge	250 mg/kg MF
		Pellicules de raisin rouge	500-3000 mg/kg
<b>Isoflavones</b>	Génistéine Daidzéine	Soja et produits dérivés : Tofu	80-700 mg/kg MF
		Lait de soja	30-175 mg/L
		Farine de soja	800-1800 mg/kg
<b>Tanins</b>	Tanins condensés Tanins hydrolysables	Pépins de raisin	1000-6000 mg/kg
		Pomme	0,58%
		Poivron rouge	0,69 %

### II.2. Facteurs influençant la teneur en polyphénols des aliments

De nombreux facteurs influencent la teneur en polyphénols des plantes, notamment le degré de maturité au moment de la récolte, les conditions environnementales tels que le type de sol, l'exposition au soleil et les précipitations, les méthodes de traitement et de stockage. La maturité des plantes a un impact significatif sur les concentrations et les proportions de différents polyphénols, avec une diminution générale des acides phénoliques et une augmentation des anthocyanines pendant la maturation (**Arfaoui, 2021**). Le stockage des aliments modifie également la teneur en polyphénols, principalement en raison de l'oxydation des polyphénols, ce qui peut entraîner des changements de couleur et de saveur. Par exemple, la farine de blé perd une quantité significative d'acides phénoliques après un stockage prolongé. La concentration en polyphénols dans les aliments peut varier en fonction de nombreux facteurs, ce qui peut influencer leur valeur nutritionnelle et leurs propriétés organoleptiques (**Pandey et Rizvi, 2009**).

#### II.2.1. Stress biotique

Le stress biotique chez la plante est causé par divers organismes vivants tels que les nématodes, les bactéries, les virus et les champignons. Incapables de se déplacer pour échapper

à un environnement stressant, les plantes montrent néanmoins une grande tolérance aux attaques de pathogènes, principalement grâce à la production de métabolites secondaires (SM). Parmi ces SM, les polyphénols jouent un rôle crucial en médiant la réponse de défense des plantes contre les pathogènes grâce à leurs activités antimicrobiennes (**Taiz et Zeiger, 2006**). Lors d'une attaque de pathogènes, la biosynthèse des polyphénols est intensifiée. Cette agression pathogène entraîne le développement d'un système immunitaire inné chez les plantes, médié par l'immunité déclenchée par les effecteurs et l'immunité de base. Dans le système d'immunité de base, les cellules infectées identifient les pathogènes via des motifs moléculaires associés aux microbes, perçus par des récepteurs de reconnaissance de motifs sur les cellules hôtes. De plus, les cellules hôtes détectent également les attaques pathogènes via l'immunité déclenchée par les effecteurs, en réponse aux effecteurs ou aux dommages causés par les toxines des pathogènes. Les plantes perçoivent les signaux de ces effecteurs et stimulent plusieurs voies métaboliques pour produire des polyphénols. La concentration de ces derniers diminue considérablement lors de la récupération après un stress (**Ashraf et al., 2018**).

### II.2.2. Stress abiotique

Les plantes sont souvent exposées à divers stress abiotiques tels que les engrais chimiques, le type et la composition du sol, le stress thermique, l'intensité lumineuse, la disponibilité de l'eau et la salinité. Elles ont besoin de quantités appropriées de composants abiotiques, et un excès ou une carence de ces composants déclenche des variations dans la biosynthèse des polyphénols (**Verma et Shukla, 2015**).

La teneur en polyphénol augmente souvent en réponse à des stress environnementaux tels que la température, la carence en nutriments, les blessures et les radiations UV (**Ashraf et al., 2018**).

### II.2.3. Degré de maturité

Le degré de maturité affecte considérablement les concentrations et les proportions des différents polyphénols. En général, les concentrations en acides phénoliques diminuent pendant la maturation, tandis que les concentrations en anthocyanines augmentent (**Macheix et al., 1990**). D'après **Gomez-Rico et al. (2006)**, la concentration de composés phénoliques dans l'huile d'olive extra vierge diminue à mesure que les fruits d'olive mûrissent. Plus précisément, la concentration de l'oléuropéine, le principal polyphénol du fruit d'olive, diminue significativement pendant la maturation des fruits, tandis que l'hydroxytyrosol, l'un des principaux produits de dégradation, augmente simultanément (**Bouaziz et al., 2004**).

### II.2.4. Stockage

Le stockage peut également affecter la teneur en polyphénols, qui sont facilement oxydés. Les réactions d'oxydation entraînent la formation de substances plus ou moins polymérisées, ce qui entraîne des changements dans la qualité des aliments, notamment en termes de couleur et de caractéristiques organoleptiques. Ces changements peuvent être bénéfiques (comme c'est le cas avec le thé noir) ou nuisibles (brunissement des fruits) à l'acceptabilité par les consommateurs (Andrikopoulos *et al.*, 2002 ; Klaiber *et al.*, 2005).

D'après Gliszczynska-Swiglo et Tyrakowska. (2003), les jus de pomme ont perdu entre 5 % et 21 % de leur concentration en acides phénoliques après 11 mois de stockage. Les framboises rouges congelées ont également montré une diminution de l'acide *p*-coumarique libre (Mullen *et al.*, 2002). Après stockage à froid, le brocoli a perdu environ 75% de ses dérivés de caféoyl-quinique et entre 40 et 50% de ses dérivés d'acide sinapique et de feruloyl (Vallejo *et al.*, 2002). Une étude sur sept mois de stockage à l'obscurité a révélé une diminution de 88% du contenu en anthocyanines dans les raisins rouges, tandis que les contenus totaux de flavonols n'ont pas connu de variation significative (Zafrilla *et al.*, 2003). En revanche, les pommes ont montré une augmentation marquée de l'acide chlorogénique après quatre mois de stockage, passant de 101 à 144 mg/kg de poids frais (Napolitano *et al.*, 2004). De plus, le contenu en acides phénoliques a augmenté lorsque les carottes ont été stockées dans des conditions aérobies (Klaiber *et al.*, 2005).

### II.2.5. Traitements thermiques et méthodes de préparation culinaire

Le traitement thermique altère le contenu et, par conséquent, la concentration des composés phénoliques de différentes manières. Les méthodes de traitement thermique ont conduit à une diminution significative de la teneur totale en phénols et de leur activités antioxydantes dans les haricots et les légumineuses (Xu et Chang, 2009).

Miglio *et al.* (2008) ont montré que les paramètres physico-chimique et les qualités nutritionnelles des légumes (en particulier les carottes, les courgettes et les brocolis) sont modifiés par les pratiques culinaires courantes. Les carottes ont complètement perdu leurs polyphénols après avoir été bouillies, tandis que la cuisson à la vapeur et la friture ont eu un effet moins négatif. Pour les brocolis et les courgettes, la cuisson à l'eau et la friture ont entraîné une perte totale de composés phénoliques plus élevée que la cuisson à la vapeur.

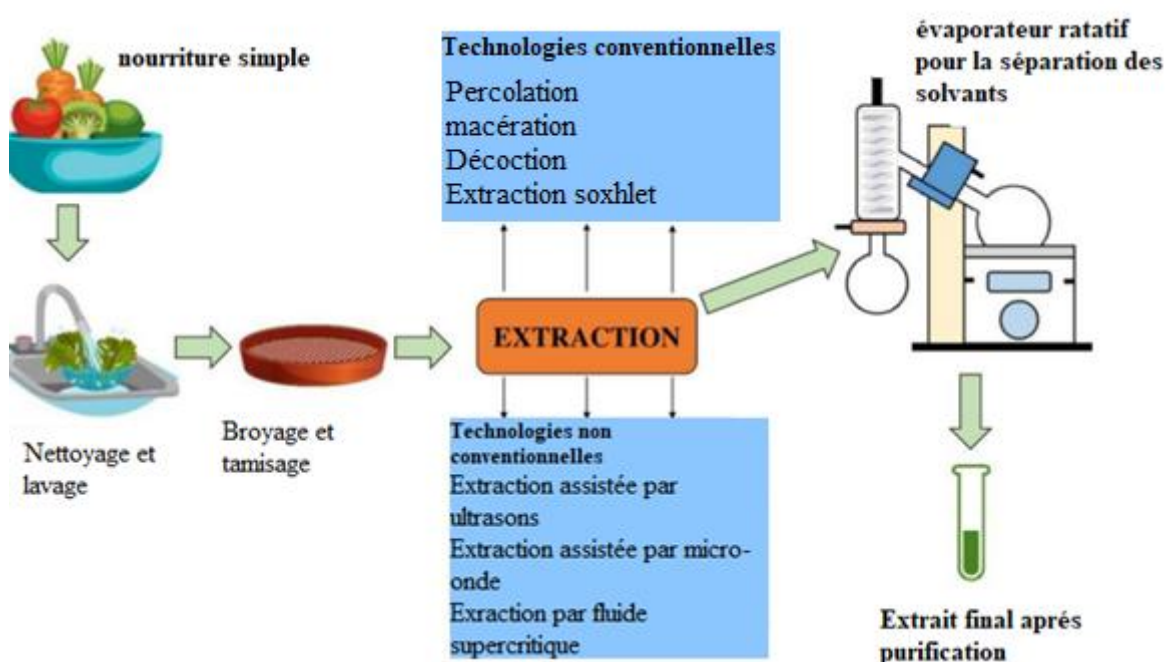
Les résultats suggèrent que pour chaque légume, une méthode de cuisson préférentielle pourrait être sélectionnée pour préserver ou améliorer ses qualités nutritionnelles (**Xu et chang, 2009**).

Les méthodes de cuisson courantes appliquées aux artichauts ont considérablement augmenté les concentrations d'acides caféoylquiniques et de caroténoïdes, en particulier lors de la cuisson à la vapeur et à l'ébullition, tandis qu'il y avait une diminution de la concentration de flavonoïdes après la friture (**Ferracane et al., 2008**). Les composés phénolique contenus dans l'huile d'olive sont sujets à une dégradation lors de l'application de chaleur pendant la cuisson, bien que cette perte semble varier selon les différents composés phénolique (**Gomez-Alonso et al., 2003**). En particulier, la concentration d'hydroxytyrosol dans l'huile d'olive vierge diminue rapidement après la friture. À la fin du premier processus de friture (10 min à 180°C), l'hydroxytyrosol a diminué de 40 à 50% de sa concentration initiale, et après six opérations de friture, moins de 10 % du contenu initial de ce composé est resté (**Andrikopoulos et al., 2002**).



**Chapitre III :  
Techniques  
d'extraction des  
polyphénols**

Les méthodes d'extraction jouent un rôle crucial dans l'isolement et la purification de nombreux composés phénoliques présents dans les aliments (*Živković et al., 2018*). Pour obtenir l'extrait à partir de l'échantillon alimentaire, des étapes telles que la réduction de la taille, l'extraction, la filtration, l'évaporation des solvants et le séchage doivent être notées (*Azmir et al., 2013*). **La figure 13** illustre les diverses technologies d'extraction utilisées pour isoler les composés bioactifs des aliments, allant des méthodes conventionnelles aux méthodes non conventionnelles. L'efficacité de l'extraction dépend de plusieurs facteurs, notamment la nature du solvant, le rapport solvant-solide, la température et la granulométrie des particules (*Luo et al., 2018; Sridhar et al., 2021*).



**Figure 13 :** Technologies d'extraction utilisées pour isoler les composés bioactifs des aliments (*Sridhar et al., 2021*)

### III.1. Technologies conventionnelles

Comme les composés polyphénoliques se trouvent généralement en quantités variables dans différents aliments, boissons et matrices végétales, il devient nécessaire d'utiliser des méthodes d'extraction appropriées (*Chuo et al., 2022*). Les méthodes d'extraction conventionnelles incluent principalement la percolation, la macération, la décoction et l'extraction Soxhlet. Ces méthodes varient en fonction de la composition et des caractéristiques des échantillons alimentaires (*Zwingelstein et al., 2020*).

