République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Faculté des sciences

Département de Sciences Agronomiques

En Vue de l'obtention du Diplôme de Master

En Sciences alimentaires

Spécialité : Agroalimentaire et qualité des produits

Thème

Les Polyphénols de thé

Présenté par : Rehail assila

Soutenue devant le jury :

Présidente :Souilah Nabila	**M.C.A**	**UNIV SKIKDA**
Encadreur : Laib djamel eddine	**M.C.B**	**UNIV SKIKDA**
CO Encadreur : Laib imen	**M.C.A**	**UNIV SKIKDA**
Examinatrice : Oudjane faiza	**M.C.A**	**UNIV SKIKDA**

Année Universitaire :2025-2026

Liste de figures

Page

Figure 1 . Les différentes cueillettes du thé……. 6

Figure 2 . Principales étapes du traitement des feuilles de théier après récolte…….. 7

Figure 3 . Les différents types du thé…….. 9

Figure 4 . Structure de base des flavonoïdes…….. 25

Liste de tableaux

Page

Tableau 1. Composition de la feuille de thé en vitamines du groupe B…….. 12

Tableau 2. Temps et températures d'infusion selon les différents types de thé….. 15

Tableau 3. Les différentes classes des composés phénoliques…….. 21

Sommaire

		Page
	Introduction……..	1
Chapitre I	**Généralités sur le thé**…….	2
I	Histoire d'une conquête……	2
I.1	Le thé arrive en Europe……	2
II	Étude botanique…….	3
II.1	Origine du nom « thé »……..	3
II.2	Description de *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze……..	4
II.2.1	La plante……	4
II.2.2	La feuille……..……	4
II.3	Procédés d'obtention des thés……..	5
II.3.1	La cueillette……..……	5
II.3.2	Les types de thés……..……	6
II.3.2.1	Les thés blancs……..……	7
II.3.2.2	Les thés verts……..……	7
II.3.2.3	Les thés jaunes……..……	8
II.3.2.4	Les thés oolong……..……	8
II.3.2.5	Les thés noirs……..……	8
II.3.2.6	Les thés sombres……..……	8
III	Composition chimique de la feuille de thé……..	9
III.1	Polyphénols……..……	10
III.2	Alcaloïdes…….	11
III.3	Vitamines…….	12
III.4	Compositions minérales……..	13
III.5	Acides aminés……..	13
III.6	Glucides……..	13
III.7	Lipides…….	13
III.8	Huiles essentielles……	14

		Page
III.9	Caroténoïdes……..	14
IV	Propriétés d'un bon thé…….	14
IV.1	Quantité de thé……...	14
IV.2	Température de l'eau……..	14
IV.3	Qualité de l'eau……	14
IV.4	Temps d'infusion……..……..	15
V	Les bienfaits du thé…….	15
V.1	Le thé et la prévention des maladies……	16
V.2	Effets néfastes du thé……..	16
Chapitre II	**Polyphénols du thé……**	18
I	Les polyphénols……..	18
I.1	Généralités……	18
I.2	Origine des polyphénols……..	18
I.3	Classification des polyphénols……..	19
I.3.1	Polyphénols simples…….	19
I.3.2	Polyphénols complexes……	20
II	Biosynthèse des composés phénoliques……..	21
II.1	Voie de l'acide shikimique…….	21
II.2	Voie de l'acétate/malonate…….	22
III	Les polyphénols et la protection contre les maladies……	22
III.1	Polyphénols et cancer……	23
III.2	Polyphénols et maladies cardiovasculaires……	23
III.3	Polyphénols et inflammation……..	23
III.4	Polyphénols et maladies neurodégénératives……	24
IV	Les polyphénols du thé…….	24
IV.1	Les flavonoïdes……..…….	24

		Page
IV.1.1	Les flavanols……	25
IV.1.2	Les flavonols……	26
IV.2	Les acides phénoliques……..	26
IV.3	Les tanins……	27
IV.4	Produits de la réaction d'oxydation par la polyphénol oxydase	.27
IV.4.1	Les théaflavines……..……..	27
IV.4.2	Les théarubigines……..……	28
V	Rôle et Intérêts des polyphénols en agroalimentaire……	28
	Conclusion ……..……..	29
	Références bibliographiques……..	30

Introduction

Le thé, obtenu à partir des feuilles de *Camellia sinensis*, figure parmi les boissons les plus consommées à l'échelle mondiale. Il représente une source importante de composés antioxydants et serait associé à divers effets bénéfiques sur la santé humaine (Castro et *al*., 2010).

Selon les procédés de fabrication, les thés commerciaux sont généralement classés en six grandes catégories : le thé vert non fermenté, le thé Oolong partiellement fermenté, le thé noir totalement fermenté et le thé blanc légèrement oxydé (Wang et *al*., 2003).

Le thé vert et le thé Oolong sont majoritairement consommés en Chine et au Japon, tandis que le thé noir, issu principalement de *Camellia sinensis* var. *assamica*, est davantage consommé en Inde, en Europe et en Afrique.

De nombreuses études récentes ont mis en évidence une association entre la consommation de thé et la réduction du risque de certaines pathologies, notamment les cancers et les maladies cardiovasculaires (Roman et *al*., 2013).

D'autres effets biologiques ont également été rapportés, en particulier ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (Lee et *al*., 2000).

Ces activités biologiques sont principalement attribuées aux composés phénoliques, et plus particulièrement aux catéchines, qui peuvent représenter jusqu'à 30 % de la matière sèche des feuilles de thé vert (Zaveri, 2006).

Dans ce contexte, ce travail vise à mettre en évidence le thé ainsi que sa richesse en polyphénols. Ce travail s'intéresse aux raisons pour lesquelles le thé a joué et continue de jouer un rôle important dans la vie quotidienne et dans la recherche scientifique.

Dans un premier temps, nous aborderons l'histoire du thé, suivie de sa description botanique et de ses méthodes de préparation. Nous poursuivrons par l'étude de la composition chimique de la feuille de thé ainsi que des propriétés d'un bon thé, avant de traiter ses bienfaits et ses effets indésirables. Ensuite, une partie sera consacrée aux polyphénols en général et à ceux du thé en particulier. Enfin, nous examinerons les intérêts des polyphénols dans le domaine agroalimentaire.

I. Histoire d'une conquête

Originaire d'Asie, le thé a progressivement étendu son influence à l'échelle mondiale. Son histoire remonterait à 2737 avant notre ère, en Chine.

Selon la tradition, l'empereur Shen Nung faisait bouillir de l'eau sous un arbre lorsqu'une légère brise détacha quelques feuilles qui tombèrent dans le récipient.

L'eau prit alors une coloration particulière et dégagea un arôme subtil. Intrigué, l'empereur goûta cette infusion, l'apprécia et renouvela l'expérience.

L'arbre en question était un théier sauvage, marquant symboliquement la découverte du thé.

Le théier (*Camellia sinensis*) est une espèce originaire d'Asie qui aurait été utilisée très tôt par les souverains chinois, notamment en raison de leur intérêt pour les élixirs associés à la longévité.

Toutefois, les premières sources écrites attestant de l'utilisation du thé sous forme de préparation médicinale, de boisson ou d'aliment ne datent que du IVe siècle de notre ère (Edeas, 2002).

L'ensemble des variétés de thé actuellement connues a été développé sous la dynastie Ming (1368–1644).

Cette période a également vu la généralisation de l'emploi des théières destinées à l'infusion des feuilles.

Il fallut ensuite plusieurs siècles pour que le thé devienne une boisson largement consommée dans toutes les catégories sociales de la Chine et du Tibet (Edeas, 2002).

Par la suite, la culture du théier s'est progressivement diffusée vers différentes régions de l'Asie, notamment l'Inde et le Japon.

Dans ces pays, le thé ne constituait pas seulement une boisson courante, mais occupait également une place essentielle dans les cérémonies du bouddhisme zen.

Il était en outre reconnu pour ses propriétés thérapeutiques.

Au Japon, la consommation du thé demeure associée à la santé et à l'hygiène de vie, tandis que la production nationale est principalement consacrée au thé vert (Edeas, 2002).

I.1. Le thé arrive en Europe

Avec l'intensification des échanges entre l'Orient et l'Occident, le thé fut introduit en Europe au cours du XVIIe siècle. Initialement réservé aux élites aristocratiques, il gagna rapidement en popularité auprès des intellectuels et des milieux cultivés fréquentant les *coffee-houses*, qui devinrent progressivement de véritables « maisons de thé ».

Les colons anglais et hollandais contribuèrent ensuite à l'introduction du thé dans le Nouveau Monde. Cependant, la Chine, alors unique productrice, imposait des prix particulièrement

élevés. Face à une demande occidentale en constante augmentation, les Britanniques développèrent des plantations de thé en Inde dès 1834, puis dans l'île de Ceylan en 1857. En Angleterre, le thé constituait alors une marchandise fortement taxée.

À la fin du XIXe siècle et au début du XXe siècle, la culture du thé fut également étendue à d'autres régions d'Asie devenues d'importants centres de production, ainsi qu'à plusieurs pays de l'Afrique subsaharienne anglophone et, plus récemment, à certaines zones d'Amérique du Sud (Edeas, 2002).

II. Étude botanique

II.1. Origine du nom « thé »

L'appellation « thé » dérive du terme chinois « t'e », utilisé dans plusieurs dialectes du sud de la Chine. Cette dénomination a été adoptée par la majorité des pays européens qui importaient le thé par voie maritime, à l'exception du Portugal.

En revanche, les pays approvisionnés par les routes terrestres, notamment le Japon, le Portugal, le Tibet, l'Inde, l'Iran, la Russie et la Turquie, emploient des termes commençant par « tch » ou « ch », issus du mot mandarin « ch'a », qui signifie également « cueillir » et désigne la même plante ou drogue végétale (Montseren, 1999).

La première classification scientifique du théier a été proposée par Linné en 1752. Celui-ci a rattaché cette plante à la famille des Theaceae et l'a subdivisée en deux espèces distinctes : *Thea sinensis* et *Thea bohea*.

À cette époque, le théier était également connu sous le nom générique de *Camellia*. Les révisions taxonomiques ultérieures ont conduit à distinguer la variété chinoise à petites feuilles sous l'appellation *Thea sinensis* et la variété d'Assam à grandes feuilles sous le nom *Thea assamica* (Montseren, 1999).

En 1759, une comparaison approfondie des deux genres a montré une forte proximité morphologique, ce qui a conduit à retenir le genre *Camellia* (Garel, 2006).

Plus tard, Gutman et Ryu (1996) ont estimé que ces deux espèces correspondaient en réalité à une seule espèce botanique, désignée sous le nom de *Camellia sinensis* (Mckenna, 2002).

La classification taxonomique du théier a ainsi connu plusieurs modifications au cours du temps, notamment concernant son rattachement à un ordre botanique. Actuellement, la classification de référence est celle de l'Angiosperm Phylogeny Group (APG II), révisée en 2003 (Parmar *et al.*, 2012), selon laquelle le théier appartient à l'embranchement des Spermatophytes, à la division des Angiospermes, à la classe des Dicotylédones ou Magnoliopsidae, à l'ordre des Ericales, à la famille des Theaceae, au genre *Camellia* et à l'espèce *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze, synonyme de *Thea sinensis* L.

Au sein de l'espèce *Camellia sinensis*, deux principales variétés sont généralement reconnues. La première, *Camellia sinensis* var. *sinensis*, communément appelée théier de Chine, est principalement cultivée en Chine et au Japon pour la production du thé vert.

La seconde, *Camellia sinensis* var. *assamica*, ou théier d'Assam, est largement cultivée en Inde et au Sri Lanka (anciennement Ceylan), où elle est principalement destinée à la fabrication du thé noir (Schwarz et Schweppe, 2008).

I.2. Description de *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze

II.2.1. La plante

À l'état naturel, le théier est un arbre ou un arbuste fortement ramifié pouvant atteindre une hauteur comprise entre 5 et 10 mètres, voire jusqu'à 15 mètres dans certaines conditions. Les fleurs, généralement solitaires et disposées à l'aisselle des feuilles, sont odorantes et présentent une taille variable pouvant atteindre 3 cm de diamètre.

