

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

**Faculté :** TECHNOLOGIE

**Département :** GÉNIE DES PROCÉDÉS

**Domaine :** SCIENCE ET TECHNOLOGIE

**Filière :** GÉNIE DES PROCÉDÉS

**Spécialité :** GÉNIE CHIMIQUE

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Thème :

Etude phytochimique du *Coffea arabica* et du *Coffea canephora* et leurs activités antioxydante.

Présenté par : Belcchini Chaima  
Messaoud Ikram

Encadrant : H. Kadri

Grade MAB

Université Badji Mokhtar Annaba

### Jury de Soutenance :

Dr. GUILANE	MCB	UBMA	Présidente
Dr. KADRI	MAB	UBMA	Encadrante
Dr. LARBA	MAB	UBMA	Examinatrice

Année Universitaire : 2023/2024

## **Remerciements**

En préambule à ce mémoire nous souhaitons exprimer notre reconnaissance envers Allah, le Tout-Puissant, pour sa guidance, sa miséricorde et sa bénédiction tout au long de ce parcours académique. C'est par Sa volonté et Sa grâce que nous avons pu surmonter les obstacles et atteindre cet objectif important.

Nous souhaitons exprimer notre plus grand respect envers le **Dr. KADRI.H** qui nous a proposé le thème de notre mémoire. Nous tenons à la remercier pour sa disponibilité sans faille et sa générosité manifeste. Sa nature ouverte d'esprit et sa bonne humeur ont créé un environnement propice à notre épanouissement, et nous ont offert une grande liberté pour mener à bien ce travail. Nous tenons à lui témoigner notre profonde reconnaissance pour la qualité de son encadrement, tant sur le plan scientifique que sur le plan humain.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les membres du jury. Nous souhaitons adresser nos remerciements particuliers au **Dr. GUILANE**, qui a généreusement consacré du temps à l'examen et à l'évaluation de ce travail en tant que président du jury. Nous sommes honorées par la présence du **Dr. LARBA**, pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de juger ce mémoire et d'être examinatrice. Leur participation et leur expertise ont grandement contribué à la qualité et à la valeur de ce mémoire.

Nos remerciements vont aussi à l'administration et aux professeurs de l'université Badji Mokhtar Annaba, spécialement du département de Génie des procédés pour les grands efforts qu'ils fournissent pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.



"Celui qui fait preuve de patience et met sa confiance en Allah, alors, Allah ne le laissera jamais tomber."

الحمد لله الذي ما تم جُهد ولا خُتم سعي الا بفضل الله والشكر لله الذي وفقني لهذا.

إن كُنَّا قد أصبنا فهذا من الله وإن كُنَّا قد أخطأنا وقصّرنا فمن أنفسنا والشيطان ونسأله العفو والمغفرة.

À celle qui a toujours su trouver la force de croire, même dans les moments les plus sombres, à celle qui a cru en mes capacités, persévéré face à tous les obstacles et travaillé sans relâche : "moi-même". Tes efforts inlassables, tes nuits blanches infinies, tout cela a mené à cet instant de triomphe. Merci à moi-même.

Avec toute ma gratitude, je dédie humblement ce travail à ma famille, qui m'a offert une éducation précieuse et a façonné la personne que je suis aujourd'hui. Je ne saurais jamais exprimer suffisamment mon amour sincère envers eux.

A l'homme de ma vie, mon précieux offre d'ALLAH, ma réussite et tout mon respect : mon cher père **Ibrahim**,

À ma merveilleuse mère **Nadia**, qui a enduré des souffrances sans jamais me laisser souffrir, qui n'a jamais refusé mes demandes et qui n'a ménagé aucun effort pour me rendre heureuse,

A ma sœur **Haifa**, merci d'avoir toujours été là pour moi, de m'avoir soutenu et encouragé. Tu es bien plus qu'une sœur, tu es une amie, une confidente, une moitié de moi-même. Je t'aime Amourti

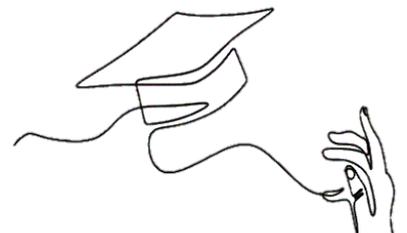
A ma sœur **Bouthaina**, ta présence dans ma vie est un pilier sur lequel je peux toujours m'appuyer. Merci d'être toujours là pour moi avec ton amour et ton soutien inconditionnels. Je t'aime Bissou.

A mon petit frère **Med Idris**, Tu es mon compagnon d'aventures et mon soutien constant. Merci d'apporter tant de joie dans ma vie. Je t'aime Doudou

A mes grands-mères, et ma deuxième maman **Zouzou**, à ma cousine **Sabrina** et ma tante **Naima**,

A ma meilleure amie et ma jumelle **Rayane**, à mon proche **Dhia-eddine** qui était toujours à mes côtés, à **Akram**, **Sherine**, **Nada**, **Malak** et **Chaima** pour leur encouragement et leur soutien, je vous aime.

Sans oublier mon binôme **Beleulmi Chaima** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.



"J'ai cru que je pouvais, alors je l'ai fait."

الحمد لله الذي هَيَّا البَدْءَ وَيَسَّرَ الطَّرِيقَ وَطَيَّبَ الْمُنْتَهَى، الحمد لله على التمام وحُسن الختام

*Marcel Proust disait « Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries »*

*Je dédie ce modeste travail*

À mes parents, **Maman** ma vie, **Papa** mon soutien vous avez été mes premiers enseignants et je les aimais beaucoup. Votre amour inconditionnel m'a permis de me sentir soutenue et encouragée à chaque étape de ma vie. Je ne peux pas vous remercier assez pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À ma chère sœur **Samia**, Tu illumines ma vie par ta gentillesse et ton soutien. Merci d'apporter tant de bonheur et de chaleur autour de toi. Je suis reconnaissante de t'avoir dans ma vie je t'aime.

À mes chers frères, **Raouf, Ayoub et Anes** vous êtes mes piliers, toujours présents pour m'apporter soutien et réconfort. Votre amitié et votre amour inconditionnel me donnent la force de surmonter tous les obstacles. Merci d'être des frères formidables et des amis précieux.

A mes chères amis, **Loujaina, Amina , Rahma , Amani , Sara ,Malak, Chaima , Malek et Nada** vous partagerez toujours une partie de ma vie et de mon cœur. Que Dieu vous accorde le plein bonheur que vous méritez.

À **Ikram**, mon binôme, Travailler avec toi est inspirant. Ta détermination, ton intelligence et ta gentillesse font de notre partenariat un succès. Merci d'être un collaborateur exceptionnel et un ami précieux. Ensemble, nous sommes plus forts.

À mes **collègues** de promo qui m'ont partagé des moments inoubliables toutes les années d'étude, de la tristesse à la joie, de l'échec à la réussite. Nos moments de travail et de détente resteront gravés dans ma mémoire pour toujours.



### ***Résumé***

Le café vert, provenant des grains non torréfiés des plantes *Coffea arabica* et *Coffea canephora*, est connu pour leurs propriétés antioxydant puissantes. Les graines ont été analysées par le screening phytochimique, et les polyphénols totaux et les flavonoïdes totaux ont été mesurés. L'analyse phytochimique des extraits a permis d'identifier et de quantifier plusieurs composés, notamment les flavonoïdes, les anthocyanes et les tanins. Par la suite, l'activité antioxydante des extraits a été évaluée à travers l'analyse *in vitro* par le test DPPH. Les résultats ont démontré un potentiel antioxydant significatif à piéger les radicaux libres, pour l'extrait du *Coffea canephora*, par rapport à l'extrait *Coffea arabica*.

En conclusion, les résultats obtenus contribuent à la valorisation des grains de café non torréfié en tant que source naturelle de composés bioactifs ayant une grande capacité antioxydante.

**Mots clés :** Café vert, polyphénol, activité antioxydante, DPPH.

### ***Abstract***

Green coffee, extracted from the unroasted beans of the *Coffea arabica* and *Coffea canephora* plants, is known for its antioxidant properties. The beans were phytochemically screened, and the total phenolic and total flavonoid compounds were measured. The phytochemical analysis of the extracts identified several compounds, including flavonoids, anthocyanins, and tannins. Additionally, the antioxidant capacity of the extracts was evaluated using the in vitro DPPH assay. The results showed a significant scavenging potential for the *Coffea canephora* extract compared to the *Coffea arabica* extract.

In conclusion, the results obtained contribute to the valorization of green coffee beans as a natural source of bioactive compounds with high antioxidant capacity.

**Keywords:** Green coffee, polyphenols, antioxidant activity, DPPH.

## المخلص

القهوة الخضراء، المستخلصة من حبوب البن غير المحمصة من نباتات *Coffea arabica* و *Coffea canephora* ، معروفة لاحتوائها على المركبات الفينولية التي تعتبر مضادات أكسدة فعالة. الحبوب تم تحليلها فيتوكيميائيا بالإضافة إلى ذلك، قمنا بتكميم البوليفينولات الإجمالية والفلافونويدات الإجمالية. أظهر التحليل الفيتوكيميائي للمستخلصات وجود العديد من المركبات، بما في ذلك الفلافونويدات. بعد ذلك، تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات من خلال اختبار *in vitro* امتصاص الجذور الحرة DPPH. أظهرت النتائج قدرة مضادة للأكسدة معتبرة لمستخلصات القهوة الخضراء من نوع *Coffea canephora* مقارنة بنوع *Coffea arabica*، مؤكدة قدرتها على تحييد الجذور الحرة وحماية الجسم من التأثيرات الضارة للتأكسد.