### III.1.1. Percolation

Procédure traditionnelle utilisée pour la séparation des composés actifs des extraits fluides. Elles consistent en un percolateur étroit (généralement en forme de cône). L'échantillon alimentaires est soigneusement mélangé avec de l'eau, et la solution est ajoutée par le haut à travers la colonne dans un conteneur fermé (**Hansen et Møller, 1975**). Le mélange s'infiltrer avec le temps (24 à 48 h selon l'échantillon), permettant ainsi d'obtenir l'extrait. L'extrait obtenu est concentré dans des évaporateurs pour obtenir la concentration désirée. Cette technique a été utilisée pour isoler divers polyphénols des matrices alimentaires (**Rathore et al., 2012**).

### III.1.2. Macération

Parmi les méthodes privilégiées pour déterminer les composés polyphénoliques, on trouve la méthode de macération décrite par **Ćujić et al. (2016)**. Elle se distingue par sa simplicité, son faible coût expérimental et ses caractéristiques respectueuses de l'environnement. De plus, elle offre des taux d'extraction de phénols satisfaisants (**Sridhar et al., 2021**). Cette méthode traditionnelle est largement employée pour extraire les phénols des échantillons solides sur plusieurs heures à température ambiante (**Castro-Vargas et al., 2010**).

Parmi les solvants choisis pour extraire les polyphénols, on trouve l'éthanol, l'acétone, le méthanol, l'eau, ainsi que des mélanges à 60% d'éthanol, d'acétone et de méthanol (**Rebey et al., 2016**). La méthode consiste à immerger des matériaux grossiers ou en poudre dans un récipient hermétique contenant un solvant, puis à laisser reposer le mélange à température ambiante pendant au moins un jour, en le remuant régulièrement. Cette technique vise à assouplir et à rompre la paroi cellulaire des plantes afin de libérer les composés phytochimiques solubles (**Souilah, 2021**).

### III.1.3. Décoction

Cette technique d'extraction est particulièrement adaptée aux phytochimiques qui ne se dégradent pas ou ne se modifient pas avec l'augmentation de la température (**Sridhar et al., 2021**). Pendant la décoction, les matériaux végétaux sont bouillis dans de l'eau pendant 15 à 60 minutes. La durée de l'ébullition dépend de la nature des tissus végétaux et des phytochimiques à extraire. Généralement, les parties délicates des plantes telles que les feuilles, les racines, les fleurs et les tiges tendres sont bouillies pendant 15 minutes. En revanche, les parties dures des plantes telles que les branches et les écorces d'arbres peuvent être bouillies pendant une heure. Une fois le processus de décoction terminé, le mélange est refroidi puis filtré pour obtenir l'extrait liquide (**Bitwell et al., 2023**).

### III.1.4. Extraction Soxhlet

C'est le procédé d'extraction le plus largement utilisé pour concentrer les analytes et séparer les constituants bioactifs des produits naturels (**De Castro et Priego-Capote, 2010**) L'extraction Soxhlet est une méthode d'extraction des composés phytochimiques utilisant un solvant chaud. Le matériau végétal moulu est placé dans un cartouche (sac poreux) fabriqué à partir de papier filtre résistant ou de cellulose. Le cartouche rempli de matériau végétal moulu est ensuite placé dans le compartiment de l'appareil Soxhlet. Un solvant d'extraction tel que l'éthanol ou le méthanol est versé dans le ballon inférieur. Le solvant est ensuite chauffé et vaporisé dans le cartouche contenant l'échantillon, puis condensé dans le condenseur situé au sommet de l'appareil, avant de retourner goutte à goutte dans le ballon inférieur, ce qui permet l'extraction des composés phénoliques. Ce processus offre un rendement amélioré par rapport aux techniques d'extraction par macération (**Bitwell et al., 2023**).

Cette technique d'extraction se révèle très efficace. Cependant, en raison de la température élevée, cette méthode présente le risque de dégradation des composés thermolabiles. De manière intéressante, une étude comparant les méthodes d'extraction Soxhlet et de macération a révélé une diminution des quantités d'extraits de polyphénols et d'alcaloïdes pour la méthode Soxhlet (**Bitwell et al., 2023**).

Les méthodes classiques d'extraction par solvant présentent des inconvénients tels que ; le temps d'extraction prolongé, l'utilisation conséquente de solvants, et parfois plusieurs étapes d'extraction. De plus, lors du chauffage, de nombreux phytochimiques thermolabiles risquent de se décomposer ou de se dégrader (**Bitwell et al., 2023**).

### III.2. Technologies non conventionnelles

Les techniques d'extraction modernes ou non conventionnelles, comme les ultrasons, les micro-ondes et les fluides supercritiques, permettent d'extraire les composés phénoliques de diverses plantes, telles que l'ail, l'oignon, le poireau, la menthe poivrée, le romarin et la sauge (**Lama-Muñoz et Contreras, 2022**).

Les techniques modernes présentent de nombreux avantages, tels que le temps de traitement réduit, la moindre consommation de solvants, la meilleure préservation des activités biologiques, les rendements accrus et la consommation énergétique réduite (**Bitwell et al., 2023**).

### III.2.1. Extraction assistée par ultrasons (EAU)

Reconnue comme une technique douce et efficace pour extraire les composés phénoliques (**Chafer *et al.*, 2004**), l'extraction par ultrasons repose essentiellement sur le phénomène de cavitation acoustique. Ce processus implique la formation, l'expansion et l'implosion de microbulles dans une phase liquide sous l'influence des ultrasons (**Chemat *et al.*, 2008**). Les ultrasons sont des ondes sonores de haute fréquence dépassant la capacité d'audition humaine, avec des dispositifs d'extraction fonctionnant dans une plage de 20 kHz à 2 MHz (**Bitwell *et al.*, 2023**).

Les ondes se propagent dans un milieu en provoquant des expansions et des contractions conformément à leur nature ondulatoire. L'effet mécanique de la cavitation acoustique augmente la surface de contact entre les solvants et les échantillons de plantes, ainsi que la perméabilité des parois cellulaires. La formation, la croissance et l'effondrement des bulles, connue sous le nom de cavitation, peut être modifiée favorablement par la fréquence utilisée, influençant ainsi l'extraction des composés de l'échantillon (**Chemat *et al.*, 2011**). Une augmentation de l'intensité pendant le processus rompt les forces intramoléculaires entre les particules, favorisant la cavitation par la rupture des liaisons et la pénétration accrue du solvant dans les composés (**Bitwell *et al.*, 2023**).

L'extraction par ultrasons offre des avantages technologiques grâce à un temps de résidence plus court entre les particules et le solvant, à l'utilisation de petites quantités de matériau et de solvants, ainsi qu'à un rendement accru dans l'extraction des polyphénols (**Oroian *et al.*, 2020**).

### III.2.2. Extraction assistée par micro-ondes (EAM)

L'extraction assistée par micro-ondes (MAE), également désignée sous le nom d'extraction par micro-ondes, représente une technique innovante d'extraction de produits naturels qui associe l'utilisation des micro-ondes et des solvants au cours du processus (**Panja, 2018**). Les micro-ondes, avec une gamme de fréquences variant de 300 MHz à 300 GHz, sont employées pour chauffer à la fois le solvant et les tissus des plantes, favorisant ainsi l'efficacité cinétique de l'extraction. Ce chauffage cible directement les molécules polaires, induisant des rotations dipolaires qui convertissent l'énergie des micro-ondes en chaleur, une conversion proportionnelle à la constante diélectrique des solvants (**Gfrerer et Lankmayr, 2005**). La viscosité du solvant joue un rôle crucial dans ce processus, une viscosité réduite facilite la dispersion des ions et par

conséquent la solvataion. L'extraction elle-même englobe la diffusion des solvants dans l'échantillon, la séparation consécutive du soluté des sites fonctionnels, et enfin, la libération des solutés dans les solvants (**Wang et Weller, 2006**). Cette méthode préserve efficacement les activités biologiques des extraits, comme en témoigne l'optimisation de la MAE dans l'extraction du thé vert, qui a démontré une amélioration de l'activité antioxydante des composés phytochimiques, une augmentation de la teneur totale en phénols, ainsi qu'une qualité de couleur ciblée pour les extraits. La MAE permet l'obtention d'une variété de phytocomposés, tels que les saponines à partir de graines, les antioxydants polyphénoliques à partir de feuilles, les stérols à partir de champignons séchés et les flavonoïdes à partir de feuilles. Il convient de noter que les phytocomposés extraits par MAE, tels que les flavonoïdes, les polyphénols et les saponines, sont des composés polaires, directement ciblés par les micro-ondes, ce qui rend l'extraction extrêmement efficace (**Bitwell et al., 2023**).

### III.2.3. L'extraction par fluide supercritique (EFS)

Largement considérée comme l'une des techniques d'extraction avancées les plus appliquées pour extraire différents composés des matrices alimentaires (**Herrero et al., 2010**). La SFE repose sur l'extraction avec des solvants à des conditions de température et de pression supérieures à leurs points critiques. Lorsque ce solvant est soumis à des valeurs de température et de pression supérieures au point critique, le solvant sera dans des conditions supercritiques. À ces conditions, les solvants acquièrent différentes propriétés ; les fluides supercritiques ont généralement des diffusivités comparables à celles des gaz tout en conservant des densités similaires à celles des liquides. Ces propriétés sont responsables de certaines des caractéristiques intéressantes de la SFE par rapport à d'autre technique d'extraction (**Herrero et al., 2012**). La technique d'extraction par CO<sub>2</sub> supercritique (SFE) se révèle efficace pour récupérer les composés phénoliques non polaires. Étant donné la faible polarité et la grande diffusivité du dioxyde de carbone, il est largement préféré comme fluide d'extraction, en raison de son efficacité comme solvant pour les analytes non polaires. Ainsi, pour extraire les composés phénoliques plus polaires, l'adjonction de co-solvants et/ou de modificateurs tels que l'éthanol, le méthanol ou l'eau s'avère nécessaire afin d'augmenter la polarité du CO<sub>2</sub> et d'améliorer l'extraction de ces composés (**Pimentel-Moral et al., 2019**).

La SFE est une méthode d'extraction efficace pour obtenir des extraits phénoliques à partir de matières végétales, avec des centaines d'espèces répertoriées dans la littérature (**De Melo et al., 2014**), car les extraits sont exempts de solvants résiduels. Le CO<sub>2</sub> utilisé peut-être recycler, ce qui en fait une autre stratégie durable. La SFE a été couronnée de succès dans l'extraction de

## Techniques d'extraction des polyphénols

composés phénoliques, d'anthocyanines et de flavonoïdes à partir de résidus de maïs pourpre (**Monroy *et al.*, 2016**), de feuilles de pêcher (**Kazan *et al.*, 2014**) ainsi que dans l'obtention d'extraits riches en composés phénoliques antioxydants à partir de résidus de baies des andes et de romarin. Ces extraits peuvent être utilisés dans l'alimentation, l'alimentation animale et à des fins médicinales (**Lama-Muñoz et Contreras, 2022**).

**Chapitre IV :  
Biodisponibilité  
et métabolisme  
des polyphénols**



## Biodisponibilité et métabolisme des polyphénols

La biodisponibilité désigne la proportion du nutriment qui est digérée, absorbée et métabolisée par des voies normales. Par conséquent, il est crucial de connaître non seulement la quantité de nutriments présente dans les aliments spécifiques ou les compléments alimentaires, mais aussi, et surtout, la quantité réellement biodisponible (**Pandey et Rizvi, 2009**).

Le principal objectif de l'étude de la biodisponibilité est de déterminer quels polyphénols sont mieux absorbés, quels sont leurs métabolites actifs et quels polyphénols conduisent à leur formation (**Setchell et al., 2003**). La structure chimique des polyphénols, plus que leur concentration, influence le taux et l'ampleur de leur absorption, ainsi que la nature des métabolites circulant dans le plasma. Les polyphénols les plus courants dans notre alimentation ne garantissent pas les concentrations les plus élevées de métabolites actifs dans les tissus cibles (**Young et al., 1999**) ; ainsi, les propriétés biologiques des polyphénols varient considérablement. L'augmentation de la capacité antioxydante du plasma après la consommation d'aliments riches en polyphénols offre des preuves indirectes de leur absorption à travers la barrière intestinale (**Duthie et al., 1998**).