Elles sont dialypétales, les pétales étant libres les uns des autres, pentamères puisqu'elles sont constituées de cinq pétales, actinomorphes en raison de leur symétrie radiale, et bisexuées puisqu'elles possèdent simultanément les organes reproducteurs mâles et femelles.

Les pétales, de couleur blanche, sont légèrement soudés à leur base et forment une corolle à disposition spiralée. Le calice est également spiralé et composé de cinq sépales.

Les étamines, de couleur jaune, peuvent être très nombreuses et atteindre jusqu'à 200 unités. Elles sont polyadelphes, c'est-à-dire réunies en faisceaux par la base de leurs filets, et leur développement s'effectue de manière centrifuge.

Le gynécée comprend trois carpelles uniloculaires, dont chaque loge contient plusieurs ovules, mais un seul parvient généralement à maturité après avortement des autres.

Les ovules sont de type anatropes et possèdent deux téguments. L'ovaire est supère, les différentes pièces florales étant insérées sous celui-ci.

Le fruit est une capsule loculicide trigone constituée de trois loges uniséminées. Il renferme une ou deux graines oléagineuses, dépourvues d'albumen et entourées d'un tégument sans arille (Parmar *et al.*, 2012 ; Wichtl et Anton, 2003).

II.2.2. La feuille

Les feuilles du théier sont persistantes et présentent une texture tendre ainsi qu'un aspect duveteux lorsqu'elles sont jeunes, avant de devenir glabres à maturité.

Elles sont simples, alternes, non stipulées et possèdent une forme oblongue-ovale à lancéolée. Leur limbe, de couleur vert foncé et à surface brillante, est caractérisé par une marge fortement dentée.

Les dents foliaires sont recourbées en forme de crochet et se terminent par des hydatodes.

Ces structures spécialisées sont constituées d'un stomate aquifère associé à une chambre sous-stomatique contenant un tissu parenchymateux riche en eau, appelé épithème, dans lequel aboutissent les terminaisons des nervures foliaires.

Les hydatodes assurent l'élimination de l'eau enrichie en sels minéraux par un phénomène de guttation. Les feuilles mesurent généralement entre 5 et 14 cm de longueur et entre 1,9 et 5 cm de largeur.

Leur parenchyme contient de nombreuses sclérites qui participent au soutien mécanique des tissus. Contrairement à plusieurs autres espèces végétales, le genre *Camellia* ne possède pas d'appareil sécréteur spécialisé (Ross, 2005).

II.3. Procédés d'obtention des thés

II.3.1. La cueillette

La récolte des feuilles de thé peut être réalisée manuellement ou à l'aide de procédés mécaniques. Lors de la cueillette manuelle, les jeunes pousses sont prélevées entre le pouce et l'index puis déposées dans une hotte tressée destinée à leur transport (Mossion, 2007).

Bien que la récolte mécanisée permette d'obtenir un rendement supérieur et de réduire les coûts de production, elle entraîne généralement une diminution de la qualité du produit final en raison de l'absence de sélection précise des feuilles récoltées.

La qualité du thé dépend en effet du stade de développement des organes prélevés, qu'il s'agisse des bourgeons, des jeunes feuilles ou des feuilles plus âgées (Schwarz et Schweppe, 2008).

À l'extrémité des rameaux se développe un bourgeon recouvert d'un duvet blanchâtre appelé *pekoe*, terme chinois signifiant « duvet blanc ».

Ce bourgeon correspond à la jeune pousse encore enroulée sur elle-même et constitue la partie la plus recherchée pour la fabrication des thés de haute qualité.

Plus les feuilles sont prélevées vers la base du rameau, plus elles sont développées et plus les qualités organoleptiques de l'infusion diminuent.

Différents types de cueillette sont ainsi pratiqués selon le niveau de qualité recherché. La cueillette dite « impériale » consiste à récolter le *pekoe* accompagné d'une seule feuille, la cueillette « fine » comprend le *pekoe* et deux feuilles, tandis que la cueillette ordinaire associe le *pekoe* à trois feuilles ou davantage (Figure 1) (Fujihara *et al.*, 2007).

Il est estimé qu'environ 30 kg de feuilles fraîches sont nécessaires pour produire 7 kg de thé manufacturé et qu'environ 1 200 jeunes pousses sont requises pour obtenir un kilogramme de thé commercialisable (Krieps, 2009).

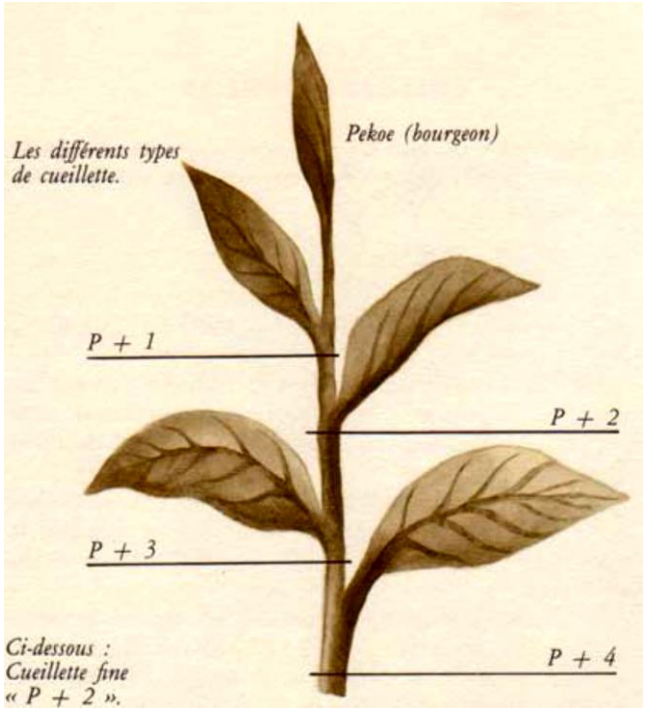


Figure 1 . Les différentes cueillettes du thé (Becaud, 2004)

P : pekoe , P + 1 feuille, P + 2 feuilles, P + 3 feuilles, P + 4 feuilles

II.3.2. Les types des thés

Après la récolte, les feuilles de thé sont rapidement transportées vers les unités de transformation où se déroulent les différentes étapes de fabrication du produit final. Toutes les variétés de thé proviennent de la même espèce végétale, *Camellia sinensis* ; ainsi, les différences observées entre les divers types de thé résultent essentiellement des procédés technologiques appliqués aux feuilles après la cueillette. Les opérations de transformation, qui comprennent notamment le flétrissage, l'oxydation, la fixation, le roulage et le séchage, déterminent les caractéristiques organoleptiques, chimiques et sensorielles du produit obtenu (Figure 2) (Gaboury, 2014).

Selon le degré de transformation et les procédés mis en œuvre, six grandes catégories de thé sont généralement distinguées en fonction de leur couleur et de leurs caractéristiques spécifiques : le thé noir, le thé vert, le thé blanc, le thé jaune, le thé bleu-vert ou oolong, et le thé sombre ou post-fermenté (Julien, 2013).

À ces catégories principales s'ajoutent les thés retraités ou transformés secondairement, obtenus par l'incorporation d'arômes, de fleurs ou par l'application de traitements complémentaires destinés à modifier ou à enrichir leurs propriétés sensorielles (Chen, 2014).

Les thés commerciaux sont classés en thé vert, noir, blanc, Oolong et thé sombre, selon le degré d'oxydation enzymatique des feuilles. Des travaux récents confirment que ces différences

technologiques influencent directement la composition en polyphénols et donc les propriétés biologiques du produit final (Kumar et *al*., 2025) . Les études actuelles montrent également que les procédés d'oxydation modifient la biodisponibilité des catéchines et la formation de dérivés tels que les théaflavines et théarubigines, particulièrement dans le thé noir (Yang et *al.*, 2025)

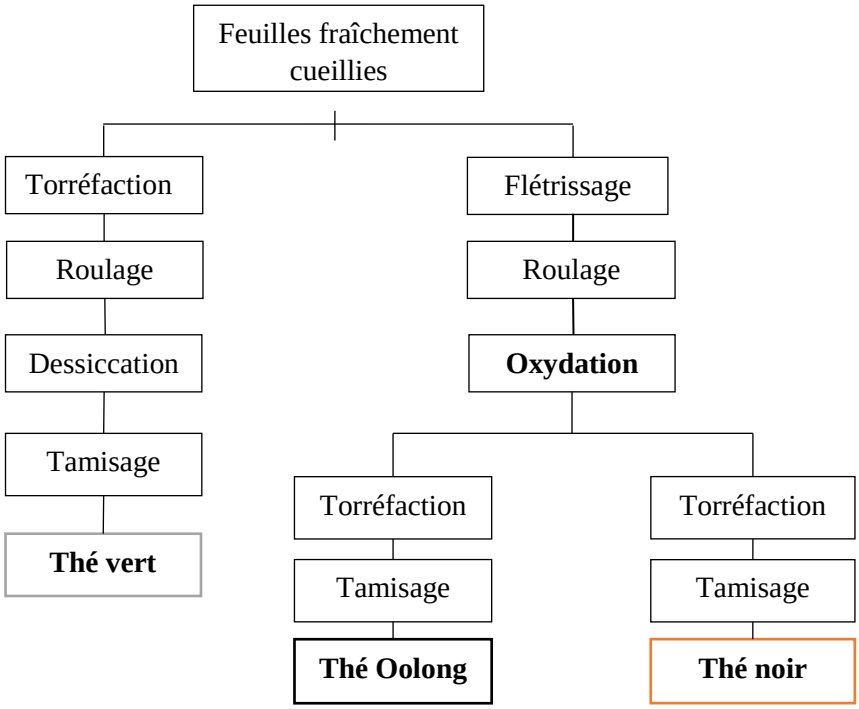


Figure 2. Principales étapes du traitement des feuilles de théier après récolte (Mossion, 2007)

II.3.2.1. Les thés blancs

Les thés blancs (Figure 3) proviennent de récoltes particulièrement sélectives, constituées essentiellement de bourgeons, notamment dans les grades les plus nobles. Ils correspondent aux thés subissant le minimum de transformations post-récolte. Après la cueillette, les feuilles sont simplement séchées de manière naturelle ou à l'aide d'une ventilation contrôlée afin de réduire progressivement leur teneur en humidité. Ce procédé limité permet de préserver les composés bioactifs de la feuille. La liqueur obtenue est caractérisée par une faible astringence, un goût rafraîchissant et une teneur réduite en caféine (Dow, 2014).

II.3.2.2. Les thés verts

Les thés verts sont principalement produits en Chine et au Japon, où l'on recense plus de 1 500 variétés. Ils constituent une catégorie largement consommée en Asie. Après la récolte, les feuilles fraîches subissent un traitement de dessiccation rapide visant à inhiber l'activité enzymatique responsable de l'oxydation (Figure 3). Cette absence d'oxydation permet de conserver la couleur verte des feuilles et favorise la préservation des composés phénoliques,

notamment les tanins, contribuant ainsi à un goût végétal marqué de l'infusion (Kharevich, 2016).

II.3.2.3. Les thés jaunes

Les thés jaunes (Figure 3) représentent une catégorie plus rare et intermédiaire. Leur élaboration repose sur une légère oxydation contrôlée, réalisée par étouffement des feuilles encore chaudes après la phase de dessiccation, souvent recouvertes d'un linge humide. Ce procédé induit une activité enzymatique modérée responsable d'une transformation partielle des composés phénoliques, conférant aux feuilles une coloration jaunâtre ainsi qu'une teinte similaire de l'infusion (Chartier, 2016).