في الختام، تقدم هذه الدراسة نظرة مفصلة عن التركيب النباتي الكيميائي للقهوة الخضراء وتسليط الضوء على خصائصها المضادة للأكسدة العالية.

**الكلمات الرئيسية:** قهوة خضراء، بوليفينولات، نشاط مضاد للأكسدة. DPPH.

## Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Les pays producteurs du café.....	4
02	Fleurs de caféier.....	4
03	Arbuste de café (caféier).....	5
04	Structure du fruit et de la graine du caféier.....	5
05	Les fleurs de <i>Coffea arabica</i> .....	6
06	Un exemple de caféier arabica.....	6
07	Fleur de <i>Coffea robusta</i> .....	7
08	Feuilles et fruits du caféier <i>Coffea</i> .....	7
09	Structure des deux classes d'acide phénoliques.....	11
10	Structure de quelques alcaloïdes.....	13
11	Structure du Cholestérol.....	14
12	structure de la coumarines.....	14
13	Structure exemple des saponines ( saponine de soja).....	15
14	Les différents types des anthocyanes.....	16
15	Facteurs initiateurs de stress oxydant.....	18
16	Représentation d'un radical libre.....	18
17	Schéma illustrant les origines et les réponses cellulaires aux espèces réactives de l'oxygène (ERO).....	19
18	Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant.....	21
19	Schéma des molécules intervenant dans les protections cellulaires.....	22
20	Spectrophotomètre UV-9200 de Biotech Engineering Management Co. Ltd.....	24
21	Réaction chimique de test DPPH.....	28
22	Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux.....	30
23	Photo présente le test des polyphénols .....	30
24	Histogramme de la teneur en polyphénols exprimée en mg EGA/100g MS.....	31
25	Courbe d'étalonnage des flavonoïdes totaux.....	32
26	Photo présente le test des flavanoides .....	32
27	Histogramme de la teneur en flavonoïdes exprimée en mg EC/100g MS .....	33
28	Courbe de la vitamine C en utilisant le test DPPH.....	34
29	Photo présente le test de DPPH.....	34
30	Histogramme de la capacité antioxydante exprimée en mg EVC/100g MS déterminée par le test DPPH .....	35

---

---

**Liste des tableaux**

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	La composition des grains de café (g/100g)	<b>9</b>
<b>2</b>	Différents espèces réactives.	<b>20</b>
<b>3</b>	Résultats de criblage phytochimique	<b>29</b>
<b>4</b>	Teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux	<b>32</b>

---

## Liste des abréviations

- **5-CQA** Acide 5-caféoylquinique
- **AA** Acide ascorbique
- **ABTS** Acide 2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique
- **AH** Antioxydant donneur d'hydrogène
- **AlCl<sub>3</sub>** Chlorure d'aluminium
- **C** Concentration
- **C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH** Phénol
- **DPPH** 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
- **ERO** Espèces Réactives de l'Oxygène
- **FeCl<sub>3</sub>** Chlorure de fer
- **FRAP** Ferric Reducing Ability of Plasma
- **FVT** Flavonoïdes totaux
- **g** Gramme
- **H<sub>2</sub>O** Eau
- **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** Acide sulfurique
- **H<sub>3</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub>** Acide phosphomolybdique
- **H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>** Mélange d'acide phosphotungstique
- **HCl** Acide chlorhydrique
- **M** Mole
- **mg EG** Milligrammes équivalents d'acide gallique
- **mg EC** Milligrammes équivalents de catéchine
- **mg EVCCA** Milligrammes équivalents de vitamine C de capacité antioxydante

- **mg/l** Milligramme par litre
- **ml** Millilitres
- **Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** Carbonate de sodium
- **NaNO<sub>2</sub>** Nitrite de sodium
- **NaOH** Hydroxyde de sodium
- **nm** Nanomètre
- **ORAC** Oxygen Radical Absorbance Capacity
- **P** Poids
- **PPT** Polyphénols totaux
- **ROS** Reactive oxygen species
- **T** Temps
- **TEAC** Trolox Equivalent Antioxidant Capacity
- **umol** Micromole
- **UV-VIS** Ultraviolet-visible
- **V** Volume
- **%** Pourcentage
- **°C** Degré Celsius

## Table des matières

Résumé.....	I
Abstract.....	II
المخلص.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des tableaux.....	V
Liste des abréviations.....	VI
Introduction Générale .....	1
Synthèse bibliographique.....	

**Chapitre 01 : Généralité**

1. Histoire du <i>Coffea</i> .....	3
2. Le café.....	3
3. La botanique du Café.....	4
3.1. Le caféier et ses fruits.....	4
3.2. La structure de la graine de <i>Coffea</i> .....	5
4. <i>Coffea arabica</i> .....	5
5. <i>Coffea canephora (robusta)</i> .....	6
6. Les principales différences entre <i>Coffea arabica</i> et <i>Coffea robusta</i> .....	8
7. La composition du genre de <i>Coffea</i> .....	8
8. Utilisation du <i>Coffea</i> en médecine traditionnelle.....	9

**Chapitre 02 : Métabolites secondaires**

1. Les métabolites primaires.....	10
2. Les métabolites secondaires.....	10
2.1. Les composés phénoliques.....	11
Les acides phénoliques.....	11
Les flavonoïdes .....	12
Les tanins .....	12
2.2 Les composés azotés (les alcaloïdes) .....	12

Alcaloïdes vrais.....	12
Pseudo-alcaloïdes.....	12
Proto-alcaloïdes.....	13
2.3. Les terpènes .....	13
2.4. Quinones.....	13
2.5. Stérols.....	13
2.6. Coumarines.....	14
2.7. Saponines.....	14
2.8. Anthocyanes.....	15
<b>Chapitre 03 : L'activité antioxydante</b>	
1. Le stress oxydatif .....	17
1.1. Définition.....	17
2. Les radicaux libres.....	18
2.1. Définition.....	18
2.2. Principaux radicaux libres.....	19
3. Les antioxydants.....	20
3.1. Définition.....	20
3.2. Les types des antioxydants.....	21
3.2.1 Endogène : antioxydants enzymatiques.....	21
3.2.2 Exogène : antioxydants non enzymatiques.....	22
3.3 Pouvoir antioxydant des polyphénols.....	22
3.4 Méthodes de détermination de l'activité antioxydante.....	23
<b>Partie expérimentale</b>	
<b>Matériel et méthodes</b>	
1. Objectif et description de l'étude.....	24
2. Matériel et réactifs.....	24
2.1. Appareils utilisés.....	24
2.2. Matériel végétale.....	25
2.3. Réactifs chimiques.....	25
3. Méthodes.....	25
3.1 Dosage des composés phénoliques.....	25
3.2 Préparation des extraits.....	26

---

3.3 Dosage des polyphénols totaux.....	26
3.4 Dosage des flavonoïdes totaux .....	27
3.5 Etude de l'activité antioxydante.....	27
3.6. Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) .....	28
<b>Résultats et discussions</b>	
1. Le screening phytochimique.....	29
2. Dosage des composés phénoliques.....	29
2.1. Dosage des polyphénols totaux.....	30
2.2. Dosage des flavonoïdes totaux.....	31
3. Étude de l'activité antioxydante.....	33
<b>Conclusion</b> .....	36
<b>Références bibliographiques</b> .....	37

---

# **Introduction Générale**

---

## ***Introduction générale***

Le café vert, provenant des grains non torréfiés de la plante *Coffea*, est une matière première d'une grande importance économique et culturelle à travers le monde. Originaires d'Afrique, les deux espèces les plus couramment cultivées et consommées sont *Coffea arabica* et *Coffea canephora* ou *robusta*). Ces deux espèces se distinguent non seulement par leurs caractéristiques botaniques et agronomiques, mais également par leurs compositions chimiques spécifiques, ce qui influence leurs propriétés organoleptiques et leurs bénéfices pour la santé.

L'étude phytochimique du café vert se concentre les composés bioactifs présents dans les grains, notamment les polyphénols, les acides phénoliques et les flavonoïdes. Ces métabolites secondaires jouent des rôles biologiques variés, allant de la défense contre les prédateurs et les maladies à la régulation de la croissance et du développement de la plante.

Ces composés sont capables de neutraliser les radicaux libres, réduisant ainsi le stress oxydatif et le risque de maladies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires et certains cancers. La caféine, bien que principalement connue pour ses effets stimulants, contribue également à l'activité antioxydante du café. De plus, les polyphénols présents dans le café vert renforcent cette action en inhibant les processus oxydatifs au niveau cellulaire.

L'analyse du café vert offre donc une opportunité unique d'étudier la nature de ces composés. *Coffea Arabica* et *Coffea Robusta*, bien qu'elles aient les mêmes points communs, les différences dans la composition chimique des deux espèces se traduisent par des variations dans leur capacité à neutraliser les radicaux libres, ce qui peut avoir des implications pour leur utilisation dans la prévention et le traitement des maladies liées au stress oxydatif.

Évaluer et comparer cette activité entre les deux espèces peut fournir des informations précieuses pour l'optimisation de l'utilisation du café vert dans les domaines nutraceutique et pharmaceutique.