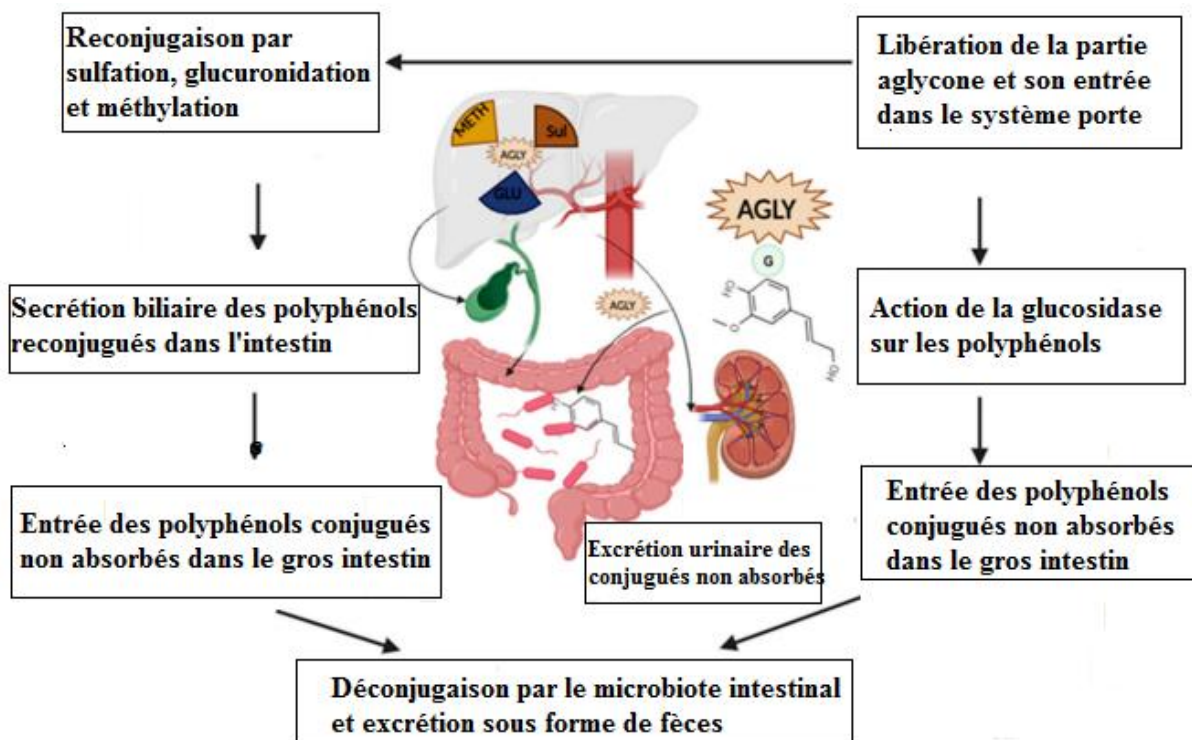
Les polyphénols sont digérés dans l'estomac après consommation. À l'état natif, ils se présentent principalement sous forme de conjugués avec une chaîne latérale glycosidique, ce qui complique leur absorption par l'intestin grêle (**D'Archivio et al., 2007**). Les enzymes extracellulaires, telles que les glucosidases, déconjuguent les polyphénols, facilitant ainsi leur absorption. Les polyphénols non absorbés sont transférés au gros intestin, où ils subissent une modification microbienne pour améliorer leur absorption (**Nemeth et al., 2003**). Les polyphénols déconjugés sont ensuite acheminés au foie via la veine porte hépatique, où la majorité de leur métabolisme a lieu. Dans le foie, ils sont de nouveau conjugués grâce à diverses enzymes, puis dirigés vers leurs sites cibles. Le foie joue également un rôle dans l'excrétion des polyphénols en excès. Ces derniers sont excrétés principalement par voie urinaire, via les reins, et par voie biliaire, avant d'être finalement éliminés sous forme de fèces (**Figure 14**) (**Rudrapal et al., 2024**).

### IV.1. Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont largement répandus dans les aliments d'origine végétale (**Kumar et Goel, 2019**). Le café, en particulier, est une source notable d'acides phénoliques et sert à étudier leurs propriétés ADME (absorption, distribution, métabolisme et excrétion). Les processus métaboliques incluent la méthylation, la glucuronidation et la sulfation, qui ont lieu d'abord dans l'intestin grêle puis dans le foie, produisant divers conjugués métaboliques (**D'Archivio et al., 2010**).

## Biodisponibilité et métabolisme des polyphénols

Ces métabolites (acides phénoliques glucuronidés, méthylés et sulfatés) ont été détectés dans les fluides biologiques des personnes ayant consommé du café. Les acides caféique, férulique et chlorogénique sont rapidement absorbés par l'estomac et l'intestin sous leur forme libre, puis conjugués par des enzymes de détoxification (**Bešlo et al., 2023**). Ce métabolisme permet de détoxifier les composés en les rendant plus facilement excrétables. Néanmoins, certains métabolites conservent des propriétés thérapeutiques actives. Le mode et le site du métabolisme varient selon la structure chimique de chaque acide phénolique. Par exemple, le côlon est le principal site de métabolisme de l'acide chlorogénique. De plus, les acides phénoliques libres sont absorbés plus facilement que leurs formes estérifiées (**Rudrapal et al., 2024**).



**Figure 14** : Métabolisme et absorption des polyphénols alimentaires (**Rudrapal et al., 2024**)

### IV.2. Flavonoïdes

Parmi les flavonoïdes, les isoflavones ont été identifiées comme les plus facilement absorbées, tandis que les glycosides de flavanols, les flavanones et les flavonols présentent une absorption intermédiaire. En revanche, les anthocyanines et les gallates de flavanol sont associés à une absorption et une biodisponibilité réduites (**Scalbert et Williamson, 2000**). Des études récentes ont démontré que l'haricot rouge affiche une biodisponibilité moindre par rapport à d'autres légumineuses comme le soja. Globalement, la biodisponibilité des flavonoïdes reste modeste, bien qu'elle varie selon leur classe et leur poids moléculaire.

## Biodisponibilité et métabolisme des polyphénols

Les processus de conjugaison, tels que la glucuronidation, la sulfatation et la méthylation, sont essentiels dans le métabolisme des flavonoïdes, influant sur leur absorption et leur biodisponibilité (**Kroon *et al.*, 2004**). Leur transformation par la microbiote intestinale génère des métabolites bioactifs, amplifiant ainsi leurs bienfaits pour la santé, notamment en matière d'activité antioxydante et de modulation de l'inflammation (**Bešlo *et al.*, 2023**). Toutefois, cette interaction complexe est sujette à des variations individuelles, dépendant de la composition et de l'activité de la microbiote intestinale. La glycosylation est également un facteur clé influençant la biodisponibilité des flavonoïdes, comme le démontre la différence de vitesse d'absorption entre les glycosides de quercétine et leurs rutinosides correspondants (**Sesink *et al.*, 2001**).

### IV.3. Stilbènes

Les stilbènes présentent également une biodisponibilité faible. Toutefois, ils se trouvent distribués dans différents tissus sous forme de glucuronides et de sulfates conjugués, à la fois dans les tissus et dans le plasma (**Yu *et al.*, 2001**). Bien que l'absorption orale du resvératrol chez l'homme soit de l'ordre de 75 %, sa biodisponibilité reste limitée à seulement 1 % (**Walle, 2011**). Environ 90 % du resvératrol est soumis à une fermentation par les microbes intestinaux. Une fois absorbés, les conjugués de resvératrol se diffusent dans la circulation systémique et atteignent les tissus cibles pour y exercer leur action physiologique. Cependant, les essais cliniques ont révélé qu'un taux élevé de dégradation métabolique du resvératrol en resvératrol-3-O-sulfate, resvératrol-4'-O-glucuronide et resvératrol-3-O-glucuronide limite son utilisation en pharmacologie (**Gowd *et al.*, 2019**). Plusieurs études de recherche ont été menées pour améliorer la biodisponibilité, la solubilité et la stabilité des stilbènes. Par exemple, la biodisponibilité du piceatannol, un dérivé monomère du resvératrol, a démontré un taux d'absorption plus élevé et une meilleure stabilité métabolique que le resvératrol. En revanche, l'oxy-resvératrol a montré une biodisponibilité moindre que le resvératrol, subissant un important métabolisme hépatique avant d'être excrété dans la bile et l'urine. Ainsi, il est clair que la biodisponibilité des stilbènes est largement influencée par leur structure moléculaire (**Rudrapal *et al.*, 2024**).

### IV.4. Tanins

Peu d'études portent sur la biodisponibilité des tanins, mais des données indiquent qu'environ 90 % des procyanidines issues de jus de pomme sont récupérées après ingestion. La biodisponibilité des tanins est influencée par divers facteurs tels que la dégradation chimique et biologique, le métabolisme intestinal et hépatique, ainsi que la perméabilité membranaire. Le

## **Biodisponibilité et métabolisme des polyphénols**

degré de polymérisation et la solubilité des tanins jouent un rôle crucial dans leur absorption, car les tanins fortement polymérisés sont généralement non absorbés (**Halliwell *et al.*, 2000**). La faible solubilité et la formation de complexes insolubles, notamment avec l'ADN et les protéines, entravent l'absorption de l'acide ellagique. Dans l'intestin grêle, les proanthocyanidines à poids moléculaire élevé forment des complexes qui perturbent leur digestion, tandis que l'acide gallique est absorbé rapidement ou sous forme de conjugués. Les bactéries du côlon contribuent au métabolisme des tanins hydrolysables, notamment l'hydrolyse de l'ellagitannine en acide ellagique et en urolithine B. Ainsi, le métabolisme et l'absorption des tanins se déroulent à différentes étapes du tractus gastro-intestinal. Les tanins présentent des propriétés anti-nutritionnelles en retardant l'absorption de vitamines et de minéraux, tout en démontrant une activité antioxydante importante (**Rudrapal *et al.*, 2024**).

**Chapitre V :**  
**Propriétés biologiques**  
**des polyphénols**

Les polyphénols, des composés organiques largement présents dans les plantes, suscitent un intérêt croissant dans le domaine de la nutrition depuis quelques décennies. Plusieurs recherches suggèrent que la consommation de polyphénols pourrait jouer un rôle crucial dans la régulation du métabolisme, du poids, des maladies chroniques et de la prolifération cellulaire (**Derbel et ghedira, 2005 ; Amiot *et al.*, 2009 ; Quideau, 2013**). Des études sur les animaux et les humains indiquent que divers polyphénols possèdent des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires pouvant avoir des effets préventifs et/ou thérapeutiques sur les maladies cardiovasculaires, les troubles neurodégénératifs, le cancer et l'obésité (**Cory *et al.*, 2018**).

### V.1. Effet cardioprotecteur

De nombreuses études ont démontré que la consommation de polyphénols réduit l'incidence des maladies coronariennes (**Derbel et ghedira, 2005; Fraga *et al.*, 2010**). L'athérosclérose est une maladie inflammatoire chronique qui se développe dans les régions sujettes aux lésions des artères de taille moyenne. Les lésions athéroscléreuses peuvent être présentes et cliniquement silencieuses pendant des décennies avant de devenir actives et de provoquer des conditions pathologiques telles que l'infarctus du myocarde aigu, l'angine instable ou la mort subite d'origine cardiaque (**Vita, 2005**). Les polyphénols sont de puissants inhibiteurs de l'oxydation des LDL, un mécanisme clé dans le développement de l'athérosclérose (**Aviram *et al.*, 2000**). D'autres mécanismes par lesquels les polyphénols peuvent protéger contre les maladies cardiovasculaires incluent des effets antioxydants, anti-plaquettaires et anti-inflammatoires, ainsi qu'une augmentation des HDL et une amélioration de la fonction endothéliale. Les polyphénols peuvent également contribuer à la stabilisation de la plaque athéromateuse (**García-Lafuente *et al.*, 2009**).