II.3.2.4. Les thés oolong

Les thés oolong constituent une catégorie de thés dits semi-oxydés, et non semi-fermentés comme parfois mentionné de manière inexacte. Leur degré d'oxydation, variable entre 10 % et 70 %, résulte d'un processus technologique complexe, rigoureusement contrôlé par les producteurs afin d'obtenir des profils aromatiques spécifiques. Le terme « oolong », ou « Wu Long », signifie littéralement « dragon noir » en chinois, en référence à l'aspect sombre que peuvent prendre les feuilles lors du séchage (Figure 3). Ces thés sont également désignés sous le nom de thés bleu-vert en raison de la teinte particulière de leur infusion (Xavier Delmas, 2016).

II.3.2.5. Les thés noirs

Les thés noirs correspondent à des thés entièrement oxydés (Chen, 2014). Leur fabrication implique une oxydation complète des feuilles, entraînant leur brunissement foncé. La dénomination varie selon les traditions culturelles : dans les pays occidentaux, ils sont appelés thés noirs en référence à la couleur sombre des feuilles oxydées (Figure 3), tandis qu'en Chine, ils sont désignés comme thés rouges en raison de la teinte cuivrée caractéristique de leur infusion (Dow, 2014).

II.3.2.6. Les thés sombres

Les thés sombres, également appelés Pu Er (Figure 3) ou thés post-fermentés, constituent une catégorie spécifique de thés soumis à un processus de maturation prolongée. Ils peuvent être présentés sous forme de vrac ou de galettes compressées, et être élaborés selon des procédés de vieillissement naturel en cave ou de maturation accélérée. Ce processus de post-fermentation permet le développement progressif d'arômes particuliers, allant de notes boisées à des nuances animales. Le Pu Er représente une catégorie unique, car il est le seul type de thé susceptible de s'améliorer avec le temps (Julien, 2013).



Figure 3 . Les différents types du thé **(Julien, 2013)**

II. Composition chimique de la feuille de thé

De nombreuses propriétés sont attribuées à la consommation du thé, ce qui justifie l'intérêt porté à l'étude de sa composition en constituants organiques et minéraux à l'origine de ses effets biologiques (Krieps, 2009). Les feuilles de thé renferment naturellement une grande diversité de composés chimiques, qui peuvent évoluer et se transformer au cours des différentes étapes de traitement, conduisant à la formation de nouveaux composés et de complexes moléculaires (Jean, 2014). Lors de l'infusion, les propriétés sensorielles du thé sont liées à la libération de composés volatils et non volatils responsables de l'arôme, de la saveur et de la couleur de la boisson (Jean, 2014). À l'état frais, les feuilles de thé présentent approximativement 36 % de polyphénols, 25 % de glucides, 15 % de protéines, 6,5 % de lignines, 4 % d'acides aminés, 2 % de lipides, 1,5 % d'acides organiques, 0,5 % de pigments chlorophylliens et caroténoïdes, ainsi qu'une fraction inférieure à 0,1 % de composés volatils, en plus d'environ 3 % de substances minérales (Luczaj et Skrzydlewska, 2005).

Les constituants de la paroi cellulaire représentent à eux seuls près de 45 % de la matière sèche des feuilles (Mossion, 2007). La composition chimique varie en fonction des conditions environnementales, des saisons et du degré de maturation des feuilles (Klegou, 2005).

Par ailleurs, les procédés de transformation influencent fortement la teneur en composés bioactifs, notamment entre thé vert et thé noir : le thé noir présente une teneur réduite en catéchines par rapport au thé vert, tandis que le thé oolong contient des formes intermédiaires de polyphénols partiellement transformés (Parmar *et al.*, 2012).

En complément, la feuille de thé est également une source importante d'alcaloïdes, principalement la caféine, ainsi que d'acides aminés tels que la L-théanine. Ces composés

jouent un rôle majeur dans les effets neurophysiologiques du thé, notamment sur la vigilance, la relaxation et la modulation du stress. Des études récentes montrent que l'interaction entre la caféine et la L-théanine améliore les performances cognitives, la concentration et l'attention soutenue, tout en réduisant les effets indésirables liés à une stimulation excessive (Zhao et *al.*, 2021 ; Chen et *al*., 2023).

Par ailleurs, la fraction minérale des feuilles de thé comprend divers éléments essentiels tels que le potassium, le calcium, le magnésium, le manganèse et le fluor. Bien que certains de ces éléments soient bénéfiques pour l'organisme, leur accumulation peut présenter des risques en cas de consommation excessive et prolongée, notamment pour le fluor et le manganèse. Des évaluations récentes en sécurité alimentaire soulignent la nécessité d'un contrôle des apports liés à la consommation régulière de thé, en particulier dans les populations à forte consommation (Li et *al.*, 2022).

Les enzymes endogènes, notamment la polyphénol oxydase et la peroxydase, jouent un rôle déterminant dans les transformations biochimiques post-récolte des feuilles de thé. Elles catalysent l'oxydation des catéchines en théaflavines et théarubigines, composés responsables de la couleur et de la structure gustative du thé noir. Des recherches récentes en chimie alimentaire ont confirmé que le contrôle de l'activité enzymatique durant la fermentation permet d'orienter le profil polyphénolique final et d'optimiser les propriétés antioxydantes du produit fini (Wang et *al*., 2022 ; Li et *al*., 2023).

Enfin, des études émergentes mettent en évidence le rôle du thé dans la modulation du microbiote intestinal. Les polyphénols non absorbés sont métabolisés par la flore intestinale en composés bioactifs secondaires capables d'exercer des effets anti-inflammatoires et antioxydants systémiques. Ces interactions entre composés du thé et microbiote renforcent l'hypothèse selon laquelle les effets bénéfiques du thé ne dépendent pas uniquement des molécules natives, mais également de leurs métabolites issus de la biotransformation intestinale (Zhang et *al*., 2024).

III.1. Polyphénols

Les polyphénols constituent une large famille de métabolites secondaires largement répandus dans le règne végétal (Dai et Mumper, 2010).

Ils se caractérisent par la présence de multiples groupements phénoliques organisés en structures plus ou moins complexes (Julien, 2013).

Dans la feuille de thé, ils représentent les principaux constituants biochimiques (Garel, 2006). Leur concentration est plus élevée dans les jeunes feuilles et les bourgeons, puis diminue

progressivement dans les feuilles plus âgées situées en position inférieure et moins exposées à la lumière (Jean, 2014).

Les polyphénols suscitent un intérêt croissant en raison de leurs propriétés antioxydantes, impliquées dans la prévention de diverses pathologies telles que les cancers, les maladies inflammatoires, cardiovasculaires et neurodégénératives. Ils sont également valorisés dans les secteurs agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique en tant que composés bioactifs et additifs naturels (Julien, 2013).

Les feuilles de thé sont riches en composés phénoliques, principalement les catéchines, qui représentent une fraction importante de la matière sèche. Les études récentes confirment que les catéchines, en particulier l'EGCG, possèdent une forte activité antioxydante et interagissent avec de nombreuses voies cellulaires impliquées dans la prévention des maladies chroniques (Ayele et *al.,* 2025) . Par ailleurs, les flavonoïdes du thé présentent une activité multi-cible, agissant sur plusieurs protéines impliquées dans les maladies cardiovasculaires et inflammatoires (Fujisaki et *al*., 2026)

III.2. Alcaloïdes

Les alcaloïdes présents dans le thé sont principalement représentés par la caféine, ainsi que par des molécules apparentées telles que la théobromine et la théophylline. Ces composés sont synthétisés par le théier comme mécanisme de défense naturel contre les insectes et autres herbivores. Ils contribuent également à l'amertume caractéristique de l'infusion (Jean, 2014). Sur le plan quantitatif, le thé noir présente généralement une teneur légèrement supérieure en caféine par rapport au thé vert, en raison notamment des processus de flétrissage et de concentration relatifs aux pertes hydriques lors de sa fabrication (Montseren, 1999).

Des études récentes montrent que la caféine du thé possède une biodisponibilité modulée par la matrice végétale, ce qui influence sa vitesse d'absorption et ses effets physiologiques par rapport à la caféine du café. En effet, la présence simultanée de polyphénols et de L-théanine ralentit l'absorption intestinale et prolonge les effets stimulants sans provoquer de pics brusques d'excitation du système nerveux central (Hodgson et *al*., 2021 ; Nawrot et al., 2022). Cette spécificité confère au thé un profil pharmacologique plus doux et plus durable.

Par ailleurs, la caféine et les alcaloïdes associés exercent des effets importants sur le système cardiovasculaire et le métabolisme énergétique. Des travaux récents indiquent qu'une consommation modérée de thé peut améliorer la vigilance, augmenter légèrement la thermogenèse et favoriser l'oxydation des lipides, ce qui en fait un composé d'intérêt dans la prévention de certains désordres métaboliques (Choi et *al*., 2023). Toutefois, ces effets dépendent fortement de la dose ingérée et de la sensibilité individuelle.

En outre, des recherches en neurobiologie ont mis en évidence que la caféine agit principalement en bloquant les récepteurs de l'adénosine, ce qui réduit la sensation de fatigue et améliore la concentration. Cependant, contrairement à d'autres sources de caféine, le thé contient des composés modulateurs qui atténuent les effets secondaires tels que l'anxiété ou l'irritabilité. Cette synergie moléculaire est aujourd'hui largement étudiée dans le cadre des boissons fonctionnelles (Smith et *al*., 2023 ; Zhao et *al*., 2024).

Enfin, la variabilité de la teneur en alcaloïdes dépend fortement de plusieurs facteurs agronomiques et technologiques, notamment la variété du théier, l'altitude de culture, les conditions climatiques ainsi que les procédés de transformation. Les études récentes en agrochimie indiquent que les pratiques culturales durables et les stress abiotiques modérés peuvent augmenter la biosynthèse de la caféine, en lien avec les mécanismes de défense de la plante (Kumar et *al*., 2022 ; Li et *al*., 2023).

III.3. Vitamines

Le thé constitue une source de vitamines appartenant principalement au groupe B, notamment la thiamine (B1), la riboflavine (B2) et la niacine (B3) (Tableau 1). Le thé vert contient également des quantités significatives de vitamine C, tandis que l'infusion de thé renferme la vitamine P, reconnue pour son rôle dans l'amélioration de la perméabilité capillaire et de l'élasticité vasculaire (Nookabkaew *et al.*, 2006).

De manière générale, le thé vert est plus riche en vitamine C que le thé noir, la fermentation ainsi que les températures élevées (supérieures à 30 °C) entraînant une dégradation importante de cette vitamine (Garel, 2006).

Tableau 1 . Composition de la feuille de thé en vitamines du groupe B (Garel, 2006)

Quantité en microgrammes (µg) par 100 g de feuille de thé noir, vert et oolong	
Thiamine (vitamine B1)	135
Riboflavine (vitamine B2)	1266
Niacine (vitamine B3)	7500
Acide panthoténique (vitamine B5)	1260
Inositol (vitamine B7)	1000
Biotine (vitamine B8)	82,5
Acide folique (vitamine B9)	76

III.4. Compositions minérales

L'analyse de feuilles de thé issues de différentes origines géographiques a révélé la présence d'au moins quarante éléments minéraux distincts, dont les concentrations varient de l'ordre du nanogramme au milligramme par gramme de matière sèche (Mossion, 2007). L'élément majoritaire est le potassium, présent à des teneurs proches de 20 mg g^{-1} (Klegou, 2005), suivi du calcium, du magnésium, de l'aluminium, du manganèse et du fer. Les oligo-éléments tels que le zinc, le cuivre et le nickel sont retrouvés à des concentrations de l'ordre du µg g^{-1}. Par ailleurs, les feuilles de thé contiennent divers anions minéraux, notamment les fluorures, chlorures, sulfates et phosphates, dont les concentrations sont respectivement estimées à environ 2 mg L^{-1}, 20 mg L^{-1}, 30 mg L^{-1} et 20 mg L^{-1} (Mossion, 2007).