Notre mémoire est structuré en deux grandes parties :

La première partie, théorique, est divisée en trois chapitres :

- ✓ Généralités sur le café : Ce chapitre explore l'origine, la culture et les différentes espèces de café, avec un accent particulier sur *Coffea arabica* et *Coffea canephora* (*robusta*). Il couvre également l'importance économique et sociale du café dans le monde.
- ✓ Les métabolites secondaires : Ce chapitre se concentre sur les composés bioactifs présents dans le café vert, en particulier les acides chlorogéniques, les alcaloïdes et les polyphénols. Il décrit leur structure chimique, leurs mécanismes de biosynthèse et leurs rôles biologiques.
- ✓ L'activité antioxydante : Dans ce chapitre, nous abordons les mécanismes d'action des antioxydants, leur importance pour la santé humaine et les méthodes utilisées pour évaluer l'activité antioxydante des extraits de café vert.

La deuxième partie de ce mémoire est dédiée aux aspects expérimentaux de notre étude. Elle décrit les méthodes et techniques employées pour extraire et analyser les composés phytochimiques des grains de café vert, ainsi que les protocoles utilisés pour évaluer leur activité antioxydante. Les résultats obtenus sont ensuite discutés pour la valorisation du café vert dans les domaines nutraceutique et pharmaceutique.

Enfin l'ensemble du manuscrit vise à fournir une compréhension approfondie des caractéristiques phytochimiques du café vert (*Coffea arabica* et *Coffea canephora* (*robusta*)) et de leur pouvoir anti-radicalaire, contribuant ainsi à une meilleure valorisation de cette ressource naturelle précieuse.

Première partie



Partie bibliographique

---

# Chapitre 1

---

Le café est l'une des boissons les plus populaires au monde et est considéré comme l'un des produits alimentaires les plus importants dans l'économie, en tant que produit le plus commercialisé après le pétrole. Dans ce chapitre, nous allons découvrir différents aspects du café, de son histoire à sa composition et ses différentes variétés, ainsi que leur utilisation en médecine traditionnelle.

### **1. Histoire du *Coffea* :**

Le café est originaire d'Éthiopie notamment de la région de Kaffa et s'est progressivement répandu dans les pays arabes. Constantinople déménage désormais à Venise. Même si c'est interdit avec un avertissement de drogue. Le café se répand rapidement et devient disponible en Europe au milieu du XVI<sup>e</sup> siècle. En 1663, le premier café d'Europe du Nord ouvre ses portes à Amsterdam [1].

Le café est la boisson la plus consommée en Algérie, avec plus de 4 kg de café par habitant et par an, ce qui la place au sommet du continent africain. Le café a une longue histoire avant de devenir la boisson de base de l'Algérie. Le café a une longue histoire en Algérie, introduit au XVI<sup>e</sup> siècle par les Ottomans, puis développé sous l'influence coloniale, avec des cafés emblématiques à Alger qui ont marqué la vie intellectuelle et culturelle. Cette tradition se poursuit aujourd'hui avec des entreprises spécialisées [2].

### **2. Le café :**

Le café est la deuxième boisson la plus consommée au monde et le produit le plus commercialisé après le pétrole. Le Brésil le plus grands producteurs et exportateurs de café représentant 30% du marché international pour ce produit (figure 1). La consommation de café a augmenté dans le monde. Sur 40 ans, cette forte consommation de café est liée à des problèmes organoleptiques et effets sanitaires importants dus à la stimulation et à la présence de particules substances bioactives [3].

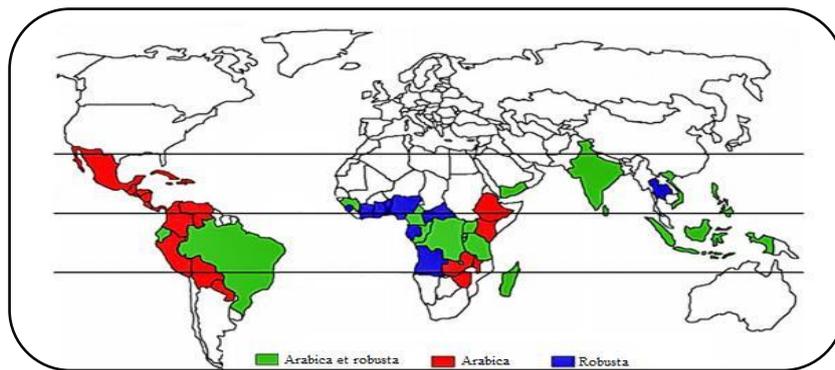


Figure 1 : Les pays producteurs du café [4]

### 3. La botanique du café :

#### 3.1. Le caféier et ses fruits :

Les caféiers sont des plantes tropicales de la famille des Rubiacées. Cette famille comprend plus de 80 espèces d'origine africaine ou asiatique. Deux espèces sont actuellement cultivées :

*Coffea arabica* et *Coffea canephora (robusta)*, Ce sont des plantes qui poussent dans des climats chauds et humides.

Le caféier est un arbre vert (figure 2 et 3), ses feuilles sont allongées et brillantes avec un sommet vert foncé. Sa hauteur peut atteindre 10 à 12 mètres chez la variété *robusta* et 5 à 6 mètres chez la variété *arabica*. Les caféiers ont 3 ans et peuvent fleurir toute l'année. Les fleurs sont blanches et ne durent que quelques heures [5].



Figure 2: Fleurs de caféier



Figure 3: Arbuste de café (caféier) [6]

### 3.2. La structure de la graine de *Coffea* :

Les fruits sont produits en grappes. Ce sont des drupes qui mettent entre 6 et 12 mois pour arriver à maturité. Ils sont d'abord verts, puis deviennent jaunes avant de prendre une teinte rouge, pour finalement devenir grenat lorsqu'ils sont mûrs. En général, une drupe contient deux graines ovales, chacune entourée par une membrane appelée le parchemin [7].

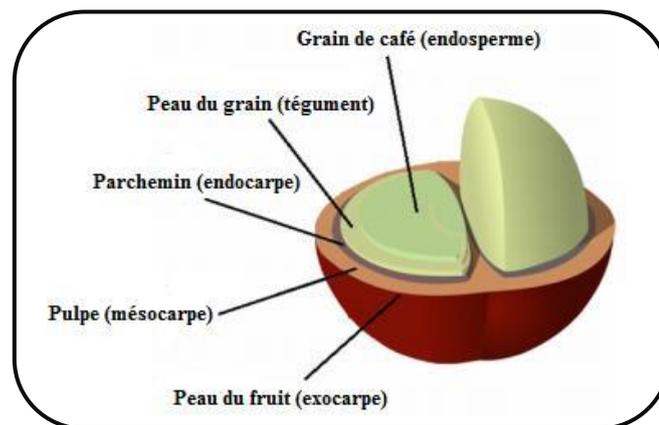


Figure 4 : Structure du fruit et de la graine du caféier [8]

### 4. *Coffea arabica* :

Le caféier *Arabica* est un arbuste de la famille des Rubiacées, l'espèce de caféier la plus répandue au monde. Le *Coffea arabica* constitue 70 % du café mondial et est originaire d'Éthiopie [9]. Il se développe entre 600 et 2000 mètres d'altitude, à une température de 18 à 23°. Il y a 6 à 8 mois entre la floraison et la maturation des cerises. Les plantes et les grands arbres comme les cacaoyers ou les bananiers craignent une exposition solaire non protégée. Sa teneur en caféine est inférieure à celle du *robusta* (0,8 à 1,5% contre 1,6 à 2,7%). L'*Arabica* est pollinisateur, ce qui signifie qu'il se féconde sans aide extérieure.

Il est cultivé principalement en Amérique centrale, en Amérique du Sud, en Afrique de l'Est et dans certains pays d'Asie et d'Océanie [10]. Il est très apprécié pour ses qualités aromatiques et la finesse de son goût.



**Figure 5:** Les fleurs de *Coffea arabica* [10]



**Figure 6:** Caféier *arabica*

### **5. *Coffea canephora (robusta)* :**

Comme son nom l'indique, le *canephora* ou le *robusta* est plus résistant aux maladies que l'*arabica*. Comme il nécessite une température de 22 à 26°, il est cultivé en plaine et à 600 mètres d'altitude. Il faut compter 9 à 11 mois entre la floraison et la maturation des cerises. Contrairement à l'*arabica*, le *Robusta* doit être récolté et nourri d'arbre en arbre par les insectes. Sa teneur en caféine est bien supérieure à celle de l'*arabica*.

Les zones de culture sont l'Afrique, le Brésil et l'Indonésie. Le café est classé selon son goût comme « agréable », « léger », « aromatisé », « corsé », « d'humeur », « colérique », mais certains pays produisent des cafés qui répondent à la plupart de ces critères en même temps [11].



**Figure 7:** *Fleur du Coffea robusta*



**Figure 8:** *Feuilles et fruits du caféier Coffea*

## 6. Les principales différences entre le *Coffea arabica* et le *Coffea robusta* :

Le *Coffea arabica* et le *Coffea robusta* sont deux types de café très différents, avec des caractéristiques distinctes en termes de botanique, de conditions de culture, de caractéristiques des grains, de goût et d'arôme, de production, de commerce et d'utilisation. Le choix du type de café à utiliser dépend des préférences individuelles et de l'utilisation prévue. Les arbres *Arabica* atteignent une hauteur de 5 à 6 mètres, tandis que les arbres *robusta* peuvent atteindre 10 à 12 mètres. Les grains d'*arabica* sont fins et allongés, avec un sillon central sinueux. Les grains de *robusta* sont globuleux avec un sillon central rectiligne. Les grains de *robusta* contiennent deux fois plus de caféine que les grains d'*arabica* (1,7 à 4% contre 0,8 à 1,4%).