La quercétine, un polyphénol abondant dans l'oignon, a montré une association inverse avec la mortalité due aux maladies coronariennes en inhibant l'expression de la métalloprotéinase 1 (MMP1) et la rupture des plaques athéroscléreuses (**García-Lafuente *et al.*, 2009**). Les catéchines du thé ont montré qu'elles inhibent l'invasion et la prolifération des cellules musculaires lisses dans la paroi artérielle, un mécanisme qui peut ralentir la formation de la lésion athéromateuse (**Maeda *et al.*, 2003**). Les polyphénols peuvent également exercer des effets antithrombotiques en inhibant l'agrégation plaquettaire. Les polyphénols peuvent améliorer la dysfonction endothéliale associée à divers facteurs de risque pour l'athérosclérose avant la formation de la plaque ; leur utilisation comme outil pronostique pour les maladies coronariennes a également été proposée (**Schächinger *et al.*, 2000**).

Il a été observé que la consommation de thé noir, environ 450 ml, augmente la dilatation des artères deux heures après ingestion. La consommation régulière à long terme de thé noir a été associée à une baisse de la pression artérielle dans une étude transversale de 218 femmes âgées de plus de 70 ans (**Duffy et al., 2001**). L'excrétion de l'acide 4-O-méthylgallic (4-OMGA, un biomarqueur des polyphénols du thé dans le corps) a été surveillée. Une consommation plus élevée de thé et donc une excrétion plus élevée de 4-OMGA étaient associées à une pression artérielle plus basse. Les polyphénols du thé peuvent être les composants responsables de cette baisse. Cet effet peut être dû à l'activité antioxydante ainsi qu'à l'amélioration de la fonction endothéliale ou à une activité semblable à celle des œstrogènes (**Maeda et al., 2003**).

Le resvératrol, un polyphénol présent dans la pellicule de raisin, empêche l'agrégation plaquettaire via l'inhibition préférentielle de l'activité de la cyclooxygénase 1 (COX 1), qui synthétise le thromboxane A2, un inducteur de l'agrégation plaquettaire et un vasoconstricteur (**Pirola et Fröjdö, 2008**). En outre, le resvératrol est capable de relaxer les artères isolées et les anneaux aortiques de rat. La capacité de stimuler les canaux  $K^+$  activés par  $Ca^{++}$  et d'améliorer la signalisation de l'oxyde nitrique dans l'endothélium sont d'autres voies par lesquelles le resvératrol exerce une activité vasorelaxante (**Harikumar et al., 2008**).

Une relation directe entre les maladies cardiovasculaires (MCV) et l'oxydation des LDL est désormais bien établie. L'oxydation des particules de LDL est fortement associée au risque de maladies coronariennes et d'infarctus du myocarde. Des études ont montré que le resvératrol inhibe potentiellement l'oxydation des particules de LDL via la chélation du cuivre ou en capturant directement les radicaux libres. L'association entre l'apport de polyphénols ou la consommation d'aliments riches en polyphénols et l'incidence des maladies cardiovasculaires a également été examinée dans plusieurs études épidémiologiques, et il a été constaté que la consommation d'un régime riche en polyphénols est associée à un risque réduit d'infarctus du myocarde dans les études cas-témoins et les études de cohorte (**Peters et al., 2001**).

### V.2. Effet anti-cancer

L'effet des polyphénols sur les lignées de cellules cancéreuses humaines est le plus souvent protecteur et induit une réduction du nombre de tumeurs ou de leur croissance (**Yang, 2001**). Ces effets ont été observés dans divers organes, notamment la bouche, l'estomac, le duodénum, le côlon, le foie, les poumons, la glande mammaire et la peau. De nombreux polyphénols, tels que la quercétine, les catéchines, les isoflavones, les lignanes, les flavanones, l'acide ellagique, le resvératrol et la curcumine ont été testés ; tous ont montré des effets protecteurs dans certains modèles, bien que leurs mécanismes d'action soient différents (**Rudrapal et al., 2024**).

Le développement du cancer ou la carcinogenèse est un processus évolutif complexe en plusieurs étapes. Les trois principales étapes de la carcinogenèse sont l'initiation, la promotion et la progression. Les cellules initiées peuvent subir une transformation maligne si la promotion et la progression suivent. La promotion, en revanche, est affectée par des facteurs qui n'altèrent pas les séquences d'ADN et implique la sélection et l'expansion clonale des cellules initiées. Plusieurs mécanismes d'action ont été identifiés pour l'effet de chimio-prévention des polyphénols, incluant une activité œstrogénique/anti-œstrogénique, l'antiprolifération, l'induction de l'arrêt du cycle cellulaire ou de l'apoptose, la prévention de l'oxydation, l'induction d'enzymes de détoxification, la régulation du système immunitaire de l'hôte, l'activité anti-inflammatoire et les changements dans la signalisation cellulaire (**García-Lafuente, 2009**).

Il a été démontré que les catéchines du thé, sous forme de capsules administrées à des hommes atteints de néoplasie intraépithéliale prostatique de haut grade (PIN), montrent une activité de prévention du cancer en inhibant la conversion des lésions PIN de haut grade en cancer (**Khan et Mukhtar, 2008**). Les théaflavines et les théarubigines des polyphénols abondants dans le thé noir, ont également montré de fortes propriétés anticancéreuses. Les polyphénols du thé noir ont été trouvés pour inhiber la prolifération et augmenter l'apoptose dans les cellules de carcinome prostatique (**Gopinathan et al., 2009**). Un niveau élevé de facteur de croissance analogue à l'insuline-1 (IGF-1) a été associé à un risque accru de développement du cancer de la prostate. La liaison de l'IGF-1 à son récepteur fait partie d'une voie de transduction du signal qui provoque la prolifération cellulaire. L'ajout de polyphénols de thé noir a été trouvé pour bloquer la progression induite par l'IGF-1 des cellules dans la phase S du cycle cellulaire à une dose de 40 mg/ml dans les cellules de carcinome prostatique. La quercétine a également montré des propriétés anticancéreuses contre la carcinogenèse pulmonaire chez la souris, un effet attribué à son activité de piégeage des radicaux libres (**Kamaraj et al., 2007**).

Le resvératrol prévient toutes les étapes du développement du cancer et s'est révélé efficace contre la plupart des types de cancer, notamment les cancers du poumon, de la peau, du sein, de la prostate, de l'estomac et du côlon. Il a également été montré qu'il supprime l'angiogenèse et les métastases. Des données étendues sur les cultures de cellules humaines indiquent que le resvératrol peut moduler plusieurs voies impliquées dans la croissance cellulaire, l'apoptose et l'inflammation. Les effets anticancéreux du resvératrol semblent être étroitement associés à son activité antioxydante.



Ces études *in vitro* et *in vivo* fournissent une justification en faveur de l'utilisation des polyphénols alimentaires dans la chimio-prévention du cancer chez l'homme, dans une approche combinatoire avec des médicaments chimiothérapeutiques ou des facteurs cytotoxiques pour un traitement efficace des cellules tumorales réfractaires aux médicaments (Pandey et Rizvi, 2009 ; Rudrapal *et al.*, 2024).

### V.3. Effets neuroprotecteur

Le stress oxydatif et les dommages aux macromolécules cérébrales jouent un rôle crucial dans les maladies neurodégénératives. La maladie d'Alzheimer, qui touche jusqu'à 18 millions de personnes dans le monde, est l'un des troubles neurologiques les plus répandus. Étant donné la forte nature antioxydante des polyphénols, leur consommation pourrait offrir une protection contre les maladies neurologiques. Le resvératrol, présent en abondance dans le raisin neutralise les radicaux libres  $O_2^-$  et  $OH^*$  *in vitro*, ainsi que les radicaux libres lipidiques hydroperoxyde. Le resvératrol inhibe la signalisation du facteur nucléaire  $\kappa B$ , offrant ainsi une protection contre la toxicité  $\beta$ -amyloïde dépendante de la microglie dans un modèle de maladie d'Alzheimer, une activité liée à l'activation de SIRT-1. Il a été constaté que la consommation de jus de fruits et de légumes riches en polyphénols, au moins trois fois par semaine, pourrait jouer un rôle important dans le retardement de l'apparition de la maladie d'Alzheimer (Silva et Pogačnik, 2020). Les polyphénols des fruits et légumes semblent être des agents potentiels inestimables en neuroprotection, grâce à leur capacité à influencer et moduler plusieurs processus cellulaires, tels que la signalisation, la prolifération, l'apoptose, l'équilibre redox et la différenciation (Singh *et al.*, 2008).

Récemment, Aquilano *et al.* (2008) ont rapporté que l'administration de polyphénols offre des effets protecteurs contre la maladie de Parkinson, un trouble neurologique caractérisé par la dégénérescence des neurones dopaminergiques. Des études nutritionnelles ont associé la consommation de thé vert à un risque réduit de développer la maladie de Parkinson. Dans des modèles animaux, il a été démontré que l'épigallocatechine gallate (EGCG) exerce un rôle protecteur contre la neurotoxine MPTP (N-méthyl-4-phényl-1,2,3,6-tétrahydropyridine), un inducteur de la maladie de Parkinson, soit en inhibant de manière compétitive l'absorption de la drogue en raison de la similarité moléculaire, soit en éliminant la formation de radicaux médiée par le MPTP. L'EGCG pourrait également protéger les neurones en activant plusieurs voies de signalisation, impliquant les kinases MAP, qui sont fondamentales pour la survie cellulaire (Rossi *et al.*, 2008). Le rôle thérapeutique des catéchines dans la maladie de Parkinson est également dû à leur capacité à chélater le fer. Cette propriété contribue à leur activité

antioxydante en empêchant les métaux de transition actifs en redox de catalyser la formation de radicaux libres. De plus, la fonction antioxydante est également liée à l'induction de l'expression des enzymes antioxydantes et détoxifiantes, particulièrement dans le cerveau, qui n'est pas suffisamment doté d'un système de défense antioxydant bien organisé (**Aquilano *et al.*, 2008**)

L'acide férulique, un polyphénol présent dans le son de maïs, est également reconnu pour être bénéfique dans la maladie d'Alzheimer en raison de ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (**Barone *et al.*, 2009**).

### V.4. Effet antidiabétique

La perturbation du métabolisme du glucose entraîne un déséquilibre physiologique, avec l'apparition de l'hyperglycémie, puis du diabète sucré (**Giampieri *et al.*, 2015**). Des études ont montré que plusieurs paramètres physiologiques du corps sont altérés dans des conditions diabétiques. Les effets à long terme du diabète incluent le développement progressif de complications spécifiques telles que la rétinopathie, qui affecte les yeux et peut entraîner la cécité ; la néphropathie, qui altère ou perturbe les fonctions rénales ; et la neuropathie, associée à des risques d'amputations, d'ulcères du pied et de troubles autonomes, y compris les dysfonctionnements sexuels (**Rizvi et Zaid, 2001**).