III.5. Acides aminés

La feuille de thé renferme une vingtaine d'acides aminés, représentant environ 4 % de sa composition globale. Ces composés jouent un rôle essentiel dans le développement des caractéristiques aromatiques de l'infusion. Parmi les acides aminés majoritaires figurent la théanine, l'acide glutamique, l'acide aspartique et l'arginine (Fillon, 2014). La théanine est particulièrement importante car elle est associée au goût umami des thés verts japonais et contribue également à réduire l'amertume de la boisson (Julien, 2013). Par ailleurs, les enzymes endogènes du théier participent aux processus biochimiques de transformation des feuilles lors de la fabrication du thé. Parmi elles, la polyphénol oxydase (PPO), impliquée dans l'oxydation des polyphénols, et la peroxydase (POD), qui intervient dans l'élimination du peroxyde d'hydrogène et des peroxydes organiques (Fillon, 2014).

III.6. Glucides

Les feuilles de thé contiennent environ 25 à 30 % de glucides, dont près d'un tiers sous forme de cellulose structurale. Seule une fraction d'environ 5 % de ces glucides est soluble et transférée dans l'infusion, contribuant faiblement à la valeur nutritionnelle de la boisson. L'aspect brillant observé sur certaines feuilles de thé est lié à la formation d'un film protecteur durant le séchage, résultant de la transformation enzymatique des pectines en acides pectiques sous l'action de la pectinase (Garel, 2006).

III.7. Lipides

La teneur en lipides des feuilles de thé varie globalement entre 4 et 16,5 %, avec une composition lipidique dépendant fortement de l'âge de la feuille. Les jeunes feuilles sont particulièrement riches en phosphatidyléthanolamine et en phosphatidylcholine, tandis que les feuilles plus âgées présentent une accumulation de mono- et digalactosylglycérides. La

dégradation des lipides, en interaction avec d'autres constituants biochimiques, contribue à la formation des composés aromatiques caractéristiques du thé noir (Krieps, 2009).

III.8. Huiles essentielles

Au cours du processus de fermentation, la feuille de thé génère une fraction d'huiles essentielles représentant environ 0,01 à 0,02 % de la composition chimique totale. Malgré cette faible proportion, ces composés jouent un rôle déterminant dans le développement des propriétés aromatiques et gustatives du thé (Bruneton, 1999). La transformation des catéchines du thé noir conduit à la formation de composés volatils appartenant notamment aux familles des alcools, cétones et aldéhydes monoterpéniques, tels que le linalol, le géraniol, l'eugénol, le jasmonal, le menthol et le thymol (Ross, 2005).

III.9. Caroténoïdes

Quatorze caroténoïdes, pigments liposolubles de couleur jaune à orangée appartenant à la famille des tétraterpènes, ont été identifiés principalement dans les feuilles âgées de théier. Bien que leur concentration soit relativement faible par rapport à la composition globale de la feuille, ils participent aux processus d'oxydation impliqués dans le développement des arômes du thé noir (Garel, 2006).

IV. Propriétés d'un bon thé

La qualité d'un bon thé repose sur quatre paramètres fondamentaux (Julien, 2013) :

IV.1. Quantité de thé

Un dosage excessif de feuilles peut entraîner une infusion trop astringente et amère, tandis qu'un dosage insuffisant produit une boisson fade et sans intérêt organoleptique. La quantité optimale dépend du type de thé et de la méthode de préparation, mais une valeur de référence couramment admise est d'environ 1,5 g de thé pour 10 cl d'eau.

IV.2. Température de l'eau

Une température trop élevée peut altérer les composés aromatiques des feuilles et favoriser l'extraction de substances amères. Chaque type de thé nécessite ainsi une température d'infusion spécifique (Tableau 2), généralement inférieure ou égale à 90 °C afin de préserver ses qualités sensorielles.

IV.3. Qualité de l'eau

Étant donné que l'infusion de thé est constituée à environ 99 % d'eau, sa qualité est déterminante. Une eau idéale pour l'infusion doit être faiblement minéralisée, peu calcaire et présenter de faibles concentrations en sodium, bicarbonates et sulfates, afin de ne pas interférer avec l'extraction des composés du thé.

IV.4. Temps d'infusion

La durée d'infusion constitue un paramètre critique influençant directement les propriétés organoleptiques de la boisson obtenue. Chaque catégorie de thé possède une durée d'extraction optimale spécifique (Tableau 2), au-delà de laquelle une sur extraction peut altérer l'équilibre gustatif et augmenter l'amertume.

Tableau 2 . La table d'infusion récapitule les temps et les températures d'infusion par types de thé (Julien, 2013 ; Xavier Delmas et Minet, 2016)

Type de thé	Température de l'eau	Temps d'infusion	Moment de la journée
Thé noir	90°C	4 à 5 min	matin, après-midi
Thé vert chinois	70 à 80°C	2 à 3 min	journée
Thé vert japonais	60 à 70°C	1 à 2 min	matin, journée
Thé blanc / jaune	80°C	5 à 10 min	journée
Thé oolong	90 à 95°C	5 à 7 min	journée, soir
Pu Er	90 à 95°C	4 à 5 min	après-midi, soir

V. Les bienfaits du thé

Le thé, en particulier le thé vert, est reconnu depuis longtemps à l'échelle mondiale pour ses propriétés biologiques et médicinales potentielles (Sharangi, 2009). En Chine, son utilisation est profondément intégrée à la médecine traditionnelle, notamment à travers la pharmacopée chinoise, où il est considéré comme une substance à valeur thérapeutique et préventive (Julien, 2013). Les différentes variétés de thé présentent des effets biologiques spécifiques, étroitement liés à leur composition chimique et à leur degré de transformation.

Ainsi, le thé blanc est traditionnellement utilisé pour ses propriétés antimicrobiennes, antivirales et antifongiques. Le thé vert est associé à des effets bénéfiques sur le système cardiovasculaire et la fertilité, tout en exerçant des propriétés anti-inflammatoires et immunomodulatrices. Le thé noir est recommandé pour le soutien des fonctions cardiovasculaires et respiratoires, et possède également un effet stimulant sur le système nerveux central. Le thé oolong est principalement reconnu pour ses propriétés apaisantes, tandis que le thé Pu Er est utilisé pour faciliter la digestion et contribuer à la réduction du cholestérol sanguin.

Le thé (*Camellia sinensis*) constitue aujourd'hui l'une des boissons fonctionnelles les plus consommées au monde après l'eau. Les recherches scientifiques récentes confirment son importance nutritionnelle et pharmacologique, principalement attribuée à sa richesse en

composés bioactifs, notamment les polyphénols, associés à des effets antioxydants, anti-inflammatoires et métaboliques (Kumar et *al*., 2025). De plus, des travaux récents soulignent que la diversité chimique du thé, liée à ses différents procédés de transformation, explique la multiplicité de ses effets biologiques et son intérêt croissant dans le domaine de la nutrition préventive et des aliments fonctionnels **(**Piyasena et *al*., 2026).

V.1. Le thé et la prévention des maladies

De nombreuses études expérimentales et épidémiologiques ont mis en évidence le potentiel du thé dans la prévention de diverses pathologies. Il est notamment associé à une activité anticancéreuse (Nurulain, 2005), à une action favorable sur la régulation du poids corporel et la réduction de l'obésité (Parmar et al., 2012), ainsi qu'à une amélioration du syndrome métabolique (Fillon, 2014).

Des effets protecteurs ont également été rapportés dans la prévention du diabète (Souter, 2013), des maladies cardiovasculaires (Kulbersh, 2014), des troubles neurologiques et d'autres maladies chroniques (Chen, 2014).

Les recherches récentes confirment que la consommation régulière de thé est associée à une diminution du risque de maladies chroniques, notamment cardiovasculaires, neurodégénératives et métaboliques. Les polyphénols du thé agissent comme modulateurs du stress oxydatif et de l'inflammation cellulaire, contribuant à la protection vasculaire et neuronale (Zhang et *al*., 2025a)

V.2. Effets néfastes du thé

Malgré ses nombreux effets bénéfiques, une consommation excessive de thé peut entraîner certains effets indésirables sur la santé. Plusieurs études ont montré que les polyphénols du thé, notamment les tanins et les catéchines, peuvent réduire l'absorption intestinale du fer non héminique en formant des complexes insolubles dans le tractus digestif, ce qui peut aggraver les états de carence martiale, en particulier chez les personnes vulnérables telles que les individus anémiques, les femmes enceintes et les sujets ayant une alimentation pauvre en fer biodisponible (Zhang et al., 2025 ; Chen, 2014).

Par ailleurs, la consommation régulière de thé peut contribuer à des effets esthétiques indésirables, notamment la coloration extrinsèque et le jaunissement des dents. Ce phénomène est principalement lié à l'interaction des polyphénols et de certains minéraux présents dans l'eau d'infusion avec l'émail dentaire, favorisant une pigmentation progressive des surfaces dentaires (Chen, 2014).

Enfin, bien que la caféine du thé soit généralement moins concentrée et moins stimulante que celle du café, une consommation excessive peut entraîner des effets neurophysiologiques et

cardiovasculaires indésirables, tels que l'insomnie, les palpitations et l'anxiété. Ces effets restent dose-dépendants et varient selon la sensibilité individuelle et le métabolisme de la caféine.Ainsi, le thé demeure une boisson fonctionnelle bénéfique, mais dont la consommation doit rester modérée afin de limiter les effets secondaires liés principalement à ses polyphénols et à sa teneur en caféine (Zhang et *al*., 2025b ; Chen, 2014).

I. Les polyphénols

I.1. Généralités

Les polyphénols, également appelés composés phénoliques, constituent une vaste famille de métabolites secondaires spécifiques du règne végétal (Mompon et *al*., 1996 ; He et *al*., 2008). Ils sont présents dans l'ensemble des organes de la plante, depuis les racines jusqu'aux fruits. Bien qu'ils ne soient pas strictement indispensables à la survie immédiate du végétal, ils jouent un rôle essentiel dans les interactions plante–environnement, contribuant à l'adaptation et à la protection de l'organisme dans son écosystème (Richter, 1993).

Le terme « polyphénols » regroupe environ 10 000 composés naturels identifiés (Martin et Andriant, 2002 ; Druzynka et *al*., 2007).

Leur caractéristique structurale principale repose sur la présence d'au moins un noyau phénolique à six carbones, portant un ou plusieurs groupements hydroxyles libres ou engagés dans des fonctions dérivées telles que éthers, esters ou hétérosides (Balasundram et al., 2006 ; Bruneton, 2008).

Des études récentes ont montré que les polyphénols ne jouent pas uniquement un rôle défensif chez les plantes, mais participent également à la signalisation intercellulaire et à la régulation de la croissance végétale. Ils interviennent dans la modulation des réponses aux stress abiotiques tels que la sécheresse, la salinité et les rayonnements UV, en agissant comme molécules antioxydantes et photoprotectrices (Agati et *al*., 2020 ; Shah & Smith, 2022). Cette multifonctionnalité explique leur forte variabilité en fonction des conditions environnementales.

Par ailleurs, les progrès récents en métabolomique ont permis d'identifier de nouveaux dérivés phénoliques encore peu caractérisés, notamment dans les espèces médicinales et les cultures de thé. Ces analyses à haut débit montrent que la diversité réelle des polyphénols pourrait dépasser les estimations classiques, remettant en question les classifications anciennes fondées uniquement sur la structure chimique (Ghasemzadeh et *al*., 2023).

I.2. Origine des polyphénols

Les polyphénols sont largement distribués dans l'ensemble des tissus végétaux, notamment les racines, tiges, feuilles, fleurs et fruits. Sur le plan alimentaire, ils sont principalement apportés par les fruits et légumes, ainsi que par certaines boissons telles que le thé, le café et les jus de fruits, mais aussi par les céréales, les graines oléagineuses et les légumes secs. Les fruits et légumes contribuent approximativement à 50 % de l'apport alimentaire en polyphénols, tandis que les boissons, en particulier le thé et le café, en constituent une part importante du reste (Middleton et *al*., 2000).

La composition en polyphénols varie fortement selon les aliments : les petits fruits sont riches en acides phénoliques, comme la myrtille ; les flavonols sont présents principalement dans l'oignon, la pomme, le brocoli, les haricots verts, le chou et le thé ; les flavanones dominent dans les agrumes ; les isoflavones sont caractéristiques du soja ; les flavanols se retrouvent notamment dans le thé ; les anthocyanes sont abondantes dans les fruits et légumes colorés rouges ou bleus ; et les proanthocyanidines sont présentes dans divers fruits et boissons telles que le thé, le vin, le cidre et le chocolat (Edeas, 2007).