***Coffea arabica*** : Le *Coffea arabica* est généralement décrit comme ayant un goût plus doux, plus lisse et plus aromatique, avec des notes de chocolat, de sucre, de fruits et de baies.

***Coffea robusta*** : Le *Coffea robusta* est généralement décrit comme ayant un goût plus fort, plus amer et plus corsé, avec des notes de céréales, de caoutchouc et de terre. Le *Coffea arabica* représente environ 60% de la production mondiale de café, tandis que le *Coffea robusta* représente environ 40% [12].

## 7. La composition du genre du *Coffea* :

La composition du *Coffea* est complexe, cette boisson contient plus de 1000 constituants. La richesse en composés dépend de l'espèce et de la variété (*arabica et robusta*), des méthodes de culture, de la maturité des baies, de la torréfaction et de la préparation. Le composé du café le plus connu est la caféine, mais cette boisson contient de nombreuses autres substances actives : antioxydants, vitamines, minéraux, oligo-éléments, polyphénols, les acides ...etc.

**Tableau 1** : *La composition des grains de café (g/100g)*

L'échantillon	Grains de café vert
Eau	9.05
Protéine	16.11
Gras	15.13
Hydrate de carbone	55.28
Cendre	4.43

## 8. Utilisation du caféier en médecine traditionnelle :

De nombreuses études ont examiné l'utilisation du café en médecine traditionnelle. En effet, différentes parties de la plante de café sont utilisées en médecine humaine et vétérinaire. Une étude ethnographique menée en 2014 a révélé que le café était utilisé dans le traitement de nombreux symptômes et maladies, tels que les maux d'estomac, la diarrhée, la grippe, la migraine, l'anémie, les maladies du foie et la fièvre. Par exemple, les Éthiopiens utilisent une boisson à base de lait, de miel et de pulpe de cerise de café pour traiter les intoxications accompagnées de nausées et de vomissements [13].

Dans d'autres régions, comme au Pérou, l'eau de café séchée est utilisée comme agent cardiotonique et neurotoxique dans le traitement de l'insuffisance cardiaque, tandis qu'en Inde, elle est utilisée pour traiter l'asthme. Les feuilles fraîches de café sont également utilisées en décoction et en infusion pour soulager les maux d'estomac et comme expectorant. Elles sont réputées pour leurs effets anti-inflammatoires et leur capacité à augmenter la production de prolactine.

Par ailleurs, le charbon de café a fait l'objet de nombreuses études récentes démontrant ses avantages potentiels, notamment la réduction du risque de diabète et la prévention du stress oxydatif [14].

---

## **Chapitre 2**

---

Les plantes jouent un rôle crucial pour la survie des êtres humains et des divers écosystèmes en raison de leur contenu en composés essentiels pour les réactions enzymatiques et biochimiques. Deux catégories de métabolites se distinguent : les métabolites primaires et les métabolites secondaires [15].

Les métabolites secondaires, ces composés organiques fascinants, révèlent la diversité et la richesse des produits de la nature. Bien que souvent considérés comme secondaires, ils jouent des rôles essentiels dans divers processus et applications, de la médecine traditionnelle à l'industrie. Dans ce chapitre, nous plongerons dans le monde des métabolites secondaires, explorant leur diversité, leurs fonctions et leurs implications.

### **1. Les métabolites primaires :**

Sont des composés essentiels impliqués dans la croissance, le développement et la reproduction normaux des organismes. Ces métabolites assurent des fonctions vitales telles que la construction des protéines (acides aminés), le stockage d'énergie et la formation des membranes cellulaires (lipides), la fourniture d'énergie et la constitution de la paroi cellulaire (glucides), ainsi que la transmission de l'information génétique (acides nucléiques). Ces composés, souvent appelés métabolites centraux, sont présents de manière universelle dans les organismes en croissance active [16].

### **2. Les métabolites secondaires :**

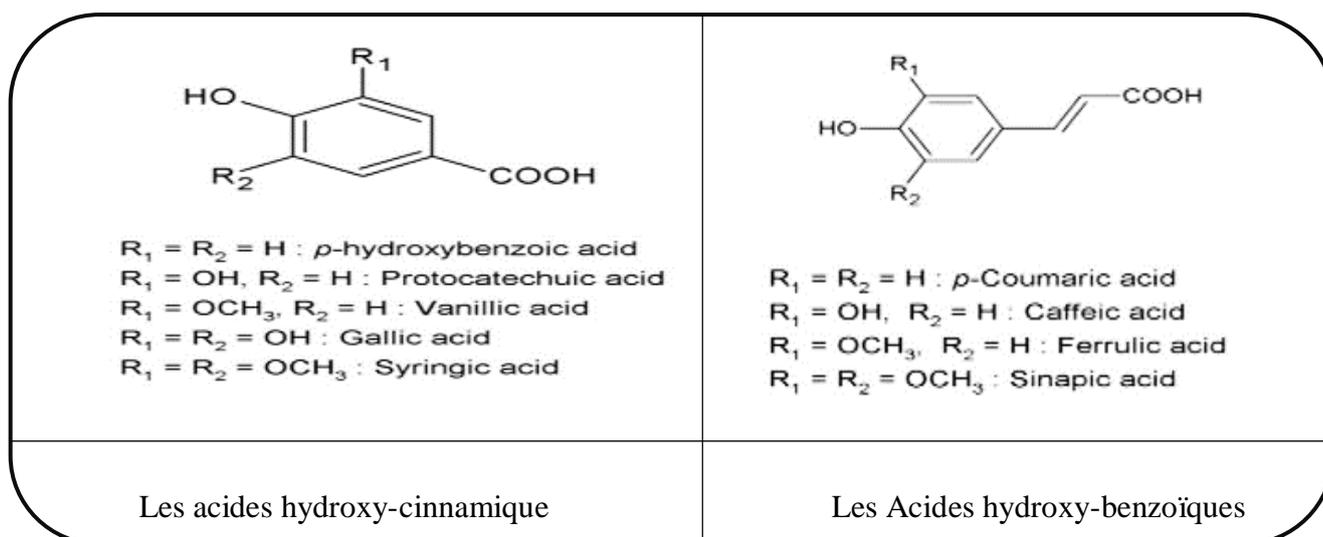
Sont largement répartis dans toutes les parties des plantes supérieures, avec des distributions variant d'une plante à l'autre en fonction de leurs rôles spécifiques. Ces composés sont responsables de fonctions périphériques qui, bien que non directement essentielles à la survie des plantes, sont cruciales pour leur adaptation et leur interaction avec leur environnement [15]. On les classe généralement en plusieurs groupes, tels que les composés phénoliques, les terpènes et les alcaloïdes, chacun présentant une diversité impressionnante de composés aux activités biologiques variées, notamment en biologie humaine [17].

### 2.1. Les composés phénoliques :

Les composés phénoliques constituent une vaste classe de substances organiques cycliques, variées, et d'origine secondaire, dérivant du phénol, un mono-hydroxy-benzène de formule  $C_6H_5OH$ . Ils sont largement répandus dans le règne végétal, se trouvant dans les racines, les feuilles, les fruits et l'écorce. La couleur, l'arôme et même l'astringence des plantes dépendent de la concentration et des modifications des phénols. En effet, ils représentent généralement de 2 à 3 % de la matière organique des plantes, et parfois jusqu'à 10 %, voire davantage, dans certains cas. Ces composés, à l'exception de rares cas tels que la lignine, jouent un rôle crucial dans les échanges cellulaires en tant que métabolites énergétiques, et participent activement à divers processus biologiques tels que la photosynthèse, la respiration, la croissance et la résistance aux maladies infectieuses. Dans la nature, ils sont souvent présents sous forme liée, notamment sous forme d'esters ou plus généralement d'hétérosides. De plus, on les retrouve également sous forme de polymères naturels, comme les tanins [18].

- **Les acides phénoliques :**

Ce sont des composés organiques qui contiennent au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. On les divise en deux sous-classes : les dérivés de l'acide hydroxy-benzoïque et de l'acide hydroxy-cinnamique (Figure 09) [19].



**Figure 09** : Structure des deux classes d'acide phénoliques

- **Les flavonoïdes :**

Les flavonoïdes, dérivés du mot latin "flavus" signifiant "jaune", représentent une vaste catégorie de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols [20]. Ils sont responsables des teintes jaunes, orange et rouges observées dans divers tissus végétaux [21].

Ces substances variées se présentent sous forme libre (aglycone) ou sous forme de glycosides, et sont largement répandues dans les plantes vasculaires, se trouvant dans une multitude d'organes tels que les racines, les tiges, les feuilles, les fleurs et les fruits. Leur présence est cruciale pour la protection des plantes [22].

- **Les tanins :**

Les tanins, un type de polyphénols présents dans diverses plantes comme l'écorce des arbres et les fruits (tels que les raisins, les dattes, le café, le cacao, etc.), présentent une structure moléculaire complexe composée d'unités répétitives monomères caractérisées par des différences dans leurs centres asymétriques et leurs niveaux d'oxydation. Chimiquement, les tanins ont la capacité de créer de nombreux complexes stables avec des protéines et d'autres polymères d'origine végétale tels que les polysaccharides [23].

## 2.2. Les composés azotés (les alcaloïdes) :

Un alcaloïde est un composé organique contenant de l'azote dérivé de plantes, possédant des propriétés alcalines et une configuration moléculaire hétérocyclique complexe [24].