De nombreuses études rapportent les effets antidiabétiques des polyphénols. Les catéchines du thé ont été étudiées pour leur potentiel antidiabétique. Les polyphénols peuvent affecter la glycémie par divers mécanismes, notamment l'inhibition de l'absorption du glucose dans l'intestin ou de son absorption par les tissus périphériques. Les effets hypoglycémisants des anthocyanines diacétylées à une dose de 10 mg/kg de régime ont été observés avec le maltose comme source de glucose, mais pas avec le saccharose ou le glucose (**Matsui *et al.*, 2002**). Cela suggère que ces effets sont dus à une inhibition de l' $\alpha$ -glucosidase dans la muqueuse intestinale. L'inhibition de l' $\alpha$ -amylase et de la sucrase chez les rats par la catéchine à une dose d'environ 50 mg/kg de régime ou plus a également été observée. L'inhibition des glycosidases intestinales et des transporteurs de glucose par les polyphénols a été étudiée (**Matsui *et al.*, 2001**). Des polyphénols individuels, tels que (+)catéchine, (-)épicatéchine, (-)épigallocatechine, épicatechine gallate, isoflavones de soja, acide tannique, glycyrrhizine de la racine de réglisse, acide chlorogénique et saponines, diminuent également le transport intestinal du glucose médié par S-Glut-1. Les saponines retardent en outre le transfert du glucose de l'estomac vers l'intestin grêle (**Dembinska-Kiec *et al.*, 2008**).

Le resvératrol a également été signalé comme un agent antidiabétique. De nombreux mécanismes ont été proposés pour expliquer l'action antidiabétique de ce stilbène, la modulation

de SIRT1 étant l'un d'eux, ce qui améliore l'homéostasie globale du glucose et la sensibilité à l'insuline chez les rats diabétiques (**Milne et al., 2007**). Il est rapporté que dans les cellules LLC-PK1 cultivées, la cytotoxicité et le stress oxydatif induits par une forte concentration de glucose sont inhibés par les polyphénols de pépins de raisin. Le resvératrol inhibe les modifications induites par le diabète dans les reins (néphropathie diabétique) et améliore significativement la fonction rénale et le stress oxydatif chez les rats diabétiques. Le traitement au resvératrol diminue également la sécrétion d'insuline et retarde l'apparition de la résistance à l'insuline (**Chen et al., 2017**). Les polyphénols de l'oignon, en particulier la quercétine, sont connus pour posséder une forte activité antidiabétique. Une étude récente montre que la quercétine a la capacité de protéger contre les altérations chez les patients diabétiques lors du stress oxydatif. L'extrait d'*Hibiscus sabdariffa* contient des acides polyphénoliques, des flavonoïdes, de l'acide protocatéchique et des anthocyanines. Une étude menée par **Lee et al. (2009)** a montré que les polyphénols présents dans les extraits d'*Hibiscus sabdariffa* atténuent la néphropathie diabétique, y compris la pathologie, le profil lipidique sérique et les marqueurs oxydatifs dans les reins.

L'acide férulique (AF) est un autre polyphénol très abondant dans les légumes et le son de maïs. Plusieurs preuves montrent que l'AF agit comme un agent antidiabétique puissant à plusieurs niveaux. Il a été démontré que l'AF abaissait la glycémie, suivie d'une augmentation significative de l'insuline plasmatique et d'une corrélation négative entre la glycémie et l'insuline plasmatique (**Jung et al., 2007**).

### V.5. Effet anti-obésité

De nombreuses études cellulaires, animales et humaines ont examiné l'impact des polyphénols sur le poids corporel. Dans les études basées sur des populations, la réduction du risque d'obésité associée à la consommation de polyphénols alimentaires pourrait être influencée par le fait que les aliments riches en polyphénols sont souvent denses en nutriments plutôt qu'en énergie, entraînant ainsi une diminution de l'apport calorique global. Les preuves issues d'essais *in vitro* et d'essais randomisés contrôlés suggèrent que certains composés polyphénoliques favorisent la réduction de la genèse, de la différenciation et de la prolifération des adipocytes, tout en prévenant l'inflammation et en favorisant la lipolyse (**Wang et al., 2014**). Les catéchines polyphénoliques, telles que l'EGCG, sont associées à des effets antioxydants, anti-inflammatoires et anti-mutagènes. Les catéchines peuvent prévenir la prise de poids en augmentant la dépense énergétique et l'oxydation des graisses (**Hursel et al., 2011**).

Les bleuets, riches en anthocyanines, réduisent la prise de poids dans les études animales en protégeant contre l'inflammation et en modulant les voies de l'obésité (**Pojer et al., 2013**). Cependant, les effets sur la prise de poids varient selon la forme de consommation des anthocyanines dans les essais sur les animaux (**Papandreou et al., 2009**).

Les études sur les propriétés anti-obésogènes du resvératrol chez les animaux et les humains montrent des résultats mitigés. Le resvératrol a été démontré inhiber la lipogenèse et la différenciation des adipocytes chez les rats (**Szkudelska et al., 2009**). Une revue systématique et une méta-analyse de 282 sujets humains ont indiqué que la supplémentation en resvératrol n'avait aucun impact sur les niveaux de triglycérides sanguins (**Sahebkar, 2013**). Comme le resvératrol est consommé en petites quantités, ses effets protecteurs sont improbables aux niveaux d'apport standards (**Azzini et al., 2017**).

La curcumine est hypothétisée pour réduire l'adiposité en augmentant le métabolisme énergétique, en réduisant l'inflammation et en supprimant l'angiogenèse (**Ejaz et al., 2009**). Les études animales ont montré que la supplémentation en curcumine alimentaire entraînait des réductions de l'adiposité et de la synthèse des acides gras dans le foie, ainsi que des niveaux plus élevés d'oxydation des acides gras (**Shao et al., 2012**).

### V.6. Effet antioxydant

Les antioxydants sont des substances capables de réduire ou d'empêcher la dégradation oxydative des composés biologiques. Ils protègent les systèmes biologiques par divers mécanismes préventifs en servant de première ligne de défense. Ces mécanismes incluent la capture des radicaux libres, l'interruption des réactions en chaîne initiées par ces radicaux, ainsi que la réparation ou l'élimination des structures endommagées (**Rizzo et al., 2010**). Divers antioxydants contribuent à maintenir l'équilibre du système biologique, comprenant des antioxydants endogènes (enzymatiques et non enzymatiques) et des antioxydants alimentaires (**Chedea et Pop, 2019**). Ces deux types d'antioxydants agissent de concert pour maintenir ou restaurer l'homéostasie redox (**Zujko et al., 2012**).

Dans des études *in vivo* et *in vitro*, l'activité antioxydante des acides chlorogénique et caféique a été rapportée, l'acide caféique présente des effets antioxydants plus marqués que l'acide chlorogénique (**Sato et al., 2011**).

L'acide sinapique et ses esters alkylés ont également démontré des effets antioxydants considérables. Les tests DPPH et FRAP suggèrent que l'acide sinapique possède une activité supérieure à celle de ses esters alkylés. Cet acide polyphénolique est présent dans le café, les légumes et les céréales (**Cartea et al., 2010**).

L'acide férulique est reconnu depuis longtemps pour ses activités antioxydantes, ce qui explique son utilisation dans les cosmétiques et les additifs alimentaires, ainsi que dans diverses applications industrielles. Cette classe de phénoliques est décrite comme la plus efficace parmi les acides phénoliques testés (**Kumar et Goel, 2019**).

De nombreux flavonoïdes comme la quercétine, la myricétine, le kaempférol et la (+) – catéchine sont également connus pour leur activité antioxydante. Tous les flavonoïdes ont inhibé la formation de peroxydes d'hydrogène dans le linoléate de méthyle, bien que le kaempférol et la rutine aient montré une réponse antioxydante relativement faible, tandis que la quercétine et la myricétine ont montré une meilleure inhibition (**Rudrapal et al., 2024**).

Le resvératrol a démontré des propriétés antioxydantes à travers divers mécanismes : l'oxydation des lipides, la prévention des dommages à l'ADN, l'inhibition de l'activation du NF- $\kappa$ B, l'augmentation de l'activité de la SOD, la diminution de l'8-hydroxy-2'-désoxyguanosine urinaire et l'activation du Nrf2. Le resvératrol réduit le risque de maladies cardiovasculaires en empêchant la peroxydation lipidique. Il prévient également l'oxydation des acides gras polyinsaturés et possède une activité antioxydante plus forte que celle de l' $\alpha$ -tocophérol (**Lee et al., 2009**).

### V.7. Effet anti-inflammatoire

L'inflammation est une réponse de défense du système immunitaire aux agents pathogènes étrangers. Il implique une série complexe de changements séquentiels dans les tissus visant à éliminer la cause initiale de la lésion cellulaire, pouvant être causée par des agents infectieux, des substances issues de leur métabolisme (micro-organismes et toxines), des agents physiques (rayonnement, brûlures et traumatismes) ou des produits chimiques (substances caustiques). Les manifestations de l'inflammation comprennent une rougeur locale, un gonflement, une douleur, une chaleur et une perte de fonction (**Gautam et Jachak, 2009**).

De nombreuses recherches ont montré que les composés phytochimiques tels que les polyphénols ont un effet anti-inflammatoire et peuvent être utilisés comme une alternative aux médicaments synthétiques pour la prévention et le traitement des troubles inflammatoires (**Rivière et al., 2012**).

Les flavonoïdes possèdent une capacité anti-inflammatoire en inhibant la production de médiateurs inflammatoires via la modulation de la voie de l'acide arachidonique et l'inhibition de diverses ; enzymes telles que l'ATPase, la prostaglandine, la cyclooxygénase, la lipooxygénase, la NADH oxydase, la protéine kinase, les hydrolases, les peroxydases, les métalloprotéinases, les tyrosinases et les phospholipases. Par conséquent, ils sont devenus un

sujet d'intérêt croissant en tant que traitement potentiel pour inhiber ou réduire l'activité inflammatoire (**Saxena *et al.*, 2013**).

Bien que de nombreux flavonoïdes se trouvent dans les plantes sous forme de glycosides, les recherches sur leurs activités biologiques se sont principalement concentrées sur les aglycones. Des études ont démontré les effets anti-inflammatoires des flavonoïdes rutine, quercétine et hespéridine (**DSVGK *et al.*, 2014**).

Les oignons contiennent des quantités importantes de quercétine, ont montré une activité anti-inflammatoire significative. Des recherches sur les glycosides de kaempférol et de quercétine ont révélé que la glycosylation diminue l'activité suppressive de l'aglycone sur la production de NO dans les cellules microgliales stimulées par le LPS. Cependant, certains glycosides, en fonction de leur position et de leur degré de glycosylation, conservaient une capacité inhibitrice de la production de NO, soulignant ainsi le rôle important de la glycosylation des flavonoïdes dans leur activité biologique (**Szeja *et al.*, 2017**)

# **Conclusion générale**

Au cours de la dernière décennie, une attention particulière a été portée aux plantes comestibles et surtout à leurs composés phytochimiques (**Zhang et al., 2021**). Aujourd'hui, il existe un intérêt croissant pour leurs bioactivités fournies par ces phytochimiques. Les polyphénols constituent le groupe le plus abondant et le plus largement distribué de molécules bioactives. Ces composés sont principalement présents dans les fruits, les légumes, les céréales et les boissons ainsi les produits fabriqués à partir de ces fruits contiennent également des polyphénols en quantités significative (**Pandey et Rizvi, 2009**) .

La variation structurale des composés phénoliques fonde leur classification et influence leur biodisponibilité dépendant de la source, déterminant ainsi leurs profils pharmacocinétiques. Cette diversité structurale est supposée jouer un rôle crucial dans la médiation de l'interaction des polyphénols avec les voies cellulaires, ce qui est essentiel pour leur assimilation métabolique et leur efficacité thérapeutique dans la réduction de diverses pathologies telles que l'hyperglycémie, l'hyperlipidémie, l'apparition du cancer et les maladies neurodégénératives (**Rudrapal et al., 2024**).

En perspectives, des études complémentaires s'imposent en vue :

- D'identifier et d'isoler d'autres composés phénoliques à partir d'autres sources.
- D'étudier l'impact des variations structurelles sur la biodisponibilité optimale, la cinétique métabolique et les modes d'activité biologique dans le but de renforcer leur biodisponibilité et leur efficacité thérapeutique.
- De tester d'autres activités biologiques
- De faire des produits nutraceutiques à base de polyphénols ou des aliments enrichis avec ces composés.