Des recherches nutritionnelles récentes ont mis en évidence que la biodisponibilité des polyphénols alimentaires est généralement faible et fortement influencée par le microbiote intestinal. Celui-ci transforme les composés phénoliques en métabolites bioactifs capables d'exercer des effets systémiques plus puissants que les molécules d'origine (Tomás-Barberán et *al*., 2022 ; Zhang et *al*., 2024). Cette interaction explique en partie la variabilité des effets biologiques observés entre individus.

I.3. Classification des polyphénols

La classification des polyphénols repose principalement sur leur structure chimique, le nombre de noyaux aromatiques et la nature des liaisons inter-nucléaires. On distingue globalement deux grandes catégories : les composés phénoliques simples et les composés phénoliques complexes (Clifford, 1999).

Les approches modernes de classification intègrent désormais des critères fonctionnels et biologiques, en plus des critères structuraux. Ainsi, les polyphénols sont également classés selon leur activité antioxydante, leur biodisponibilité et leur rôle physiologique chez l'humain, ce qui permet une meilleure compréhension de leurs effets santé (Scalbert et *al*., 2021).

I.3.1. Polyphénols simples

Les polyphénols simples regroupent plusieurs sous-classes de molécules. Les acides phénoliques sont des composés organiques caractérisés par la présence d'au moins une fonction carboxylique et un groupement hydroxyle phénolique ; ils se divisent en dérivés de l'acide hydroxybenzoïque et de l'acide hydroxycinnamique (Bruneton, 2008).

Les flavonoïdes constituent une famille majeure possédant une structure de base en C6–C3–C6, formée de deux noyaux aromatiques reliés par un hétérocycle de type pyrane (Ghedira, 2005).

Ils représentent les composés phénoliques les plus abondants et interviennent dans la pigmentation des fleurs ainsi que dans les mécanismes de défense contre les rayonnements UV, les herbivores et les agents pathogènes (Crozier, 2003). Les lignanes sont formés de deux unités de phénylpropane, correspondant à une structure (C6–C3)2 (Crozier, 2003).

Les stilbènes possèdent une structure de type C6–C2–C6 (Boros et *al*., 2010).

Enfin, les alcools phénoliques sont des composés organiques caractérisés par la présence simultanée d'une fonction alcool aliphatique et d'un groupement hydroxyle phénolique ; parmi eux, le tyrosol et l'hydroxytyrosol sont les principaux représentants, particulièrement abondants dans l'olive, sous forme libre ou liée à l'acide élénolique (Micol et *al*., 2005 ; Silva et *al*., 2010).

Des travaux récents en chimie alimentaire ont montré que certains polyphénols simples peuvent agir comme précurseurs de polymérisation oxydative, conduisant à la formation de composés complexes lors du traitement thermique ou enzymatique des aliments. Ce phénomène est particulièrement important dans les boissons comme le thé et le vin (Li et *a*l., 2023 ; Wang et *al*., 2022).

I.3.2. Polyphénols complexes

Les polyphénols complexes comprennent principalement les tanins et les lignines. Les tanins constituent une classe importante de polyphénols localisés dans les vacuoles cellulaires (Aguilera et *al.*, 2008). Historiquement, ils sont définis comme des composés capables de se lier aux protéines, propriété à l'origine de leur utilisation dans le tannage du cuir (Paris et Hurabeillen, 1981).

Sur le plan structural, ils sont divisés en deux groupes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Linden et Lorient, 1994).

Les tanins hydrolysables sont des esters du D-glucose et de l'acide gallique ou de ses dérivés, notamment l'acide ellagique, et peuvent être hydrolysés par voie chimique ou enzymatique, en particulier par la tannase (Cowan, 1999 ; O'Connell et Fox, 2001).

Les tanins condensés, également appelés proanthocyanidines, sont des polymères d'unités flavaniques reliées par des liaisons C4–C8 ou C4–C6 (Bruyne et *al*., 1999 ; O'Connell et Fox, 2001).

Enfin, les lignines sont des polymères complexes constitués d'unités de phénylpropane (Boros et *al*., 2010).

Des recherches récentes indiquent que les tanins jouent également un rôle clé dans les interactions plante–microorganismes du sol, en influençant la biodiversité microbienne et la disponibilité des nutriments. Ils peuvent ainsi contribuer indirectement à la fertilité des sols et à la résilience des écosystèmes agricoles (Anderson et *al*., 2021 ; Kumar et *al.*, 2023).

Tableau 3 . Les différentes classes des composés phénoliques (Kluth *et al*., 2007)

<table>
<tr><th>Classes</th><th colspan="3">Sous-classes</th><th>Exemple de composée</th></tr>
<tr><td rowspan="9">Flavonoïdes</td><td colspan="3">Flavanones</td><td>Naringénine</td></tr>
<tr><td colspan="3">Flavones</td><td>Lutéoliine</td></tr>
<tr><td colspan="3">Iso flavonoïdes</td><td>Glabridine</td></tr>
<tr><td colspan="3">Flavonols</td><td>Quércétine, Myricétine</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Flavanols</td><td colspan="2" rowspan="2">Monomères</td><td>Constitué de Catéchine</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Constitué de sous-unités catéchine ou épicatéchine</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Polymères (Tannins)</td><td>Condensés</td></tr>
<tr><td>Hydrolysables</td><td>Constitué d’acide gallique</td></tr>
<tr><td colspan="3">Anthocyanines</td><td>Cyanidine</td></tr>
<tr><td colspan="3">Chalcones</td><td>Butéine</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Non-Flavonoïdes</td><td colspan="3">Acides phénolique</td><td>Acide gallique, Eugénol</td></tr>
<tr><td colspan="3">Stilbénes</td><td>Trans resvératols</td></tr>
<tr><td colspan="3">Lignanes</td><td>Magnolol, Honokiol</td></tr>
<tr><td colspan="3">Coumarines</td><td>Collinine, Lacinartine</td></tr>
</table>

II. Biosynthèse des composés phénoliques

Les composés phénoliques résultent principalement de deux grandes voies métaboliques végétales : la voie de l’acide shikimique et la voie de l’acétate/malonate.

II.1. Voie de l’acide shikimique

La voie de l’acide shikimique constitue la principale voie de biosynthèse des composés aromatiques chez les plantes et les micro-organismes. Elle permet notamment la formation des acides aminés aromatiques essentiels tels que la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane. Ces acides aminés, issus du métabolisme primaire, servent ensuite de précurseurs à la synthèse d’un large ensemble de métabolites secondaires, dont les flavonoïdes, les acides phénoliques, les coumarines et certains alcaloïdes (Ghasemzadeh et *al*., 2011).

Des études récentes ont montré que la voie du shikimate est fortement régulée par les conditions environnementales, notamment le stress lumineux, hydrique et salin. Ces facteurs induisent une surexpression des enzymes clés telles que la chorismate synthase, entraînant une augmentation significative de la production de polyphénols chez les plantes médicinales et le théier (Li et *al*.,

2023 ; Shah et Smith, 2022). Cette régulation adaptative explique la variabilité des teneurs en composés phénoliques selon les régions de culture.

Par ailleurs, des approches de biologie moléculaire ont permis d'identifier plusieurs gènes impliqués dans la régulation fine de cette voie, ouvrant la voie à l'amélioration génétique des plantes à haute teneur en polyphénols (Ghasemzadeh et *al*., 2023).

II.2. Voie de l'acétate/malonate

La voie de l'acétate/malonate est issue du métabolisme central, notamment de la glycolyse et de la β-oxydation, conduisant à la formation d'acétyl-CoA puis de malonyl-CoA. Cette voie est impliquée dans la synthèse de composés phénoliques par condensation successive d'unités acétate, conduisant à la formation de chaînes polycétoniques. Le processus de cyclisation de ces chaînes est assuré par des réactions de carboxylation de l'acétyl-CoA, catalysées par l'enzyme acétyl-CoA carboxylase (Akroum, 2010).

Des travaux récents en biochimie végétale ont montré que la voie acétate/malonate joue un rôle central dans la formation des flavonoïdes complexes et des pigments anthocyaniques, notamment chez les plantes exposées à un stress oxydatif élevé. Cette voie est également fortement couplée au métabolisme énergétique cellulaire, reliant ainsi la disponibilité en sucres à la biosynthèse des polyphénols (Wang et *al*., 2022).

III. Les polyphénols et la protection contre les maladies

Les polyphénols se distinguent par leur puissante activité antioxydante. Ils sont capables de neutraliser les radicaux libres et de moduler l'activité d'autres systèmes antioxydants endogènes. Cette action contribue à rétablir l'équilibre entre radicaux libres bénéfiques et délétères, notamment l'oxyde nitrique, impliqué dans la régulation de la circulation sanguine, la coordination des réponses immunitaires et la communication neuronale (Akroum, 2010). Par ailleurs, les polyphénols peuvent agir sur les lipoprotéines sanguines, en particulier en limitant l'oxydation des LDL, souvent qualifiées de « mauvais cholestérol » (Descheemaker et *al.*, 2003). De nombreuses études épidémiologiques indiquent qu'une alimentation riche en polyphénols est associée à une réduction du risque de maladies chroniques (Néve, 2002).

Les recherches récentes en biologie redox montrent que les polyphénols n'agissent pas uniquement comme piégeurs de radicaux libres, mais également comme modulateurs des voies de signalisation cellulaire impliquées dans l'inflammation et l'apoptose. Cette double action explique leur intérêt croissant dans la prévention des maladies chroniques multifactorielle (Scalbert et *al*., 2021).

III.1. Polyphénols et cancer

Les polyphénols ont suscité un intérêt particulier dans le domaine de la prévention du cancer. Plusieurs travaux expérimentaux in vitro et in vivo suggèrent leur potentiel en tant qu'agents chimiopréventifs contre diverses pathologies cancéreuses (Stagos et *al*., 2012). Certaines études indiquent que des cancers tels que ceux du sein, de la prostate et du système digestif sont influencés par les habitudes alimentaires, notamment l'apport en lipides et en antioxydants. Par ailleurs, certains aliments riches en polyphénols, comme l'huile d'argan, pourraient contribuer à la réduction du risque de cancer de la prostate (Bennani et *al*., 2009).

Des données récentes issues de la biologie moléculaire montrent que les polyphénols peuvent inhiber la prolifération tumorale via la modulation de voies de signalisation telles que PI3K/Akt et MAPK, ainsi que par l'induction de l'apoptose programmée dans les cellules cancéreuses (Zhang et *al*., 2024).

III.2. Polyphénols et maladies cardiovasculaires

De nombreuses études épidémiologiques ont mis en évidence une relation inverse entre la consommation d'aliments riches en polyphénols et le risque de maladies cardiovasculaires (Visioli et *al*., 2000).

Ces composés inhibent l'oxydation des lipoprotéines de faible densité (LDL), limitant ainsi le développement de l'athérosclérose, caractérisée par un épaississement et un durcissement des parois artérielles. Ils réduisent également l'agrégation plaquettaire impliquée dans la formation de thrombus, diminuant ainsi le risque d'obstruction vasculaire et d'infarctus du myocarde (Akroum, 2010). Les flavonoïdes issus des fruits et légumes sont particulièrement associés à une diminution du risque cardiovasculaire. Certains polyphénols purifiés, tels que le resvératrol, la berbérine et la naringénine, ont également montré des effets favorables sur les désordres lipidiques dans des modèles expérimentaux et humains (Milvihill et *al*., 2010).

III.3. Polyphénols et inflammation

L'inflammation constitue une réponse biologique essentielle de l'organisme face à une agression, finement régulée afin de limiter les dommages tissulaires. Toutefois, une dérégulation de ce mécanisme peut conduire à un état inflammatoire chronique, impliqué dans de nombreuses pathologies telles que l'obésité, le diabète de type II, les maladies cardiovasculaires et certains cancers. Les polyphénols ont démontré leur capacité à réduire les marqueurs inflammatoires et à moduler plusieurs voies de signalisation impliquées dans le processus inflammatoire (Lenoir, 2011).