On distingue trois classes d'alcaloïdes comme illustrer en figure 10 :

- **Alcaloïdes vrais :** sont bio synthétiquement formés à partir d'un acide aminé et comporte un atome d'azote dans un système hétérocyclique [25]. Ils sont présents dans les plantes, soit sous forme libre, soit sous forme de sel, soit comme N-Oxyde [24].
- **Pseudo-alcaloïdes :** représentent le plus souvent toutes les caractéristiques des alcaloïdes vrais, mais ne sont pas dérivés des acides aminés [25].

- **Proto-alcaloïdes** : sont des amines simples dont l'azote n'est pas inclus dans le système hétérocyclique [25], ils ont un caractère basique et sont élaborés in vivo à partir d'acide aminé. Ils sont souvent appelés « amines biologiques » et sont soluble dans l'eau [24].

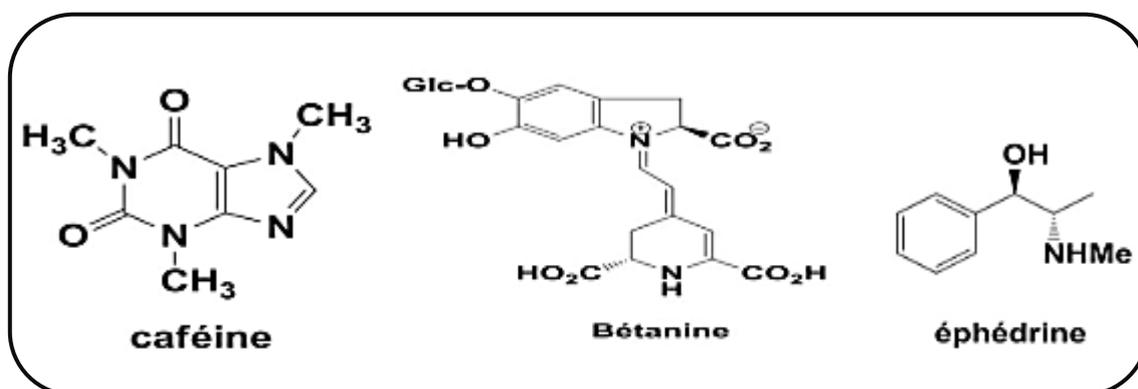


Figure 10 : Structure de quelques alcaloïdes

### 2.3. Les terpènes :

Les terpènes, une catégorie de composés naturels, présentent une large représentation et une importance chimique significative, témoignant d'un niveau de diversité remarquable. Ces composés constituent l'essence aromatique des plantes et dégagent un parfum distinctif attribué à l'émission de molécules hautement volatiles comprenant 10, 15 et 20 atomes de carbone [26]

### 2.4. Les quinones :

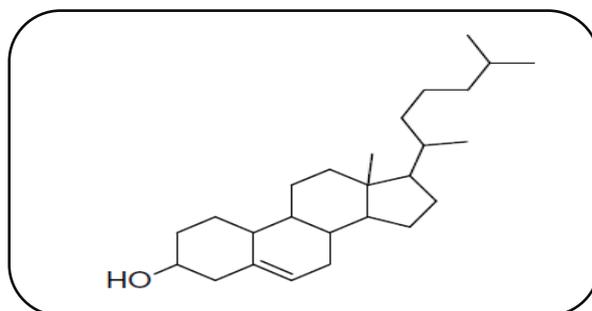
Ce sont des composés oxygénés qui correspondent à l'oxydation de dérivés aromatiques avec deux substitutions cétoniques. Elles sont caractérisées par un motif 1,4-dicéto cyclohexa-2,5-diéniq (para-quinones) ou, éventuellement, par un motif 1,2-dicéto cyclohexa-3,5-diéniq (Ortho-quinones). Elles sont ubiquitaires dans la nature, principalement dans le règne végétal et sont fortement réactives [27].

### 2.5. Les stérols :

Ceux-ci sont dérivés de phytostérols. Ces expressions courantes peuvent être trouvées dans :

Les lipides végétaux doivent être obtenus par l'alimentation. De nombreuses études ont montré que les phytostérols réduisent l'absorption du cholestérol dans l'intestin.

Un exemple bien connu de stérol est le cholestérol (figure 11). Leur structure générale se compose de 4 cycles ; les trois premiers ont 6 atomes de carbone et le dernier en a 5 [28].



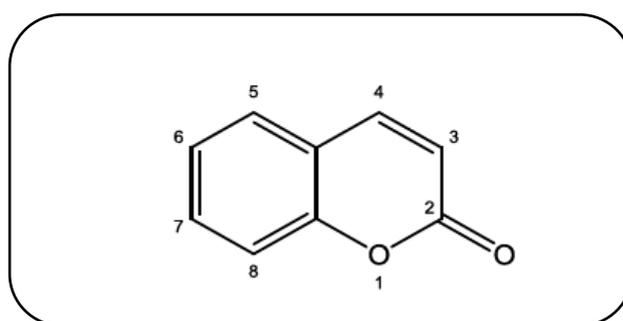
**Figure 11 :** Structure du *Cholestérol*.

### 2.6. Coumarines :

Les coumarines sont des composés obtenus par lactonisation d'acides coumariques. Elles sont généralement substituées par un hydroxyle en position C7 (Figure 12). Ces composés ont pour structure de base la benzo-2-pyrone.

À ce jour, plus de 1 000 composés de jeu ont été isolés, dont plus de 800 proviennent de plantes. La coumarine peut empêcher la peroxydation des lipides membranaires en piégeant les radicaux hydroxyles, superoxyde et peroxydes [29].

Selon leur structure, elles sont classées en coumarines simples avec substituants sur le noyau benzénique, furanocoumarines, pyranocoumarines, coumarines substituées en position 3 et/ou 4 [30].



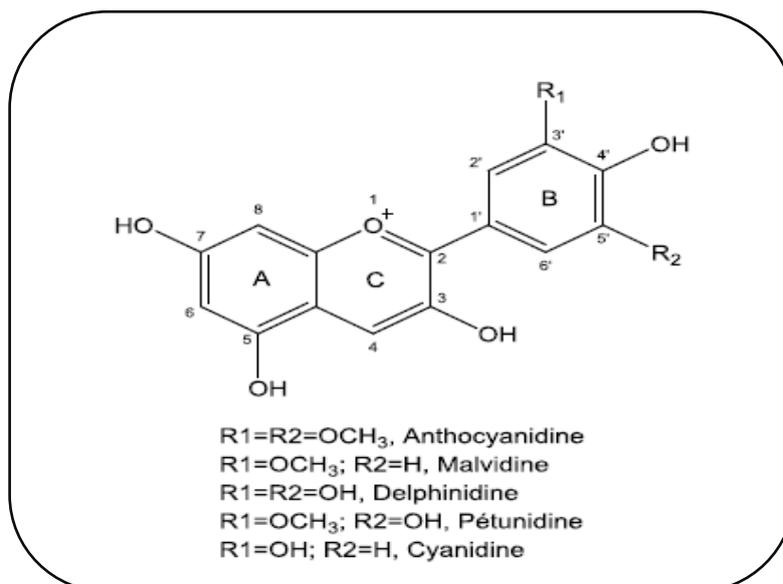
**Figure 12 :** Structure de la coumarines

### 2.7. Saponines :

Doivent leur nom au fait que, comme le savon, elles produisent de la mousse quand on les plonge dans l'eau.

Les saponines existent sous deux formes, les stéroïdes et les terpénoïdes. Ils se composent d'aglycones non polaires liés à un ou à plusieurs sucres (Figure 13).





**Figure 14 :** *Les différents types des anthocyanes*

---

## Chapitre 3

---

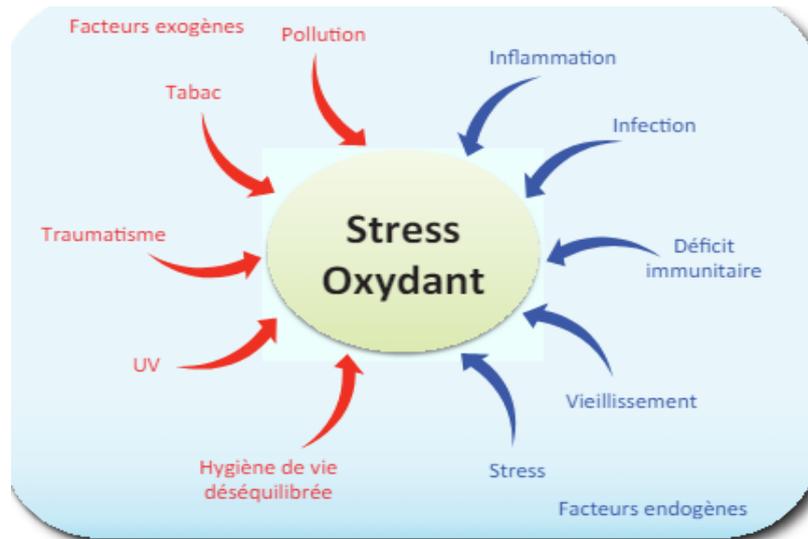
Ces dernières années, l'intérêt pour les antioxydants a considérablement augmenté, principalement en raison de leur association avec le stress oxydatif et diverses affections, notamment le cancer, la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson, le diabète, la neurodégénérescence, l'inflammation, les maladies cardiovasculaires et le processus de vieillissement [34]. Le café est reconnu pour sa teneur élevée en composés phénoliques, en particulier en acides chlorogéniques et leurs dérivés (tels que les acides caféique, férulique et coumarique). Parmi ces composés, l'acide 5-caféoylquinique (5-CQA) et d'autres substances comme la caféine et la trigonelline sont réputés pour leurs propriétés antioxydantes exceptionnelles [35].