**Références  
bibliographiques**

## Références Bibliographiques

**Amiot, M.-J., Riollet, C., & Landrier, J.-F. (2009).** Polyphénols et syndrome métabolique. *Médecine des Maladies Métaboliques*, 3(5), 476-482.

**Andres, R. H., Horie, N., Slikker, W., Keren-Gill, H., Zhan, K., Sun, G., Manley, N. C., Pereira, M. P., Sheikh, L. A., McMillan, E. L., Schaar, B. T., Svendsen, C. N., Bliss, T. M., & Steinberg, G. K. (2011).** Human neural stem cells enhance structural plasticity and axonal transport in the ischaemic brain. *Brain*, 134(Pt 6), 1777-1789.

**Andrikopoulos, N. K., Dedoussis, G. V., Falirea, A., Kalogeropoulos, N., & Hatzinikola, H. S. (2002).** Deterioration of natural antioxidant species of vegetable edible oils during the domestic deep-frying and pan-frying of potatoes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 53, 351–363.

**Aquilano, K., Baldelli, S., Rotilio, G., & Ciriolo, M. R. (2008).** Role of nitric oxide synthase in Parkinson's disease: A review on the antioxidant and anti-inflammatory activity of polyphenols. *Neurochemical Research*, 33, 2416-2426.

**Araújo, E. P., Cunha, H. F. A., Brito, A. U., & Cunha, A. C. D. (2021).** Indicadores de abastecimento de água e doenças de transmissão hídrica em municípios da Amazônia Oriental. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26(6), 1059-1068

**Arfaoui, L. (2021).** Dietary plant polyphenols: Effects of food processing on their content and bioavailability. *Molecules*, 26(10), 2959.

**Ashraf, M. A., Iqbal, M., Rasheed, R., Hussain, I., Riaz, M., & Arif, M. S. (2018).** Environmental stress and secondary metabolites in plants. In *Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress* (pp. 153-167).

**Aviram, M., Dornfeld, L., Rosenblat, M., Volkova, N., Kaplan, M., Coleman, R., ... & Fuhrman, B. (2000).** Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: studies in humans and in atherosclerotic apolipoprotein E-deficient mice. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(5), 1062-1076.

**Azmir, J., Zaidul, I. S. M., & Rahman, M. M. (2013).** Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117, 426–436.

**Azzini, E., Giacometti, J., & Russo, G. L. (2017).** Antiobesity effects of anthocyanins in preclinical and clinical studies. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1-16.

**Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006).** Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191-203.

## Références Bibliographiques

**Barone, E., Calabrese, V., & Mancuso, C. (2009).** Ferulic acid and its therapeutic potential as a hormetin for age-related diseases. *Biogerontology*, 10, 97-108.

**Bener, M., Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2010).** Development of a low-cost optical sensor for cupric reducing antioxidant capacity measurement of food extracts. *Analytical Chemistry*, 82(10), 4252-4258.

**Bešlo, D., Golubić, N., Rastija, V., Agić, D., Karnaš, M., Šubarić, D., & Lučić, B. (2023).** Antioxidant activity, metabolism, and bioavailability of polyphenols in the diet of animals. *Antioxidants*, 12, 1141.

**Bitwell, C., Indra, S. S., Luke, C., & Kakoma, M. K. (2023).** A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*, 19, e01585.

**Blaszczyk, A., Sady, S., & Sielicka-Różyńska, M. (2019).** The stilbene profile in edible berries. *Phytochemistry Reviews*, 18, 1-31.

**Bouaziz, M., Chamkha, M., & Sayadi, S. (2004).** Comparative study on phenolic content and antioxidant activity during maturation of the olive cultivar Chemlali from Tunisia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 5476–5481.

**Cartea, M. E., Francisco, M., Soengas, P., & Velasco, P. (2010).** Phenolic compounds in Brassica vegetables. *Molecules*, 16(1), 251-280.

**Castro-Vargas, H. I., Rodríguez-Varela, L. I., Ferreira, S. R., & Parada-Alfonso, F. (2010).** Extraction of phenolic fraction from guava seeds (*Psidium guajava* L.) using supercritical carbon dioxide and co-solvents. *The Journal of Supercritical Fluids*, 51(3), 319-324.

**Chafer, A., Fornari, T., Berna, A., & Stateva, R. P. (2004).** Solubility of quercetin in supercritical CO<sub>2</sub> ethanol as a modifier: Measurements and thermodynamic modeling. *Journal of Supercritical Fluids*, 32, 89–96.

**Chaitanya Lakshmi, G. (2014).** Food coloring: The natural way. *Research Journal of Chemical Sciences*, 2231(8), 606X.

**Chedea, V. S., & Pop, R. M. (2019).** Total polyphenols content and antioxidant DPPH assays on biological samples. In *Polyphenols in Plants* (pp. 169-183).

**Chemat, F., & Khan, M. K. (2011).** Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835.

**Chemat, F., Tomao, V., & Viot, M. (2008).** Ultrasound-assisted extraction in food analysis. In S. Ötles (Ed.), *Handbook of Food Analysis Instruments* (pp. 85–103). Taylor & Francis, CRC Press.

## Références Bibliographiques

**Chen, Y., Li, Q., Zhao, T., Zhang, Z., Mao, G., Feng, W., Wu, X., & Yang, L. (2017).** Biotransformation and metabolism of three mulberry anthocyanin monomers by rat gut microflora. *Food Chemistry*, 237, 887-894.

**Chen, G., Wang, S., Feng, B., Jiang, B., & Miao, M. (2019).** Interaction between soybean protein and tea polyphenols under high pressure. *Food Chemistry*, 277, 632-638.

**Chira, K., Suh, J.-H., Saucier, C., & Teissèdre, P.L. (2008).** Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6(2), 75-82.

**Chuo, S. C., Nasir, H. M., Mohd-Setapar, S. H., Mohamed, S. F., Ahmad, A., Wani, W. A., & Alarifi, A. (2022).** A glimpse into the extraction methods of active compounds from plants. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 52(4), 667-696.

**Collin, S., & Crouzet, J. (2011).** Polyphénols et procédés : Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire. Lavoisier.

**Cory, H., Passarelli, S., Szeto, J., Tamez, M., & Mattei, J. (2018).** The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Frontiers in Nutrition*, 5, 87.

**Ćujić, N., Šavikin, K., Janković, T., Pljevljakušić, D., Zdunić, G., & Ibrić, S. (2016).** Optimization of polyphenols extraction from dried chokeberry using maceration as traditional technique. *Food Chemistry*, 194, 135-142.

**D'Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R., Giovannini, C., & Masella, R. (2007).** Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Annali-Istituto Superiore di Sanita*, 43(4), 348.

**D'Archivio, M., Filesi, C., Vari, R., Scazzocchio, B., & Masella, R. (2010).** Bioavailability of the polyphenols: Status and controversies. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(4), 1321-1342.

**De Castro, M. L., & Priego-Capote, F. (2010).** Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2383-2389.

**De Melo, M. M. R., Silvestre, A. J. D., & Silva, C. M. (2014).** Supercritical fluid extraction of vegetable matrices: Applications, trends and future perspectives of a convincing green technology. *The Journal of Supercritical Fluids*, 92, 115-176.

**Dembinska-Kiec, A., Mykkänen, O., Kiec-Wilk, B., & Mykkänen, H. (2008).** Antioxidant phytochemicals against type 2 diabetes. *British Journal of Nutrition*, 99(E Suppl 1), ES109-117.

**Derbel, S., & Ghedira, K. (2005).** Les phytonutriments et leur impact sur la santé. *Phytothérapie*, 3(1), 28-34.

## Références Bibliographiques

**DSVGK, K., Saranya, K. S., Vadlapudi, V., & Yarla, N. S. (2014).** Evaluation of anti-inflammatory and anti-proliferative activity of *Abutilon indicum* L. plant ethanolic leaf extract on lung cancer cell line A549 for system network studies. *Journal of Cancer Science & Therapy*, 6(6), 195-201.

**Du, J., Yang, Z., Xu, X., Wang, X., & Du, X. (2019).** Effects of tea polyphenols on the structural and physicochemical properties of high-hydrostatic-pressure-gelatinized rice starch. *Food Hydrocolloids*, 91, 256-262.

**Duffy, S. J., Keaney Jr, J. F., Holbrook, M., Gokce, N., Swerdloff, P. L., Frei, B., & Vita, J. A. (2001).** Short-and long-term black tea consumption reverses endothelial dysfunction in patients with coronary artery disease. *Circulation*, 104(2), 151–156.

**Ejaz, A., Wu, D., Kwan, P., & Meydani, M. (2009).** Curcumin inhibits adipogenesis in 3T3-L1 adipocytes and angiogenesis and obesity in C57/BL mice. *The Journal of Nutrition*, 139(5), 919-925.

**El Gharras, H. (2009).** Polyphenols: Food sources, properties and applications—A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2512-2518.

**Emira, M., & Erwan, B. (2011).** Composés des fruits d'intérêt nutritionnel : Impact des procédés de transformation sur les polyphénols. *Arboriculture*, 43(6), 364–368.

**Ferracane, R., Pellegrini, N., Visconti, A., Graziani, G., Chiavaro, E., Miglio, C., & Fogliano, V. (2008).** Effects of different cooking methods on antioxidant profile, antioxidant capacity, and physical characteristics of artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 8601–8608.

**Fraga, C. G., Galleano, M., Verstraeten, S. V., & Oteiza, P. I. (2010).** Basic biochemical mechanisms behind the health benefits of polyphenols. *Molecular Aspects of Medicine*, 31(6), 435-445.

**Gambini, J., Inglés, M., Olaso, G., Lopez-Grueso, R., Bonet-Costa, V., Gimeno-Mallench, L., Mas-Bargues, C., Abdelaziz, K. M., Gomez-Cabrera, M. C., Vina, J., & Borrás, C. (2015).** Properties of resveratrol: In vitro and in vivo studies about metabolism, bioavailability, and biological effects in animal models and humans. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2015, 837042.

**García-Lafuente, A., Guillamón, E., Villares, A., Rostagno, M. A., & Martínez, J. A. (2009).** Flavonoids as anti-inflammatory agents: implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflammation Research*, 58(9), 537-552.

**Gautam, R., & Jachak, S. M. (2009).** Recent developments in anti-inflammatory natural products. *Medicinal Research Reviews*, 29(5), 767-820.

## Références Bibliographiques

**Gfrerer, M., & Lankmayr, E. (2005).** Screening, optimization and validation of microwave-assisted extraction for the determination of persistent organochlorine pesticides. *Analytica Chimica Acta*, 533, 203–211.

**Ghedira, K. (2005).** Les flavonoïdes: Structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.

**Giampieri, F., Forbes-Hernandez, T. Y., Gasparri, M., Alvarez-Suarez, J. M., Afrin, S., Bompadre, S & Battino, M. (2015).** Strawberry as a health promoter: An evidence-based review. *Food & Function*, 6(5), 1386-1398.

**Gliszczynska-Swiglo, A., & Tyrakowska, B. (2003).** Quality of commercial apple juices evaluated on the basis of the polyphenol content and the TEAC antioxidant activity. *Journal of Food Science*, 68, 1844–1849.

**Gomez-Alonso, S., Fregapane, G., Salvador, M. D., & Gordon, M. H. (2003).** Changes in phenolic composition and antioxidant activity of virgin olive oil during frying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 667–672.

**Gomez-Rico, A., Salvador, M. D., La Greca, M., & Fregapane, G. (2006).** Phenolic and volatile compounds of extra virgin olive oil (*Olea europaea* L. Cv. Cornicabra) with regard to fruit ripening and irrigation management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(18), 7130-7136.

**Gopinathan, U., Sharma, S., Garg, P., & Rao, G. N. (2009).** Review of epidemiological features, microbiological diagnosis and treatment outcome of microbial keratitis: experience of over a decade. *Indian Journal of Ophthalmology*, 57(4), 273-279.