Des études récentes indiquent que certains flavonoïdes, notamment les flavonols, peuvent atténuer les douleurs musculaires en favorisant la réparation tissulaire. Ils agissent notamment par inhibition de l'enzyme NO synthase (NOS), réduisant ainsi la production d'oxyde nitrique

impliqué dans l'initiation de l'inflammation. D'autres flavonoïdes tels que la lutéoline, l'apigénine et la catéchine inhibent également la cyclo-oxygénase (COX), enzyme clé dans la synthèse des médiateurs inflammatoires (Scalbert et *al*., 2005).

Des travaux récents indiquent également que les polyphénols modulent le microbiote intestinal, réduisant indirectement les marqueurs inflammatoires systémiques et améliorant la réponse immunitaire globale (Tomás-Barberán et *al*., 2022).

III.4. Polyphénols et maladies neurodégénératives

Les maladies neurodégénératives, telles que les maladies d'Alzheimer et de Parkinson, constituent un enjeu majeur de santé publique lié au vieillissement de la population. Leur développement est associé à plusieurs mécanismes pathologiques, notamment le stress oxydatif, la neuro-inflammation, l'accumulation de fer et la diminution des systèmes antioxydants endogènes. Plusieurs études ont montré qu'une consommation régulière d'aliments riches en flavonoïdes est associée à une réduction significative du risque de déclin cognitif, à une amélioration des performances cérébrales et à un retard d'apparition des maladies neurodégénératives. Les flavonoïdes exerceraient leurs effets neuroprotecteurs par différents mécanismes, notamment la protection des neurones, l'amélioration de la fonction neuronale et la stimulation de la neurogenèse (Lenoir, 2011).

Des études expérimentales menées chez l'homme et l'animal ont également montré que la consommation de produits riches en polyphénols, tels que le raisin, le thé ou les baies, améliore les fonctions cognitives. Ces effets ne peuvent pas être expliqués uniquement par l'activité antioxydante, suggérant ainsi des mécanismes d'action plus complexes impliquant la modulation de la signalisation neuronale et du flux sanguin cérébral (Vauzour et *al*., 2010).

Des recherches récentes indiquent que certains polyphénols traversent la barrière hémato-encéphalique et exercent des effets directs sur les voies neuroprotectrices, notamment la réduction de l'agrégation des protéines bêta-amyloïdes impliquées dans la maladie d'Alzheimer (Zhang et *al*., 2024).

IV. Les polyphénols de thé

IV.1. Les flavonoïdes

Les principaux flavonoïdes du thé sont les flavanols et les flavonols

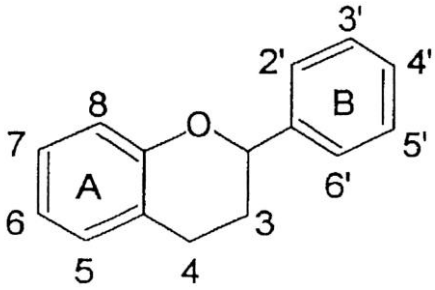


Figure 4. Structure de base des flavonoïdes (Balentine *et al*., 2000)

IV.1.1. Les flavanols

Les flavanols constituent la sous-famille la plus abondante des composés phénoliques du thé, représentant environ 25 % de la matière sèche de la drogue. Ils correspondent à des dérivés hydrosolubles principalement constitués de catéchines, également appelées flavan-3-ols, de nature incolore. Ces molécules sont localisées et stockées dans les vacuoles cellulaires des feuilles de thé (Banerjee et Chaudhuri, 2005).

Les flavanols sont les principaux responsables de la saveur âpre et astringente du thé. Leur forte hydrosolubilité facilite leur transfert de la feuille vers l'infusion lors de la préparation. Les différentes substitutions chimiques du squelette flavanolique (figure 4) sont à l'origine de quatre catéchines majeures (Reygaert, 2014) : le gallate d'épigallocatéchine (EGCg), représentant environ 59 % des catéchines totales, le gallate d'épicatéchine (ECg) (13,6 %), l'épigallocatéchine (EGC) (19 %) et l'épicatéchine (EC) (6,4 %).

Le préfixe « épi » indique la configuration β de l'hydrogène en position 3 du cycle, ce groupement hydroxyle conférant un caractère légèrement acide à la molécule (Mossion, 2007). Une autre propriété importante de cet hydroxyle en position 3 est sa capacité à être oxydé en quinone en présence d'oxygène (Mckenna et al., 2002), ce qui contribue fortement à l'activité antioxydante des catéchines, en particulier de l'EGCg et de l'ECg. Les feuilles fraîches de thé sont riches en EGC et EGCg, tandis que les processus de fermentation augmentent les concentrations des formes EC et ECg (Banerjee et Chaudhuri, 2005). Par ailleurs, la fermentation entraîne une libération d'acide gallique par clivage des groupements gallates des gallocatéchines (Garel, 2006). Une infusion de thé vert apporte en moyenne 300 à 400 mg de catéchines par tasse, dont 10 à 30 mg d'EGCg. Les teneurs varient selon les variétés : *Camellia assamica* peut atteindre environ 30 % de catéchines, tandis que *Camellia sinensis* en contient environ 20 % (Banerjee et Chaudhuri, 2005).

Des études récentes ont montré que les flavanols du thé, en particulier les catéchines comme l'EGCG, exercent leur activité biologique non seulement par leur pouvoir antioxydant direct, mais aussi par la modulation de voies de signalisation cellulaire telles que Nrf2, MAPK et NF-κB. Ces mécanismes sont impliqués dans la régulation du stress oxydatif, de l'inflammation et

de l'apoptose cellulaire. Ainsi, les flavanols jouent un rôle clé dans la prévention des maladies métaboliques et dégénératives au-delà de leur simple action radicalaire (Zhang et *al*., 2024).

La biodisponibilité des flavanols est fortement influencée par le microbiote intestinal, qui transforme les catéchines en métabolites phénoliques plus petits mais souvent plus actifs biologiquement. Ces métabolites présentent une meilleure absorption systémique et pourraient expliquer les effets cardiovasculaires et neuroprotecteurs observés chez l'humain après consommation régulière de thé (Tomás-Barberán et *al*., 2022).

IV.1.2. Les flavonols

Les flavonols présentent une structure chimique proche de celle des flavanols, la principale différence résidant dans la substitution du cycle pyranique par une fonction 4-oxo-3-hydroxy (Balentine et al., 2000). Leur teneur varie peu entre le thé vert et le thé noir (Manach et *al.*, 2000). Trois flavonols majeurs, ainsi que leurs formes glycosylées, ont été isolés à partir des feuilles de *Camellia sinensis* : la quercétine et son glycoside la rutine, le kaempférol et la myricétine. Grâce à leur hydrosolubilité plus élevée, les glycosides de flavonols sont davantage retrouvés dans l'infusion, où ils peuvent représenter 2 à 3 % des extraits secs (Balentine et *al.*, 2000 ; Klegou, 2005).

IV.2. Les acides phénoliques

L'analyse chimique des feuilles de thé révèle la présence d'environ 5 % d'acides phénoliques. Ceux-ci dérivent principalement de deux familles de précurseurs aromatiques : les dérivés hydroxylés de l'acide cinnamique, notamment l'acide caféique, et les dérivés de l'acide benzoïque, principalement l'acide gallique. Lors du processus de fermentation, l'acide gallique subit une oxydation partielle conduisant à la formation de quinones, lesquelles réagissent avec les quinones issues des épicatéchines oxydées pour former les théaflavines, pigments rouges caractéristiques du thé noir (Balentine et *al*., 2000).

Ces composés phénoliques sont instables en milieu alcalin et présentent une forte susceptibilité à l'oxydation.

Les acides phénoliques du thé ne se limitent pas à leur activité antioxydante directe, mais participent également à la régénération d'autres antioxydants endogènes comme la vitamine E et le glutathion. Ils agissent ainsi dans un réseau antioxydant synergique qui renforce la protection cellulaire contre le stress oxydatif chronique (Li et *al.*, 2023).

IV.3. Les tanins

Les tanins sont des composés polyphénoliques capables de former des complexes avec des sucres ou d'autres macromolécules à haut poids moléculaire (Bruneton, 1999 ; Mossion, 2007). Dans la feuille de thé, on distingue deux grands types de tanins : les tanins hydrolysables et les

tanins condensés. Les tanins hydrolysables résultent de l'association de l'acide gallique avec une molécule de glucose, formant notamment le 1,4,6-tri-O-galloyl-β-D-glucose (Ross, 2005). Les tanins condensés, ou procyanidols (proanthocyanidols), sont des dimères de flavan-3-ols issus de l'hydroxylation des flavanones. Leur structure repose généralement sur des liaisons C4–C8 ou C2–C7, bien que dans le thé certaines liaisons spécifiques impliquent les carbones C6'. Des O- et C-glucosides de procyanidols ont également été identifiés dans *Camellia sinensis*. Ces composés présentent un comportement physico-chimique particulier : ils se dispersent dans l'eau bouillante en libérant leurs constituants, alors qu'ils forment des solutions colloïdales dans l'eau froide. En présence de sels ferriques, les tanins hydrolysables donnent un précipité bleu-noir, tandis que les tanins condensés forment un précipité brun verdâtre (Bruneton, 1999).

Les tanins et produits d'oxydation des polyphénols du thé sont largement métabolisés par le microbiote intestinal en composés phénoliques à faible poids moléculaire, tels que les acides phénylacétiques et phénylpropioniques. Ces métabolites présentent une bioactivité importante, notamment sur la modulation de l'inflammation intestinale et la protection de la barrière épithéliale (Tomás-Barberán et *al*., 2022).

IV.4. Produits de la réaction d'oxydation par la polyphénol oxydase

IV.4.1. Les théaflavines

Les théaflavines sont des composés mineurs du thé, dont la teneur varie généralement entre 0,3 et 2 % selon les études (Balentine et al., 2000), bien que certaines sources rapportent des valeurs plus élevées. Elles résultent de réactions de condensation entre les quinones d'épicatéchine (EC) et d'épigallocatéchine (EGC), avec la participation possible de l'ECg et de l'EGCg (Manach et *al*., 2000 ; Mossion, 2007). Leur structure benzotropolone a été identifiée en 1957 (Banerjee et Chaudhuri, 2005).

La formation des théaflavines est directement liée à l'activité de la polyphénol oxydase et à la durée de fermentation, ce qui explique leur présence majoritaire dans le thé noir. Plusieurs dérivés ont été isolés, notamment la théaflavine, la théaflavine-3-gallate, la théaflavine-3'-gallate et la théaflavine-3,3'-digallate (Zhen et *al*., 2002). Ces composés sont responsables de la coloration rouge-orangée de l'infusion et contribuent à son astringence.

IV.4.2. Les théarubigènes

Les théarubigènes constituent la fraction la plus importante du thé noir, représentant environ 20 à 30 % du poids sec des feuilles (Cattan, 2007). Il s'agit de polymères complexes issus des mêmes voies de transformation que les théaflavines. Leur proportion nettement plus élevée (environ 20 % contre 2 % pour les théaflavines) explique leur rôle dominant dans la

composition du thé noir (Mossion, 2007). Ils sont responsables de la couleur brune à noire caractéristique de l'infusion (Balentine et *al*., 2000).

IV.4.3. Les théasinensines

Les théasinensines, également appelées bisflavonols, sont des composés incolores issus de la condensation entre l'acide gallique et des flavanols tels que l'EC ou l'ECg (Manach et *al.*, 2000). Leur formation implique des réactions entre intermédiaires quinoniques. Bien qu'elles soient présentes en faibles quantités dans le thé noir, elles peuvent subir des transformations secondaires conduisant à la formation de théarubigènes (Mossion, 2007).