## 1. Le stress oxydatif :

### 1.1. Définition :

Le stress oxydant, également appelé stress oxydatif, peut être décrit comme le phénomène par lequel les cellules sont soumises à des actions agressives de la part de radicaux libres, également appelés « espèces réactives de l'oxygène » (ERO), ces radicaux libres sont constitués d'atomes ou de molécules qui ont atteint un état d'instabilité extrême, les rendant hautement réactifs, leur permettant ainsi d'interagir avec divers composants cellulaires, ce qui leur est finalement infligé des dommages [36]. Cet état de déséquilibre résulte soit d'une production excessive d'espèces pro-oxydantes, soit d'une carence en antioxydants, soit les deux à la fois [37], entraînant ainsi un niveau élevé de biodisponibilité des ERO, provoquant ainsi une perturbation des mécanismes de signalisation redox et des processus de régulation cellulaire, entraînant ainsi des cas de dommages moléculaires [38].

Des facteurs pro-oxydants environnementaux, tels que le tabac, l'alcool, la pollution ou la prise des médicaments peuvent être à l'origine de l'apparition d'un stress oxydant (Figure 15) [39].

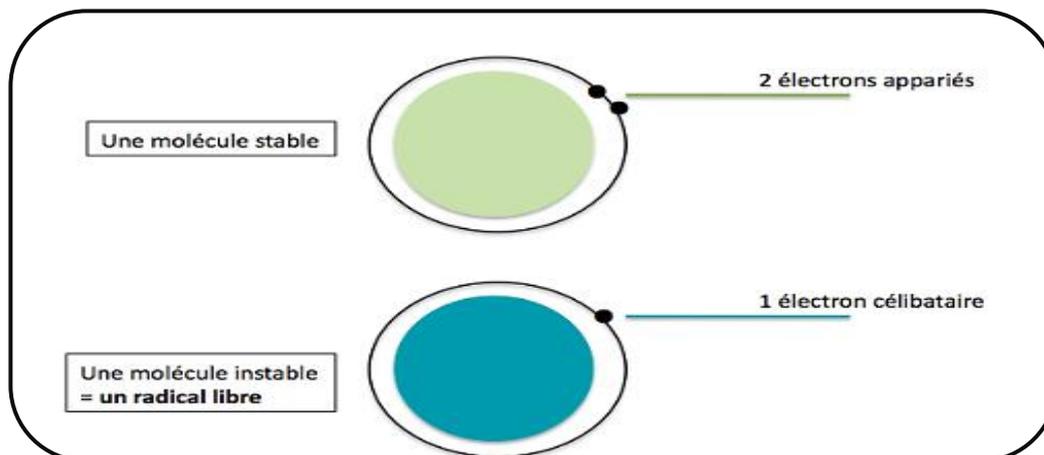


**Figure 15 :** Facteurs initiateurs de stress oxydant.

## 2. Les radicaux libres :

### 2.1. Définition :

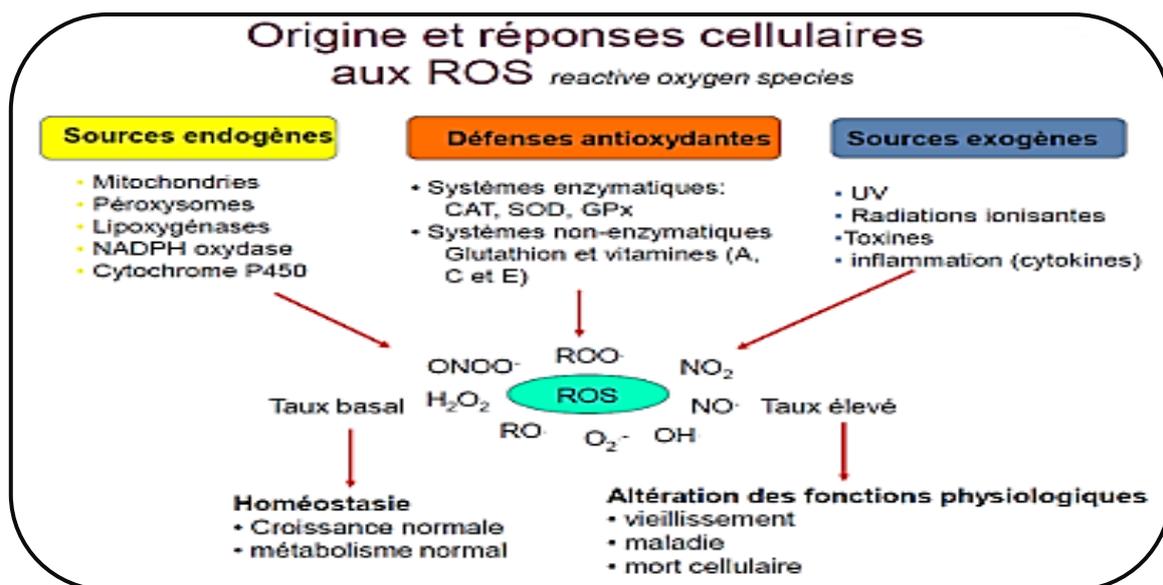
Les radicaux libres sont des espèces chimiques avec un ou plusieurs électrons non appariés, les rendant instables et réactifs. Ils agissent en enlevant des électrons à d'autres molécules, un processus appelé oxydation, les qualifiant d'agents oxydants (Figure 16) [40].



**Figure 16 :** Représentation d'un radical libre.

Lorsque cet électron solitaire réside sur un atome d'oxygène, on parle alors « d'espèce réactive de l'oxygène » (ERO) ou « reactive oxygen species » (ROS) [41]. Fondamentalement, le radical libre en question a tendance à atteindre la stabilité en acquérant un électron pour compléter son orbitale ; par conséquent, il subit une réduction par oxydation d'une autre espèce chimique [42]. Les radicaux libres sont des composés à base d'oxygène générés au cours de processus physiologiques normaux et dans des circonstances pathologiques spécifiques. Leur capacité à altérer les tissus provient de leur capacité à capter les électrons, induisant ainsi une instabilité de la molécule d'origine [43].

Les radicaux libres, provenant de diverses sources comme la pollution, le tabac et les processus métaboliques, sont omniprésents et peuvent causer des dommages cellulaires, surtout via le métabolisme cellulaire et les réponses inflammatoires (Figure 17).



**Figure 17 :** Schéma illustrant les origines et les réponses cellulaires aux espèces réactives de l'oxygène (ERO)

## 2.2. Principaux radicaux libres :

Parmi toutes les espèces réactives de l'oxygène, certains composés revêtent une importance particulière dans les processus physiologiques, appelés radicaux primaires. Ces radicaux primaires comprennent l'anion superoxyde ( $O_2^\bullet$ ), le radical hydroxyle ( $\bullet OH$ ), le monoxyde d'azote ( $NO^\bullet$ ), le radical peroxyde ( $ROO^\bullet$ ) et le radical alcoxyde ( $RO^\bullet$ ).

Les radicaux libres secondaires, tels que l'oxygène singlet ( $^1\text{O}_2$ ), le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) et le nitroperoxyde ( $\text{ONOOH}$ ), sont générés par l'interaction des radicaux libres primaires avec les composants biochimiques cellulaires [42].

Les principaux exemples de ces radicaux libres secondaires comprennent l'ion superoxyde, le peroxyde d'hydrogène, le radical hydroxyle, l'hypochlorite et le peroxyde nitrite (Tableau 02) [44].

**Tableau 02 : Différents espèces réactives.**

Nom	Formule
<b>Espèces Réactive de :</b>	
L'oxygène	$\text{O}_2$
Oxygène singlet	$^1\text{O}_2$
Radical superoxyde	$\text{O}_2^\cdot$
Peroxyde d'hydrogène	$\text{H}_2\text{O}_2$
Radical peroxyde (peroxyde lipidique)	$\text{ROO}^\cdot$
Radical alcoyle	$\text{RO}^\cdot$
<b>Espèces réactives de l'azote</b>	
Dioxyde d'azote	$\text{NO}_2^\cdot$
Peroxyde nitrite	$\text{ROONO}$
Radical peroxyde nitrite	$\text{ONOO}^\cdot$

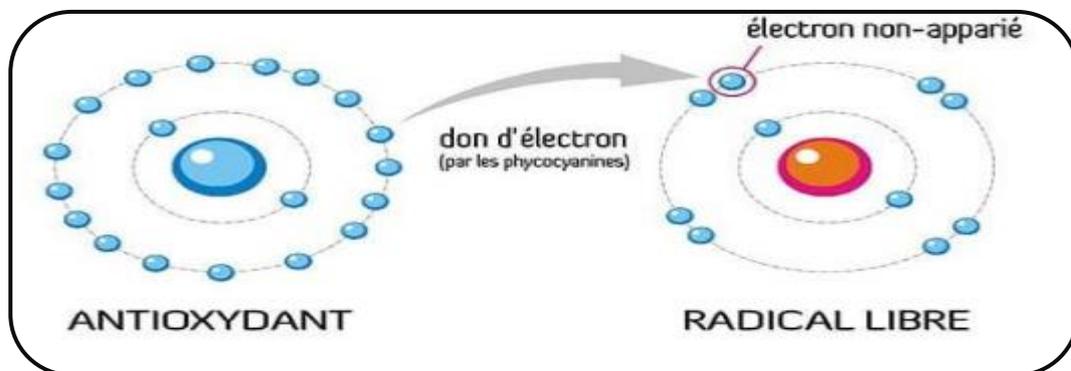
### 3. Les antioxydants :

#### 3.1. Définition :

Un antioxydant est défini comme une entité chimique, souvent complexe, qui agit pour réduire le processus d'oxydation d'un substrat au sein de l'organisme. Ces composés existent sous diverses formes et exercent une action préventive contre la formation des radicaux libres, tout en pouvant également participer à leur neutralisation, qu'ils soient considérés comme des antioxydants primaires ou secondaires [45].