**Gowd, V., Karim, N., Shishir, M. R. I., Xie, L., & Chen, W. (2019).** Dietary polyphenols to combat the metabolic diseases via altering gut microbiota. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 81-93.

**Halliwell, B., Zhao, K., & Whiteman, M. (2000).** The gastrointestinal tract: a major site of antioxidant action? *Free Radical Research*, 33(6), 819-830.

**Hansen, J., & Møller, I. (1975).** Percolation of starch and soluble carbohydrates from plant tissue for quantitative determination with anthrone. *Analytical Biochemistry*, 68(1), 87-94.

**Harb, M. (2022).** Encapsulation des bactériophages dans des biopolymères pour améliorer leur stabilité dans des emballages alimentaires bioactifs. [Thèse de doctorat].

**Harikumar, K. B., & Aggarwal, B. B. (2008).** Resveratrol: A multitargeted agent for age-associated chronic diseases. *Cell Cycle*, 7(8), 1020–1035.

## Références Bibliographiques

**Heim, K. E., Tagliaferro, A. R., & Bobilya, D. J. (2002).** Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(10), 572-584.

**Herrero, M., Mendiola, J. A., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. (2010).** Supercritical fluid extraction: Recent advances and applications. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2495-2511.

**Herrero, M., Plaza, M., Cifuentes, A., & Ibáñez, E. (2012).** Extraction technique for the determination of phenolic compounds in food. *Analytica Chimica Acta*, 721, 54-62.

**Hursel, R., Viechtbauer, W., Dulloo, A. G., Tremblay, A., Tappy, L., Rumpler, W., & Westerterp-Plantenga, M. S. (2011).** The effects of catechin-rich teas and caffeine on energy expenditure and fat oxidation: a meta-analysis. *Obesity Reviews*, 12(7), e573-e581.

**Jiao, X., Wang, Y., Lin, Y., Lang, Y., Li, E., Zhang, X., & Li, B. (2019).** Blueberry polyphenols extract as a potential prebiotic with anti-obesity effects on C57BL/6 J mice by modulating the gut microbiota. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 64, 88-100.

**Jung, E. H., Kim, S. R., Hwang, I. K., & Ha, T. Y. (2007).** Hypoglycemic effects of a phenolic acid fraction of rice bran and ferulic acid in C57BL/KsJ-db/db mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(24), 9800-9804.

**Kaewprachu, P., Amara, C. B., Oulahal, N., Gharsallaoui, A., Joly, C., Tongdeesontorn, W., Rawdkuen, S., & Degraeve, P. (2018).** Gelatin films with nisin and catechin for minced pork preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 18, 173-183.

**Kamaraj, S., Vinodhkumar, R., Anandakumar, P., Jagan, S., Ramakrishnan, G., & Devaki, T. (2007).** The effects of quercetin on antioxidant status and tumor markers in the lung and serum of mice treated with benzo[a]pyrene. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 30(12), 2268-2273.

**Kazan, A., Koyu, H., Turu, I. C., & Yesil-Celiktas, O. (2014).** Supercritical fluid extraction of *Prunus persica* leaves and utilization possibilities as a source of phenolic compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 92, 55-59.

**Khan, N., & Mukhtar, H. (2008).** Multitargeted therapy of cancer by green tea polyphenols. *Cancer Letters*, 269(2), 269-280.

**Klaiber, R. G., Baur, S., Koblo, A., & Carle, R. (2005).** Influence of washing treatment and storage atmosphere on phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic acid content of minimally processed carrot sticks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1065-1072.

**Křížová, L., Dadáková, K., Kašparovská, J., & Kašparovský, T. (2019).** Isoflavones. *Molecules*, 24(6), 1076.

## Références Bibliographiques

**Kroon, P. A., Clifford, M. N., Crozier, A., Day, A. J., Donovan, J. L., Manach, C., & Williamson, G. (2004).** How should we assess the effects of exposure to dietary polyphenols in vitro? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(1), 15-21.

**Kumar, N., & Goel, N. (2019).** Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, e00370.

**Lama-Muñoz, A., & Contreras, M. D. M. (2022).** Extraction systems and analytical techniques for food phenolic compounds: A review. *Foods*, 11(22), 3671.

**Lee, W. C., Wang, C. J., Chen, Y. H., Hsu, J. D., Cheng, S. Y., Chen, H. C., & Lee, H. J. (2009).** Polyphenol extracts from *Hibiscus sabdariffa* Linnaeus attenuate nephropathy in experimental type 1 diabetes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(6), 2206-2210.

**Liu, J., Wang, X., Yong, H., Kan, J., & Jin, C. (2018).** Recent advances in flavonoid-grafted polysaccharides: Synthesis, structural characterization, bioactivities and potential applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116, 1011-1025.

**Luo, X., Cui, J., Zhang, H., Duan, Y., Zhang, D., Cai, M., & Chen, G. (2018).** Ultrasound-assisted extraction of polyphenolic compounds from red sorghum (*Sorghum bicolor* L.) bran and their biological activities and polyphenolic compositions. *Industrial Crops and Products*, 112, 296-304.

**Luo, Y., Jian, Y., Liu, Y., Jiang, S., Muhammad, D., & Wang, W. (2022).** Flavanols from nature: A phytochemistry and biological activity review. *Molecules*, 27(3), 719.

**Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Billot, J. (1990).** Fruit phenolics. Boca Raton, USA: CRC Press.

**Maeda, K., Kuzuya, M., Cheng, X. W., Asai, T., Kanda, S., Tamaya-Mori, N., & Iguchi, A. (2003).** Green tea catechins inhibit the cultured smooth muscle cell invasion through the basement barrier. *Atherosclerosis*, 166(1), 23–30.

**Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004).** Polyphenols: Food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747.

**Matsui, T., Ueda, T., Oki, T., Sugita, K., Terahara, N., & Matsumoto, K. (2001).**  $\alpha$ -Glucosidase inhibitory action of natural acylated anthocyanins. 2.  $\alpha$ -Glucosidase inhibition by isolated acylated anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(4), 1952-1956.

**Matsui, T., Ebuchi, S., Kobayashi, M., Fukui, K., Sugita, K., Terahara, N., & Matsumoto, K. (2002).** Anti-hyperglycemic effect of diacylated anthocyanin derived from *Ipomoea batatas* cultivar Ayamurasaki can be achieved through the  $\alpha$ -glucosidase inhibitory action. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7244-7248.



## Références Bibliographiques

**Miglio, C., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., & Pellegrini, N. (2008).** Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 139–147.

**Milne, J. C., Lambert, P. D., Schenk, S., Carney, D. P., Smith, J. J., Gagne, D. J., ... & Westphal, C. H. (2007).** Small molecule activators of SIRT1 as therapeutics for the treatment of type 2 diabetes. *Nature*, 450(7170), 712-716.

**Molino, S., Dossena, M., Buonocore, D., Ferrari, F., Venturini, L., Ricevuti, G., & Verri, M. (2016).** Polyphenols in dementia: From molecular basis to clinical trials. *Life Sciences*, 161, 69–77.

**Monroy, Y. M., Rodrigues, R. A., Sartoratto, A., & Cabral, F. A. (2016).** Optimization of the extraction of phenolic compounds from purple corn cob (*Zea mays* L.) by sequential extraction using supercritical carbon dioxide, ethanol and water as solvents. *The Journal of Supercritical Fluids*, 116, 10-19.

**Mullen, W., Stewart, A. J., Lean, M. E., Gardner, P., Duthie, G. G., & Crozier, A. (2002).** Effect of freezing and storage on the phenolics, ellagitannins, flavonoids, and antioxidant capacity of red raspberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 5197–5201.

**Napolitano, A., Cascone, A., Graziani, G., Ferracane, R., Scalfi, L., Di Vaio, C., Ritieni, A., & Fogliano, V. (2004).** Influence of variety and storage on the polyphenol composition of apple flesh. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 6526–6531.

**Nemeth, K., Plumb, G. W., Berrin, J. G., Juge, N., Jacob, R., Naim, H. Y., Williamson, G., Swallow, D. M., & Kroon, P. A. (2003).** Deglycosylation by small intestinal epithelial cell beta-glucosidases is a critical step in the absorption and metabolism of dietary flavonoid glycosides in humans. *European Journal of Nutrition*, 42(1), 29-42.

**Oroian, M., Ursachi, F., & Dranca, F. (2020).** Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from crude pollen. *Antioxidants*, 9(4), 322.

**Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009).** Current understanding of dietary polyphenols and their role in health and disease. *Current Nutrition & Food Science*, 5(4), 249-263.

**Panja, P. (2018).** Green extraction methods of food polyphenols from vegetable materials. *Current Opinion in Food Science*, 23, 173–182.

**Papandreou, M. A., Dimakopoulou, A., Linardaki, Z. I., Cordopatis, P., Klimis-Zacas, D., Margarity, M., & Lamari, F. N. (2009).** Effect of a polyphenol-rich wild blueberry extract on cognitive performance of mice, brain antioxidant markers and acetylcholinesterase activity. *Behavioural Brain Research*, 198(2), 352-358.

## Références Bibliographiques

**Peters, U., Poole, C., & Arab, L. (2001).** Does tea affect cardiovascular disease? A meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, 154(6), 495–503.

**Phan, A. D. T., Williams, B. A., Netzel, G., Mikkelsen, D., D'Arcy, B. R., & Gidley, M. J. (2020).** Independent fermentation and metabolism of dietary polyphenols associated with a plant cell wall model. *Food & Function*, 11(3), 2218-2230.

**Pimentel-Moral, S., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., Arráez-Román, D., Martínez-Férez, A., & Segura-Carretero, A. (2019).** Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of bioactive compounds from *Hibiscus sabdariffa*. *The Journal of Supercritical Fluids*, 147, 213-221.

**Pirola, L., & Fröjdö, S. (2008).** Resveratrol: One molecule, many targets. *IUBMB Life*, 60(5), 323–332.

**Pojer, E., Mattivi, F., Johnson, D., & Stockley, C. S. (2013).** The case for anthocyanin consumption to promote human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(5), 483-508

**Prabhu, S., Molath, A., Choksi, H., Kumar, S., & Mehra, R. (2021).** Classifications of polyphenols and their potential application in human health and diseases. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*, 6(1), 293-301.

**Quideau, S. (2013).** Plant polyphenols. In *ELS* (edited by John Wiley & Sons, Ltd). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.

**Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., & Pouységou, L. (2011).** Plant polyphenols: Chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 586-621.

**Rathore, S. K., Bhatt, S., Dhyani, S., & Jain, A. (2012).** Preliminary phytochemical screening of medicinal plant *Ziziphus mauritiana* Lam. *Fruits. International Journal of Current Pharmaceutical Research*, 4(1), 160-162.

**Rebey, I. B., Sriti, J., Besbess, B., Mkaddmini Hammi, K., Hamrouni Sellami, I., Marzouk, B., & Ksouri, R. (2016).** Effet de la provenance et du solvant d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydantes des graines de fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of New Sciences*, 27, 1478-1487.

**Richard, T., Tamsamani, H., Delaunay, J. C., Krisa, S., & Mérillon, J. M. (2014).** Stilbènes : De la chimie à la neuroprotection. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 49(4), 173-180.

## Références Bibliographiques

**Rivière, C., Pawlus, A. D., & Mérillon, J. M. (2012).** Natural stilbenes: Distribution in the plant kingdom and chemotaxonomic interest in Vitaceae. *Natural Product Reports*, 29, 1317-1333.

**Rizvi, S. I., & Zaid, M. A. (2001).** Intracellular reduced glutathione content in normal and type 2 diabetic erythrocytes: Effect of insulin and (-) epicatechin. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 52(3).

**Rizzo, A. M., Berselli, P., Zava, S., Montorfano, G., Negroni, M., Corsetto, P., & Berra, B. (2010).** Endogenous antioxidants and radical scavengers. In M. T. Giardi, G. Rea, & B. Berra (Eds.), *Bio-Farms for Nutraceuticals* (pp. 52-67). Boston, MA: Springer US.