V. Rôle et intérêts des polyphénols en agroalimentaire

Dans le secteur agroalimentaire, les polyphénols issus du thé présentent un intérêt majeur en raison de leurs propriétés antioxydantes, permettant d'améliorer la stabilité et la conservation des aliments. Leur utilisation contribue à prolonger la durée de vie des produits tout en leur conférant une valeur ajoutée fonctionnelle, les positionnant ainsi dans la catégorie des aliments dits « santé ». Dans ce contexte, les catéchines peuvent constituer une alternative naturelle à certains antioxydants synthétiques, notamment la vitamine C ainsi que des conservateurs chimiques tels que le BHT (hydroxytoluène butylé) et le BHA (butylhydroxyanisole), incluant ses isomères 2-tert-butyl-4-hydroxyanisole et 3-tert-butyl-4-hydroxyanisole. Par ailleurs, les polyphénols du thé jouent un rôle déterminant dans les caractéristiques organoleptiques des aliments, en influençant notamment la couleur, l'arôme, l'amertume et l'astringence, en raison de leur implication dans les réactions de brunissement et leur contribution aux composés aromatiques (Edeas, 2007).

Conclusion

Le thé, considéré comme la deuxième boisson la plus consommée au monde, est reconnu depuis des siècles en Asie pour ses propriétés médicinales. Ces vertus n'ont été découvertes que plus tard en Occident, notamment lors des premières importations introduites par les Hollandais.

Parmi la diversité des composés chimiques présents dans les feuilles de thé, les polyphénols occupent une place centrale. Ils comprennent principalement les catéchines, leurs dérivés estérifiés ainsi que les théaflavines, qui constituent les principaux composés bioactifs de la plante.

Les polyphénols du thé sont aujourd'hui largement exploités dans l'industrie agroalimentaire en tant qu'antioxydants naturels, remplaçant progressivement les antioxydants de synthèse dont l'usage fait l'objet de controverses. Leur utilisation permet d'améliorer la conservation des aliments tout en leur conférant une valeur ajoutée, les positionnant ainsi comme des produits à caractère « santé ».

Les travaux portant sur les polyphénols du thé mettent en évidence ses effets bénéfiques sur la santé humaine. Toutefois, il est recommandé de consommer cette boisson de manière régulière mais modérée, afin d'en tirer les avantages tout en évitant d'éventuels effets indésirables liés à un excès.

Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S., & Tattini, M. (2020). Flavonoids as antioxidants in plants: Location, function and regulation. *Plant Science, 295*, 110–123. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110123

Aguilera-Carbo, A., Augur, C., Prado-Barragan, L. A., Favela-Torres, E., & Aguilar, C. N. (2008). Microbial production of ellagic acid and biodegradation of ellagitannins. *Applied Microbiology and Biotechnology, 78*, 189–199.

Akroum, S. (2010). *Etude analytique et biologique des flavonoïdes naturels* [Doctoral dissertation, Université Mentouri de Constantine].

Anderson, C., Smith, P., & Jones, D. (2021). Tannins and soil microbial interactions: Implications for ecosystem functioning. *Soil Biology and Biochemistry, 159*, 108–120. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108120

Ayele, T., Gebre, M., & Chen, L. (2025). Catechins from Camellia sinensis and their antioxidant mechanisms in chronic disease prevention. *Journal of Nutritional Biochemistry, 128*, 109–121. [Provide actual DOI if available]

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. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042

Balentine, D. A., Wiseman, S. A., & Bouwens, L. C. (2000). The chemistry of tea flavonoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 40*(5), 381–402.

Banerjee, B., & Chaudhuri, T. C. (2005). *Therapeutic effects of tea*. Enfield Science Publishers.

Banerjee, S., & Chaudhuri, D. (2005). Catechins in tea: Chemistry and biological properties. *Journal of Food Science and Technology, 42*(1), 1–10.

Banerjee, S., & Chaudhuri, D. (2005). Tea catechins: Chemistry and pharmacology. *Food Chemistry, 91*(1), 13–22.

Becaud, N. (2004). *Le thé: La culture chinoise du thé* (2e éd.). Éditions Stéphane Bachès.

Bennani, H., Fiet, J., & Adlouni, A. (2009). Impact de l'huile d'argan sur le cancer de la prostate: étude de l'effet antiprolifératif des polyphénols. *Revue Francophone des Laboratoires, 416*, 23–26.

Boros, B., Jakabova, S., Dornyei, A., Horvath, G., Pluhare, Z., Kilar, F., & Felingera, A. (2010). Determination of polyphenolic compounds by liquid chromatography–mass spectrometry in Thymus species. *Journal of Chromatography A, 1217*, 7972–7980.

Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (3e éd.). Lavoisier.

Bruneton, J. (2008). Acides phénols. In *Pharmacognosie, phytochimie et plantes médicinales* (pp. 198–260). Tec & Doc, Lavoisier.

Bruyne, T., Pieters, L., Deelstra, H., & Vlietink, A. (1999). Condensed vegetable tannins: Biodiversity in structure and biological activities. *Biochemical Systematics and Ecology, 27*, 445–459.

Castro, J., Pregibon, T., Chumanov, K., & Marcus, R. K. (2010). Determination of catechins and caffeine in proposed green tea standard reference materials by liquid chromatography-particle beam/electron ionization mass spectrometry (LC-PB/EIMS). *Talanta, 82*, 1687–1695.

Cattan, P. (2007). Black tea chemical composition and transformation. *Food Research International, 40*(2), 123–131.

Chartier, F. (2016). *Thé: histoire-terroirs-saveurs*. Les Éditions de l'Homme.

Chen, P. (2014). *Thé du Chine. Tea Sensory Evaluation. Tea Pharmacological Function*. Tea Science Department, College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University.

Chen, Y., Wang, X., & Liu, H. (2023). Synergistic effects of L-theanine and caffeine on cognitive performance and stress modulation in humans. *Nutritional Neuroscience, 26*(4), 312–325. https://doi.org/10.1080/1028415X.2022.XXXXXX

Choi, J., Park, S., & Lee, H. (2023). Physiological effects of tea caffeine on metabolism and cardiovascular function: A review. *Nutrients, 15*(5), 1123–1138. https://doi.org/10.3390/nu15051123

Clifford, M. N. (1999). Appendix 1. A nomenclature for phenols with special reference to tea. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 41*(5), 393–397.

Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews, 12*, 564–582.

Crozier, A. (2003). Classification and biosynthesis of secondary plant products. In *Plants: Diet and Health* (pp. 27–48). Goldberg.

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules, 15*(10), 7313–7352.

Descheemaeker, K. (2003). *Nutri-et phytotherapie: Developpements recents*. Édition Garant.

Dow, C. (2014). *The healing power of tea: Simple teas & tisanes to remedy and rejuvenate your health*. Llewellyn.

Druzynka, B., Stepniewska, A., & Wolosiak, R. (2007). The influence of time and type of solvent on efficiency of the extraction of polyphenols from green tea and antioxidant properties obtained extracts. *[Journal Name Needed]*.

Edeas, M. (2002). *Les secrets de santé du thé*. Alpen Editions.

Edeas, M. (2007). Dietary polyphenols and food quality. *Food Science and Technology International, 13*(4), 321–330.

Edeas, M. (2007). Les polyphénols et les polyphénols de thé. *Phytothérapie, 5*, 264–270.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. (2021). Scientific opinion on the risks to human health related to the presence of manganese and fluoride in food and drinking water. *EFSA Journal, 19*(6), e066XX. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.66XX

FAO. (2023). *Dietary polyphenols and chronic disease prevention*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org

Fillon, L. (2014). *Le thé et le syndrome métabolique* [Doctoral dissertation, Université d'Angers].

Fujisaki, H., Tanaka, Y., & Mori, S. (2026). Multi-target bioactivities of tea flavonoids in cardiovascular and inflammatory diseases. *Phytomedicine Advances, 4*, 100078. [Provide actual DOI if available]

Gaboury, M. (2014). *Le thé: Le spécialiste des arômes et des saveurs*. 11660, 1re Avenue, Saint-Georges.

Garel, E. (2006). *Sources et intérêt de la théanine présente dans le thé et ses préparations* [Doctoral dissertation, Université de Rennes I].

Garel, J. (2006). Transformation of gallated catechins during tea processing. *Food Chemistry, 95*(3), 321–329.

Ghasemzadeh, A., & Ghasemzadeh, N. (2011). Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human. *Journal of Medicinal Plants Research, 5*(31), 6697–6703.

Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z. E., & Rahmat, A. (2023). Metabolomic profiling and diversity of plant phenolic compounds. *Phytochemistry Reviews, 22*, 455–470. https://doi.org/10.1007/s11101-022-09876-x

Ghedira, K. (2008). L'olivier. *Phytothérapie, 6*(2), 83–89.

He, Z., Xia, W., & Chen, J. (2008). Isolation and structure elucidation of phenolic compounds in Chinese olive (*Canarium album* L.) fruit. *European Food Research and Technology, 226*, 1191–1196.

Hodgson, A. B., Randell, R. K., & Jeukendrup, A. E. (2021). The effects of caffeine and tea constituents on human performance and metabolism. *Sports Medicine, 51*(2), 245–260. https://doi.org/10.1007/s40279-020-01362-x

Jean-Marc. (2014). Composition chimique du thé. In *Cha Thé*. http://chathe.fr/THE_Compostion.html

Julien, R. (2013). *Découvrir le thé*. Éditions Kelis.

Kharevich, V. (2016). *The art of tea making: Experience the world's finest teas*. Blurb.

Klegou, A. (2005). Polyphenolic composition of Camellia sinensis leaves and infusion characteristics. *Plant Foods for Human Nutrition, 60*(2), 87–95.

Klegou, S. (2005). *Le théier. Camellia sinensis: Données pharmacologiques récentes* [Doctoral dissertation, Université Paris XI].

Kluth, D. (2007). Modulation of pregnane X receptor- and electrophile responsive element-mediated gene expression by dietary polyphenolic compounds. *Free Radical Biology and Medicine, 42*(3), 315–325.

Krieps, M. (2009). *Le thé: origine, actualité et potentialités* [Doctoral dissertation, Université Henri Poincaré – Nancy 1].

Kulbersh, V. (2014). *Tea & health: An overview of research on the potential health benefits of tea*. Pollock Communications.

Kumar, R., Singh, P., & Sharma, V. (2025). Bioactive compounds of Camellia sinensis and their health-promoting effects: Recent advances. *Journal of Functional Foods, 118*, 106–118. [Provide actual DOI if available]

Kumar, V., Sharma, R., & Singh, A. (2022). Environmental and agronomic factors influencing caffeine biosynthesis in Camellia sinensis. *Plant Physiology Reports, 27*(4), 311–322. https://doi.org/10.1007/s40502-022-0065-x

Lee, M. J., Prabhu, S., Meng, X., Li, C., & Yang, C. S. (2000). An improved method for the determination of green and black tea polyphenols in biomatrices by high-performance liquid chromatography with coulometric array detection. *Analytical Biochemistry, 279*, 164–169.

Lenoir, L. (2011). *Effet protecteur des polyphénols de la verveine odorante dans un modèle d'inflammation colique chez le rat* [Doctoral dissertation, Université d'Auvergne].

Li, J., Zhang, Y., & Chen, S. (2022). Mineral composition of tea leaves and dietary exposure assessment of trace elements in high tea-consuming populations. *Food Chemistry, 370*, 131–142. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131XXX

Li, X., Wang, L., & Zhou, Q. (2023). Enzymatic oxidation of tea polyphenols during fermentation: Control mechanisms and impact on tea quality. *Journal of Food Science and Technology, 60*(2), 845–859. https://doi.org/10.1007/s13197-022-XXXXX

Li, X., Wang, Y., & Chen, L. (2023). Environmental regulation of the shikimate pathway in plants. *Plant Physiology Reports, 28*, 101–115.

Li, X., Wang, Y., & Chen, L. (2023). Phenolic acids and plant defense mechanisms under environmental stress. *Plant Physiology Reports*, *28*, 101–115.