Les antioxydants font partie intégrante de la prévention des dommages oxydatifs grâce à deux mécanismes principaux : tout d'abord, en empêchant la génération de radicaux libres en interrompant les réactions en chaîne susmentionnées, et deuxièmement, en neutralisant directement les espèces réactives de l'oxygène (ROS). Ces antioxydants sont classés

catégoriquement en fonction de leur mode de fonctionnement distinct, qui englobe les systèmes enzymatiques, les inhibiteurs des enzymes oxydatives, les chélateurs des métaux et les pièges à radicaux libres. Malgré la présence de mécanismes de défense antioxydants intrinsèques au sein de l'organisme, leur efficacité peut facilement être dépassée. Cela souligne l'importance des antioxydants alimentaires, provenant de divers fruits, légumes, boissons et épices, pour renforcer la lutte contre les dommages oxydatifs. L'efficacité de ces antioxydants provient de leur capacité à neutraliser directement les radicaux libres par le biais de réactions de réduction. Le spectre des antioxydants est varié et englobe à la fois des systèmes enzymatiques et non enzymatiques endogènes, ainsi que des vitamines, des oligo-éléments et des polyphénols (Figure 18) [46].



**Figure 18 :** Neutralisation d'un radical libre par un antioxydant.

### 3.2. Les types des antioxydants :

Pour neutraliser les effets néfastes des radicaux libres, nous pouvons renforcer nos défenses naturelles contre les oxydants en améliorant nos systèmes d'enzymes ou en augmentant nos apports en antioxydants par l'alimentation ou des médicaments.

#### 3.2.1. Endogène : antioxydants enzymatiques :

La cellule est dotée d'enzymes antioxydantes qui constituent des mécanismes de défense très efficaces pour l'élimination continue des radicaux libres primaires [47]. Les principales enzymes antioxydantes (**figure 19**) comprennent la superoxyde dismutase, la catalase, la glutathion peroxydase. Ces enzymes ont des séquences qui restent en grande partie inchangées tout au long de l'évolution et fonctionnent de manière synchronisée [48,49].

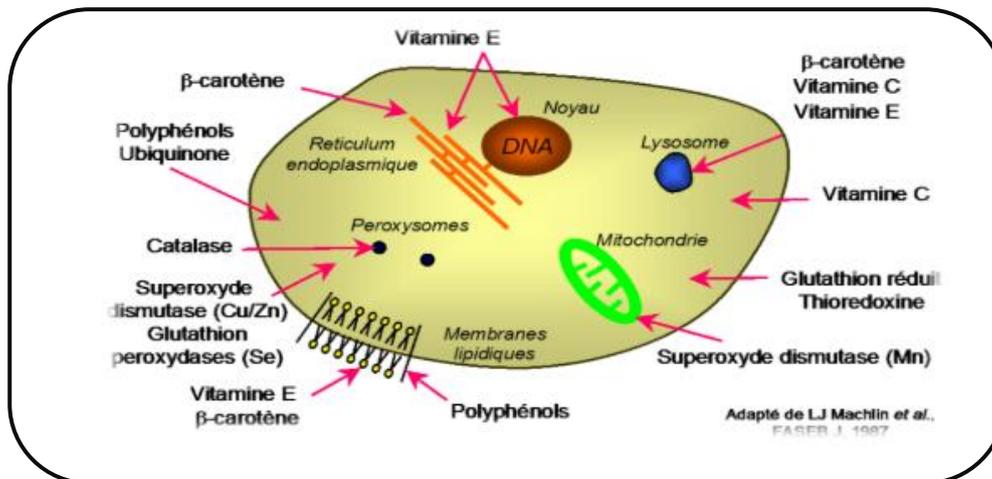


Figure 19 : Schéma des molécules intervenant dans les protections cellulaires

### 3.2.2 Exogène : antioxydants non enzymatiques :

Les antioxydants sont un groupe de composés capables de ralentir de manière significative l'impact des radicaux libres qui n'ont pas été neutralisés par les mécanismes de défense naturels de l'organisme. Ces composés sont d'origine externe, ce qui signifie qu'ils ne sont pas produits spontanément dans l'organisme. Les vitamines (A, E et C), le  $\beta$ -carotène, le lycopène, l'ubiquinol, la bilirubine, ainsi que des oligo-éléments tels que le zinc, le sélénium, le cuivre, le manganèse, des polyphénols spécifiques (flavonoïdes, phénols, acides) et certaines huiles essentielles sont des exemples d'antioxydants. Ils constituent la ligne de défense secondaire de l'organisme contre les radicaux libres [50,51].

### 3.3. Pouvoir antioxydant des polyphénols :

Ces composants sont couramment utilisés dans les pratiques médicales traditionnelles et contemporaines en raison de leurs propriétés antioxydantes. En raison de leurs caractéristiques redox importantes, les polyphénols agissent comme des agents qui réduisent le stress oxydatif, agissent comme des donneurs d'hydrogène en capturant les radicaux libres et se lient aux ions [52].

Ces dernières années, l'utilisation d'antioxydants naturels a suscité un intérêt croissant. La littérature reconnaît que la substitution des antioxydants synthétiques par leurs homologues naturels revêt de nombreux avantages.

La plupart des recherches scientifiques sur les antioxydants naturels ont été centrées sur les composés phénoliques, en particulier les flavonoïdes, en tant que sources potentielles de ces antioxydants bénéfiques [53].

### **3.4 Méthodes de détermination de l'activité antioxydante :**

Il existe plusieurs méthodes spectrophotométriques de détermination de l'activité antioxydante. On citera les méthodes les plus utilisées :

- Le test du 2,2-diphényl picrylhydrazyl (DPPH).
- Le test de l'acide 2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique (ABTS).
- La méthode TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)
- Le test ORAC (ou Oxygen Radical Absorbance Capacity)
- Le test FRAP (ou Ferric Reducing Ability of Plasma)

Dans notre travail, on a choisi d'utiliser le test du DPPH comme méthode d'évaluation des activités antioxydante de nos extraits.

Deuxième partie

---

Partie expérimentale

---

## Matériel et méthodes

---

## 1. Objectif de l'étude :

Dans le cadre de cette partie expérimentale, nous nous concentrons sur l'étude phytochimique du café vert, extrait des grains non torréfiés de *Coffea arabica* et *Coffea canephora*, ainsi que sur leur activité antioxydante. Cette étape cruciale de la recherche nous permettra d'explorer en profondeur la composition chimique de ces extraits et d'évaluer leur capacité à neutraliser les radicaux libres, contribuant ainsi à notre compréhension des bénéfices potentiels pour la santé associée à la consommation de café vert.

Le but principal de cette partie expérimentale est de réaliser une analyse détaillée des composés phytochimiques présents dans les extraits de café vert, en mettant en évidence les acides chlorogéniques, les polyphénols et les flavonoïdes, entre autres. Nous cherchons également à déterminer l'efficacité de ces extraits en tant qu'agents antioxydants, en utilisant des méthodes *in vitro* telles que les tests de piégeage des radicaux libres. Cette approche expérimentale nous permettra d'obtenir des données précieuses sur la composition et les propriétés antioxydantes du café vert, renforçant ainsi notre compréhension de ses implications potentielles pour la santé humaine.

## 2. Matériel et réactifs :

### ➤ Appareils utilisés :

- Spectrophotomètre UV-9200 de Biotech Engineering Management Co. Ltd (Figure 20)
- Agitateur magnétique chauffant.
- Balance.



**Figure 20:** Spectrophotomètre UV-9200 de Biotech Engineering Management Co. Ltd

➤ **Matériel végétal :**

- *Coffea arabica*
- *Coffea canephora (robusta)*

➤ **Réactifs chimiques :**

- Catéchine
- Acide gallique
- Folin-Ciocalteu
- Carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- Trichlorure d'aluminium  $\text{AlCl}_3$
- Nitrite de sodium  $\text{NaNO}_2$
- L'hydroxyde de sodium  $\text{NaOH}$
- Acide ascorbique (vitamine C)

### **3. Méthodes :**

#### **3.1 Dosage des composés phénoliques :**

L'analyse des composés phénoliques totaux (PPT) et des flavonoïdes totaux (FVT) présents dans différents extraits de plantes a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible. La quantification de ces composés a suivi une courbe d'étalonnage linéaire  $y = ax + b$  établie avec des substances standard, l'acide gallique pour les polyphénols totaux et la catéchine pour les flavonoïdes totaux, à différentes concentrations dans des conditions

similaires à celles des échantillons. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique ou de catéchine pour 100 grammes de matière végétale sèche.

### 3.2 Préparation des extraits :

Un gramme de poudre végétale dérivée de *Coffea arabica* et de *Coffea canephora* est soumis à une macération avec 10 ml de solvant composé d'un mélange de 7 parties de méthanol et 3 parties d'eau, ainsi que de méthanol absolu, tout en agitant pendant 24 heures dans un environnement à l'abri de la lumière. Le filtrat obtenu est immédiatement utilisé pour l'analyse afin de prévenir toute dégradation.