**Robbins, R. J. (2003).** Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(10), 2866-2887.

**Rossi, L., Mazzitelli, S., Arciello, M., Capo, C. R., & Rotilio, G. (2008).** Benefits from dietary polyphenols for brain aging and Alzheimer's disease. *Neurochemical Research*, 33, 2390-2400.

**Rudrapal, M., Rakshit, G., Singh, R. P., Garse, S., Khan, J., & Chakraborty, S. (2024).** Dietary polyphenols: Review on chemistry/sources, bioavailability/metabolism, antioxidant effects, and their role in disease management. *Antioxidants*, 13(4), 429.

**Sahebkar, A. (2013).** Effects of resveratrol supplementation on plasma lipids: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition Reviews*, 71(12), 822-835.

**Sato, M., Ishikawa, T., Ujihara, N., Yoshida, S., Fujita, M., Mochizuki, M., & Asada, A. (2011).** Displacement above the hypocenter of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Science*, 332(6036), 1395-1395.

**Saxena, S., Funk, M., & Chisholm, D. (2013).** World health assembly adopts comprehensive mental health action plan 2013–2020. *The Lancet*, 381(9882), 1970-1971.

**Scalbert, A., & Williamson, G. (2000).** Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *The Journal of Nutrition*, 130(8S Suppl), 2073S-2085S.

**Schächinger, V., Britten, M. B., & Zeiher, A. M. (2000).** Prognostic impact of coronary vasodilator dysfunction on adverse long-term outcome of coronary heart disease. *Circulation*, 101(16), 1899–1906.

**Sereme, A., Milogo-Rasolodimby, J., Guinko, S., & Nacro, M. (2011).** Propriétés thérapeutiques des plantes à tanins du Burkina Faso. *Pharmacopée et Médecine Traditionnelle Africaine*, 15.

## Références Bibliographiques

**Sesink, A. L., O'Leary, K. A., & Hollman, P. C. (2001).** Quercetin glucuronides but not glucosides are present in human plasma after consumption of quercetin-3-glucoside or quercetin-4'-glucoside. *The Journal of Nutrition*, 131(7), 1938-1941.

**Setchell, K. D., Faughnan, M. S., Avades, T., Zimmer-Nechemias, L., Brown, N. M., Wolfe, B. E., & Cassidy, A. (2003).** Comparing the pharmacokinetics of daidzein and genistein with the use of <sup>13</sup>C-labeled tracers in premenopausal women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77(2), 411-419.

**Sganzerla, W. G., Rosa, G. B., Ferreira, A. L. A., da Rosa, C. G., Beling, P. C., Xavier, L. O., & de Lima Veeck, A. P. (2020).** Bioactive food packaging based on starch, citric pectin and functionalized with *Acca sellowiana* waste by-product: Characterization and application in the postharvest conservation of apple. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 295-303.

**Shao, W., Yu, Z., Chiang, Y., Yang, Y., Chai, T., Foltz, W., ... & Jin, T. (2012).** Curcumin prevents high fat diet induced insulin resistance and obesity via attenuating lipogenesis in liver and inflammatory pathway in adipocytes. *PloS One*, 7(1), e28784.

**Silva, R. F., & Pogačnik, L. (2020).** Polyphenols from food and natural products: Neuroprotection and safety. *Antioxidants*, 9(1), 61.

**Singh, M., Arseneault, M., Sanderson, T., Murthy, V., & Ramassamy, C. (2008).** Challenges for research on polyphenols from foods in Alzheimer's disease: Bioavailability, metabolism, and cellular and molecular mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(13), 4855-4873.

**Škerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hraš, A. R., Simonič, M., & Knez, Ž. (2005).** Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 89(2), 191-198.

**Souilah, N. N. (2021).** Biochemical properties and *in vitro* activities of extracts from two Asteraceae endemic species wild (Algeria). *RHAZES: Green and Applied Chemistry*, 11, 58-70.

**Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P. S., Kapoor, A., Vo, D. V. N., & Prabhakar, S. (2021).** Techniques and modeling of polyphenol extraction from food: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 3409-3443.

**Stalikas, C. D. (2007).** Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of Separation Science*, 30(18), 3268-3295.

**Szeja, W., Gryniewicz, G., & Rusin, A. (2017).** Isoflavones, their glycosides and glycoconjugates. Synthesis and biological activity. *Current Organic Chemistry*, 21(3), 218-235.

## Références Bibliographiques

**Szkudelska, K., Nogowski, L., & Szkudelski, T. (2009).** Resveratrol, a naturally occurring diphenolic compound, affects lipogenesis, lipolysis and the antilipolytic action of insulin in isolated rat adipocytes. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 113(1-2), 17-24.

**Taiz, L., & Zeiger, E. M. (2006).** *Plant Physiology* (4th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.

**Teixeira, J., Gaspar, A., Garrido, E. M., Garrido, J., & Borges, F. (2013).** Hydroxycinnamic acid antioxidants: an electrochemical overview. *BioMed Research International*, 2013, 1-11.

**Uranga, J., Etxabide, A., Guerrero, P., & de la Caba, K. (2018).** Development of active fish gelatin films with anthocyanins by compression molding. *Food Hydrocolloids*, 84, 313-320.

**Vallejo, F., Tomas-Barberan, F., & Garcia-Viguera, C. (2003).** Health-promoting compounds in broccoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 3029–3034.

**Verma, N., & Shukla, S. (2015).** Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(4), 105-113.

**Vilela, C., Pinto, R. J., Coelho, J., Domingues, M. R., Daina, S., Sadocco, P., & Freire, C. S. (2017).** Bioactive chitosan/ellagic acid films with UV-light protection for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 73, 120-128.

**Vinha, A. F., Rodrigues, F., Nunes, M. A., & Oliveira, M. B. P. (2018).** Natural pigments and colorants in foods and beverages. In *Polyphenols: Properties, recovery, and applications* (pp. 363-391).

**Vita, J. A. (2005).** Polyphenols and cardiovascular disease: effects on endothelial and platelet function. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 292S-297S.

**Vitrac, X., Bornet, A., Vanderlinde, R., Valls, J., Richard, T., Delaunay, J. C., & Teissédre, P. L. (2005).** Determination of stilbenes ( $\delta$ -viniferin, trans-astringin, trans-piceid, cis- and trans-resveratrol,  $\epsilon$ -viniferin) in Brazilian wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5664-5669.

**Walle, T. (2009).** Methylation of dietary flavones increases their metabolic stability and chemopreventive effects. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(11), 5002-5019.

**Wang, L., & Weller, C. L. (2006).** Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*, 17(6), 300-312.

## Références Bibliographiques

**Wang, S., Moustaid-Moussa, N., Chen, L., Mo, H., Shastri, A., Su, R., & Shen, C. L. (2014).** Novel insights of dietary polyphenols and obesity. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 25(1), 1-18.

**Xu, B., & Chang, K. C. (2009).** Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 4754-4764.

**Yang, C. S., Landau, J. M., Huang, M. T., & Newmark, H. L. (2001).** Inhibition of carcinogenesis by dietary polyphenolic compounds. *Annual Review of Nutrition*, 21(1), 381-406.

**Young, J. F., Nielsen, S. E., Haraldsdóttir, J., Daneshvar, B., Lauridsen, S. T., Knuthsen, P., & Dragsted, L. O. (1999).** Effect of fruit juice intake on urinary quercetin excretion and biomarkers of antioxidative status. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(1), 87-94.

**Yu, Q., Geng, Y., & Sicinski, P. (2001).** Specific protection against breast cancers by cyclin D1 ablation. *Nature*, 411(6841), 1017-1021.

**Zafrilla, P., Morillas, J., Mulero, J., Cayuela, J. M., Martínez-Cacha, A., Pardo, F., & Lopez Nicolas, J. M. (2003).** Changes during storage in conventional and ecological wine: Phenolic content and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 4694-4700.

**Zhang, Z., Zhang, X., Bi, K., He, Y., Yan, W., Yang, C. S., & Zhang, J. (2021).** Potential protective mechanisms of green tea polyphenol EGCG against COVID-19. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 11-24

**Živković, J., Šavikin, K., Janković, T., Čujić, N., & Menković, N. (2018).** Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenolic compounds from pomegranate peel using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, 194, 40-47.

**Zujko, M. E., Witkowska, A. M., Waśkiewicz, A., & Sygnowska, E. (2012).** Estimation of dietary intake and patterns of polyphenol consumption in Polish adult population. *Advances in Medical Sciences*, 57(2), 375-384.

**Zwingelstein, M., Draye, M., Besombes, J. L., Piot, C., & Chatel, G. (2020).** Viticultural wood waste as a source of polyphenols of interest: Opportunities and perspectives through conventional and emerging extraction methods. *Waste Management*, 102, 782-794.

## ملخص

الهدف من هذا البحث البيولوجرافي هو توفير مورد قيم للباحثين وأخصائيي التغذية والأطباء، لتعزيز فهم أعمق للأطعمة الغنية بالبوليفينولات، وتقنيات استخراج هذه المركبات، والعلاقة المعقدة بين البوليفينولات وصحة الإنسان. تصنف هذه المركبات إلى عدة فئات رئيسية بناءً على تنوع هيكلها الكيميائي، حيث تقدم كل منها فوائد وتأثيراتها الصحية الخاصة. تعمل البوليفينولات كمضادات أكسدة فعالة وتُعرف بفوائدها الصحية العديدة، بما في ذلك قدرتها على مكافحة الأكسدة وتقليل مخاطر الأمراض المزمنة. يشمل مصير البوليفينولات في جسم الإنسان عدة مراحل؛ يتم هضمها في الجهاز الهضمي ثم تمر إلى مجرى الدم. يتنوع مصيرها في الجسم، حيث يتراكم بعضها في أنسجة محددة بينما يخضع جزء آخر لعملية تفكك ويتم التخلص منه من الجسم بواسطة الكبد والكلية.

**الكلمات المفتاحية:** بوليفينولات، استخراج، أيض، أنشطة بيولوجية

## Summary

The objective of this bibliographic research is to provide a valuable resource for researchers, nutritionists, and clinicians, promoting a deeper understanding of polyphenol-rich foods, the techniques for extracting these compounds, and the complex relationship between polyphenols and human health. These compounds are classified into several main categories based on the diversity of their chemical structures, each offering its own benefits and health effects.

Polyphenols act as effective antioxidants and are recognized for their numerous health benefits, including their ability to combat oxidation and reduce the risk of chronic diseases.

The fate of polyphenols in the human body involves several stages; they are digested in the digestive system and then pass into the bloodstream. Their fate in the body varies, with some accumulating in specific tissues while another part undergoes a decomposition process and is eliminated from the body by the liver and kidneys.

**Keywords:** Polyphenols, extraction, metabolism, biological activities

## Résumé

L'objectif de cette recherche bibliographique est de fournir une ressource précieuse pour les chercheurs, les nutritionnistes et les cliniciens, en favorisant une compréhension plus approfondie des aliments riches en polyphénols, des techniques d'extraction de ces composés, ainsi que de la relation complexe entre les polyphénols et la santé humaine.

Ces composés sont classés en plusieurs catégories principales en fonction de la diversité de leurs structures chimiques, chacune offrant ses propres avantages et effets sur la santé. Les polyphénols agissent comme des antioxydants efficaces et sont reconnus pour leurs nombreux bienfaits pour la santé, notamment leur capacité à lutter contre l'oxydation et à réduire le risque de maladies chroniques.

Le destin des polyphénols dans le corps humain comprend plusieurs étapes ; ils sont digérés dans le système digestif puis passés dans la circulation sanguine. Leur destin dans le corps varie, une partie s'accumulant dans des tissus spécifiques, tandis que l'autre partie subit un processus de décomposition et est éliminée du corps par le foie et les reins.

**Mots clés :** Polyphénols, extraction, métabolisme, activités biologiques