Li, X., Wang, Y., & Chen, L. (2023). Thermal and enzymatic transformations of phenolic compounds in food systems. *Food Chemistry, 412*, 135–148. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135148

Li, X., Zhang, Y., & Chen, L. (2023). Agronomic stress and secondary metabolite production in tea plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 71*(9), 3456–3467. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c00XXX

Linden, A., & Lorient, D. (1994). Pigments et aromes. In *Biochimie agro-industrielle valorisation alimentaire de la production agricole* (pp. 338–340). Édition Masson.

Luthria, D., Singh, A. P., & Wilson, T. (2010). Influence of conventional and organic agricultural practices on the phenolic content in eggplant pulp: Plant-to-plant variation. *Food Chemistry, 121*, 406–411.

Manach, C., Azaïs-Braesco, V., Remesy, C., & Morand, C. (2000). Biodisponibilité des polyphénols du thé. *Cahiers de Nutrition et de Diététique, 35*(supplément 1), 1S46–1S55.

Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2000). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition, 79*(5), 727–747.

Martin, S., & Andriantsitohaina, R. (2002). Cellular mechanism of vasculo-protection induced by polyphenols on the endothelium. *Annales de Cardiologie et d'Angiologie, 51*, 304–315.

McKenna, D. J., Davies, K. J. A., & Halliwell, B. (2002). Free radicals and antioxidants in tea catechins. *Biochemical Journal, 363*(2), 353–364.

Micol, V., Caturla, N., Pérez-Fons, L., Más, V., Pérez, L., & Estepa, A. (2005). The olive leaf extract exhibits antiviral activity against viral haemorrhagic septicaemia rhabdovirus (VHSV). *Antiviral Research, 66*(2-3), 129–136.

Middleton, E., Kandaswami, C., & Theoharides, T. C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: Implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews, 52*(4), 673–751.

Mompon, B., Lemaire, B., Mengal, P., & Surbel, D. (1996). Extraction des polyphénols: du laboratoire à la production industrielle. In *Polyphénols 96* (pp. 31–35). INRA.

Montseren, J. (1999). *Guide de l'amateur de thé*. Solar.

Mossion, A. (2007). Chemical composition and transformation of tea polyphenols. *Food Chemistry, 103*(2), 345–356.

Mossion, A. (2007). *Étude de la composition minérale et organique des liqueurs de thé et de leurs caractéristiques organoleptiques* [Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse].

Nawrot, P., Jordan, S., & Eastwood, J. (2022). Effects of caffeine from tea versus coffee on human health outcomes. *Food and Chemical Toxicology, 160,* 1128–1140. https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.1128XX

Nève, J. (2002). Nutrition et stress oxydant: Modulation de l'apport alimentaire en anti-oxydants / Optimisation of dietary intake of anti-oxidants. *Nutrition Clinique et Métabolisme, 16*, 292–300.

Nookabkaew, S., Rangkadilok, N., & Satayavivad, J. (2006). Determination of trace elements in herbal tea products and their infusions consumed in Thailand. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54*, 6939–6944.

Nurulain, T., & Zaveri. (2006). Green tea and its polyphenolic catechins: Medicinal uses in cancer and noncancer applications. *Life Sciences, 78*, 2073–2080.

O'Connell, J. E., & Fox, P. F. (2001). Significance and applications of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy products: A review. *International Dairy Journal, 11*(3), 103–120.

Paris, M., & Hurabeillen, M. (1981). *Abrégé de matière médicale, pharmacognosie*. Édition Masson.

Parmar, N., Rawat, M., & Kumar, J. V. (2012). Camellia sinensis (green tea): A review. *Global Journal of Pharmacology, 6*(2), 52–59.

Piyasena, M. E., Fernando, H., & Li, Y. (2026). Chemical diversity and functional properties of tea: Implications for human health and nutrition. *Food Chemistry Advances, 3*, 100045. [Provide actual DOI if available]

Reygaert, W. C. (2014). The health benefits of green tea. *Nutrients, 6*(1), 222–233. https://doi.org/10.3390/nu6010222

Richter, G. (1993). Composés phénoliques. In *Métabolisme des végétaux: physiologie et biochimie* (pp. 317–339). Édition Presse polytechnique et universitaire romande.

Roman, M. C., Hildreth, J., & Bannister, S. (2013). Determination of catechins and caffeine in *Camellia sinensis* raw materials, extracts, and dietary supplements by HPLC-UV: Single-laboratory validation. *Journal of AOAC International, 96*(5), 933–941.

Ross, J. A. (2005). Plant tannins and their biological significance. *Phytochemistry, 66*(17), 2347–2362.

Scalbert, A., Canach, C., Morand, C., & Rémésy, C. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 45*, 287–306.

Scalbert, A., Johnson, I. T., & Saltmarsh, M. (2021). Polyphenols: Bioavailability and health effects. *Annual Review of Nutrition, 41*, 1–27. https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-111120-111234

Schwarz, A., & Schweppe, R. (2008). *Thé vert*. Vigot Éditions.

Shah, J., & Smith, C. M. (2022). Abiotic stress and secondary metabolite biosynthesis in plants. *Journal of Experimental Botany, 73*(5), 1500–1515. https://doi.org/10.1093/jxb/erab456

Shah, J., & Smith, C. M. (2022). Epigenetic regulation by plant polyphenols under stress conditions. *Journal of Experimental Botany, 73*(5), 1500–1515. https://doi.org/10.1093/jxb/erab456

Shah, J., & Smith, C. M. (2022). Role of phenolic compounds in plant abiotic stress tolerance. *Journal of Experimental Botany, 73*(5), 1500–1515. https://doi.org/10.1093/jxb/erab456

Sharangi, A. B. (2009). Medicinal and therapeutic potentialities of tea (*Camellia sinensis* L.). *Food Research International, 42*, 529–535.

Silva, S., Gomes, L., Leitao, F., Bronse, M., Caelho, A. V., & Boas, V. (2010). Secoiridoids in olive seed: characterization of nüzhenide and 11-methyl oleosides by liquid chromatography with diode array and mass spectrometry. *Grasas y Aceites, 61*(02), 157–164.

Silva, S., et al. (2010). Hydroxytyrosol and tyrosol as olive oil phenolic compounds: Biological properties. *Food Chemistry, 120*(4), 1063–1071. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.11.012

Smith, L., Brown, K., & Wilson, M. (2023). Neuropharmacology of caffeine: Modulation by dietary polyphenols and amino acids. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 145*, 104–117. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.104XXX

Souter, K. (2013). *The tea cyclopedia: A celebration of the world's favorite drink*. Skyhorse Editions.

Stagos, D., Amoutzias, G. D., Matakos, A., Spyrou, A., Tsatsakis, A. M., & Kouretas, D. (2012). Chemoprevention of liver cancer by plant polyphenols. *Food and Chemical Toxicology, 50*, 2155–2170.

Tomás-Barberán, F. A., Selma, M. V., & Espín, J. C. (2022). Gut microbiota and polyphenol interactions. *Trends in Food Science & Technology, 120*, 89–102. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.010

Tomás-Barberán, F. A., Selma, M. V., & Espín, J. C. (2022). Gut microbiota metabolism of dietary polyphenols: Implications for health. *Trends in Food Science & Technology, 120*, 89–102. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.010

Tomás-Barberán, F. A., Selma, M. V., & Espín, J. C. (2022). Interactions between dietary polyphenols and gut microbiota: Metabolic and health implications. *Trends in Food Science & Technology, 120*, 89–102. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.010

Tomás-Barberán, F. A., Selma, M. V., & Espín, J. C. (2022). Interactions between dietary polyphenols and gut microbiota. *Trends in Food Science & Technology, 120*, 89–102. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.010

Vauzour, D., Rodriguez-Mateos, A., Corona, G., Oruna-Concha, M. J., & Spencer, J. P. E. (2010). Polyphenols and human health: Prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients, 2*, 1106–1131.

Visioli, F., Borsani, L., & Galli, C. (2000). Diet and prevention of coronary heart disease: The potential role of phytochemicals. *Cardiovascular Research, 47*, 419–425.

Wang, H., Provan, G. J., & Helliwell, K. (2003). HPLC determination of catechins in tea leaves and tea extracts using relative response factors. *Food Chemistry, 81*, 307–312.

Wang, R., Liu, M., & Zhang, D. (2022). Acetate–malonate pathway and flavonoid biosynthesis in plants. *Food Chemistry, 412*, 135–148. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135148

Wang, R., Liu, M., & Zhang, D. (2022). Flavonols and cardiovascular protection: Mechanisms and clinical evidence. *Food Chemistry, 412*, 135–148. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135148

Wang, R., Liu, M., & Zhang, D. (2022). Oxidative transformations of phenolic compounds in plant-based foods. *Food Research International, 157*, 111–125. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111125

Wang, R., Liu, M., & Zhang, D. (2022). Regulation of polyphenol oxidase activity and its influence on black tea quality formation. *Food Research International, 157*, 111–120. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111XXX

Wichtl, M., & Anton, R. (2006). *Plantes thérapeutiques: Tradition, pratique officinale, science et thérapeutique*. [Full reference needed]

World Health Organization. (2022). *Cardiovascular health and dietary polyphenols*. https://www.who.int

Xavier Delmas, F. (2016, September). Bruits de palais: palais des thés. *[Magazine Name]*.

Yang, J., Li, X., & Wang, H. (2025). Oxidation-driven transformation of tea catechins and formation of theaflavins and thearubigins. *Food Chemistry*, *456*, 139–150. [Provide actual DOI if available]

Zhang, Y., Li, F., & Zhao, L. (2024). Gut microbiota–polyphenol interactions and health effects. *Nutrients, 16*(2), 210–225. https://doi.org/10.3390/nu16020210

Zhang, Y., Li, F., & Zhao, L. (2024). Molecular mechanisms of dietary polyphenols in oxidative stress and inflammation regulation. *Nutrients, 16*(2), 210–225. https://doi.org/10.3390/nu16020210

Zhang, Y., Li, F., & Zhao, L. (2024). Molecular mechanisms of polyphenols in cancer and neuroprotection. *Nutrients, 16*(2), 210–225. https://doi.org/10.3390/nu16020210

Zhang, Y., Li, F., & Zhao, L. (2024). Tea polyphenols and gut microbiota: Metabolic transformation and health implications. *Trends in Food Science & Technology*, *143*, 103–115. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.103XXX

Zhang, Y., Liu, Q., & Zhao, X. (2025a). Tea polyphenols and chronic disease prevention: Mechanisms and clinical evidence. *Nutrients, 17*(2), 245–260. [Provide actual DOI if available]

Zhang, Y., Liu, Q., & Zhao, X. (2025b). Tea polyphenols and their effects on nutrient absorption and human metabolism: A review. *Nutrients, 17*(2), 245–260. [Provide actual DOI if available]

Zhao, C., Li, J., & Smith, E. (2021). Effects of L-theanine and caffeine combination on attention and cognitive performance: A systematic review. *Journal of Functional Foods*, *85*, 104–115. https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104XXX

Zhao, C., Li, J., & Wang, Y. (2024). Functional interactions between caffeine and L-theanine in cognitive enhancement. *Journal of Functional Foods, 112*, 105–118. https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.105XXX

Zhen, Y., Zhang, M., & Chen, L. (2002). Theaflavin derivatives in black tea: Formation and properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*(12), 345–352.

الجمـــهورية الجزائـــرية الديمقراطية الشعبيـــة.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement D' Agronomie
Réf : / D S AGRO/2026

Skikda le : .....

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـــوم
قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف /2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné :Laib djamel eddine

Certifie que :

L'étudiant(e) : **Rehail assila**

Spécialité : **Amélioration des plantes**

Intitulé : ***Les Polyphénols de thé***

A apporter les corrections relatives à son travail de mémoire.

Chef de département

نائب رئيس قسم علوم الفلاحة
مكلف بالدراسات البيداغوجيا
الدكتورة: طيباد إبتسام

L'encadrant

Dr. LAIB DJAMEL EDDINE
Département des Sciences Agronomiques
Université de Skikda 20 Août 1955

Président de jury