### 3.3 Dosage des polyphénols totaux

#### 3.3.1. Principe :

Les polyphénols sont généralement évalués au moyen de techniques colorimétriques largement utilisées en raison de leur facilité d'utilisation et de leur haut niveau de sensibilité. La méthode Folin-Ciocalteu est utilisée pour déterminer la quantité totale de polyphénols. Cette méthode implique l'utilisation d'un réactif acide jaune connu sous le nom de Folin-Ciocalteu, comprenant un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ). Au fur et à mesure que les phénols subissent une oxydation, le réactif est converti en un mélange bleu d'oxydes de tungstène et de molybdène. La couleur obtenue, avec un pic d'absorption à 760 nm, est directement proportionnelle à la concentration de polyphénols dans les extraits de plantes.

#### 3.3.2 Mode opératoire :

1 ml d'extrait de plante ou de solution d'acide gallique (10, 25, 50, 100, 150, 200 mg/l), dilué de manière appropriée, est ajouté à une fiole jaugée de 25 ml avec 9 ml d'eau distillée initialement. Ensuite, 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu est inclus et la solution est mélangée. Ensuite, une solution de  $Na_2CO_3$  à 7 % (10 ml) est ajoutée sous agitation après 5 minutes. Le mélange est rapidement dilué, ajusté à la ligne de repère avec de l'eau distillée et agité vigoureusement. Après une période d'incubation de 90 minutes dans l'obscurité à température ambiante, l'absorbance est déterminée à 760 nm en utilisant du méthanol comme blanc dans un spectrophotomètre.

### **3.4. Dosage des flavonoïdes totaux :**

#### **3.4.1. Principe :**

Le dosage des flavonoïdes totaux a été effectué en employant le trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) en tant que réactif. En présence de soude, ce dernier réagit avec les flavonoïdes pour former un complexe coloré rose, absorbant la lumière dans la plage visible à 510 nm. La catéchine a été utilisée comme référence standard pour cette méthode.

#### **3.4.2. Mode opératoire :**

L'extrait, dilué convenablement (1 ml), ou la solution de catéchine (à des concentrations de 10, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 et 500 mg/l), est ajouté à une fiole jaugée de 10 ml contenant préalablement 4 ml d'eau distillée. À l'instant  $t=0$ , 0,3 ml de  $\text{NaNO}_2$  à 5% (P/V) est ajouté. Après 5 minutes, 0,3 ml d' $\text{AlCl}_3$  à 10 % est introduit, suivi de l'addition, 6 minutes plus tard, de 2 ml de  $\text{NaOH}$  à 1M. Le mélange réactionnel est immédiatement dilué avec 2,4 ml d'eau distillée et agité vigoureusement.

L'absorbance de la solution rose ainsi obtenue est mesurée à 510 nm par rapport à un blanc contenant du méthanol, à l'aide d'un spectrophotomètre (UV-visible). La teneur en flavonoïdes totaux des différentes parties de la plante est exprimée en équivalents de mg de catéchine (mg EC) pour 100 g de matière sèche. Chaque essai est réalisé au moins trois fois, et une droite d'étalonnage avec la catéchine est préalablement établie dans les mêmes conditions que les échantillons à analyser.

### **3.5 Etude de l'activité antioxydante :**

#### **3.5.1 Préparation des extraits :**

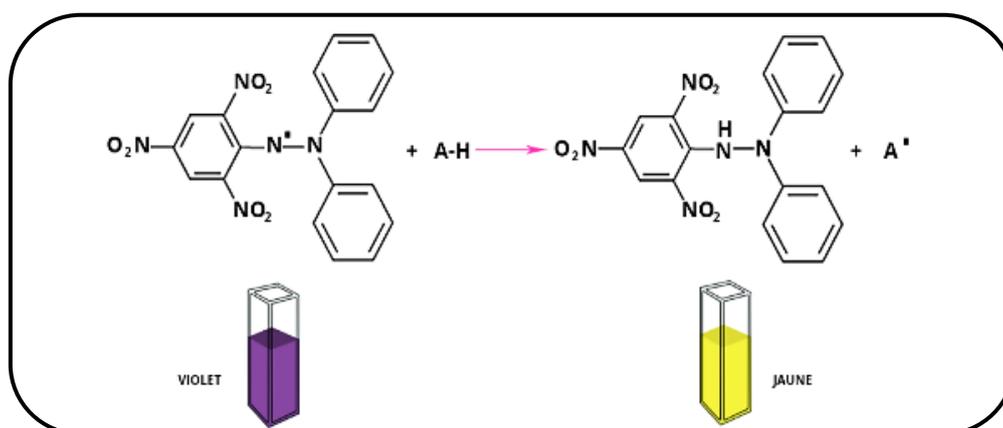
1 gramme de matière végétale broyée est macérée dans 10 ml de solvant pendant 24 heures sous agitation. Après filtration, le filtrat obtenu est fraîchement utilisé pour l'analyse.

#### **3.5.2 Méthodes utilisées :**

L'évaluation de l'activité antioxydante d'un produit peut se réaliser selon plusieurs méthodes. Au cours de cette étude nous avons choisi d'évaluer l'activité antioxydante par deux tests : test DPPH.

➤ **Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)**

Il repose sur la réduction d'une solution alcoolique du radical DPPH<sup>•</sup> en présence d'un antioxydant donneur d'hydrogène (AH), entraînant la formation de la forme non radicalaire DPPH-H. Initialement, la présence du radical DPPH<sup>•</sup> confère une coloration pourpre foncé à la solution, avec une forte absorption à 517 nm. Au fur et à mesure de la réaction, l'intervention d'un agent antioxydant induit une décoloration de la solution, modifiant ainsi sa colorimétrie.



**Figure 21** : Réaction chimique de test DPPH

➤ **Méthode :**

0,1 ml de l'extrait de la plante est ajouté à 2,9 ml de DPPH à une concentration de 100 µmol dans le méthanol. Le mélange réactionnel ainsi formé est ensuite placé à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. Par la suite, l'absorbance est mesurée à 517 nm en utilisant comme référence un blanc composé de 2,9 ml de DPPH et 0,1 ml de méthanol, qui accompagne chaque série de lectures.

Une courbe d'étalonnage est élaborée à l'aide de solutions d'acide ascorbique (vitamine C) préparées à différentes concentrations (10, 25, 50, 150, 200, mg/l).

L'activité antioxydante mesurée est exprimée en milligrammes équivalents vitamine C par 100 grammes de matière sèche (mg EVC/g).

---

## Résultats et discussion

---

## 1- Screening phytochimique :

Le screening phytochimique nous a permis de mettre en évidence la présence des métabolites secondaires dans les types de café (*Coffea arabica* et *Coffea canephora* (*robusta*)). La détection de ces composés est basée sur des essais de solubilité des constituants, des réactions de précipitation et de turbidité, ainsi qu'un changement de couleur spécifique. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 3 : Résultats de criblage phytochimique**

Métabolites secondaires	<i>Coffea arabica</i>	<i>Coffea canephora</i>
Flavonoïdes	++	+++
Cardinolides	-	-
Anthocyanes	+	+
Tanins	+++	+++
Saponines	-	-
Stérols et terpènes	++	++

Les résultats sont interprétés comme suit :

(+) : Présence, (++) : Présence moyenne, (+++) : Présence fort, (-) : Absence.

## 2. Dosage des composés phénoliques :

Dosage des composés phénoliques en équivalent d'acide gallique et de catéchine, des extraits aqueux des grains de café vert du *Coffea arabica* et du *Coffea canephora*, a été effectué par tracer les courbes d'étalonnage des solutions standards d'acide gallique (figure 22) et de catéchine (figure 23). La détermination des teneurs de polyphénols totaux et de flavonoïdes totaux selon la relation suivante :

$$T = \frac{C.V.100}{m}$$

C : concentration en mg/l

V : Volume utilisé en litre

m : masse de la poudre de plante en g.

### 2.1. Dosage des polyphénols totaux :

Les résultats de l'analyse spectrophotométrique de la teneur en polyphénols totaux sont indiqués dans le tableau 04, ils sont aussi représentés par les figures 22 ,23 et 24.

Ces résultats sont exprimés en milligrammes équivalents à l'acide gallique (mg EGA) par 100 grammes de matière sèche.

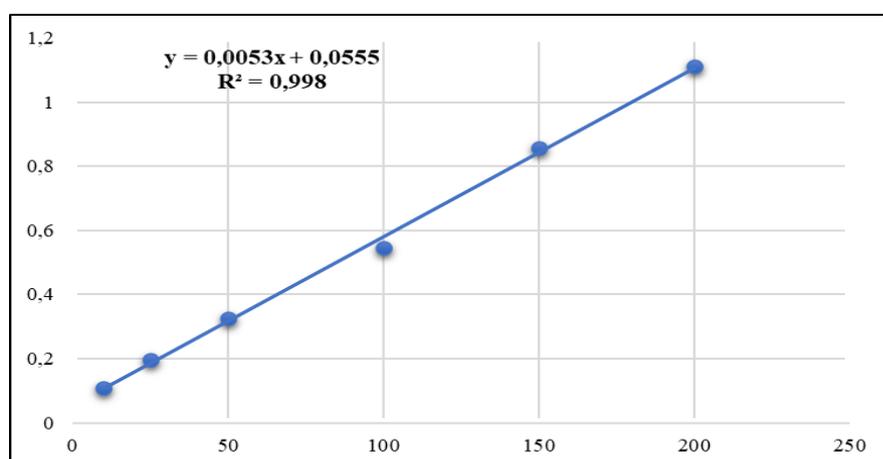


Figure 22 : Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux

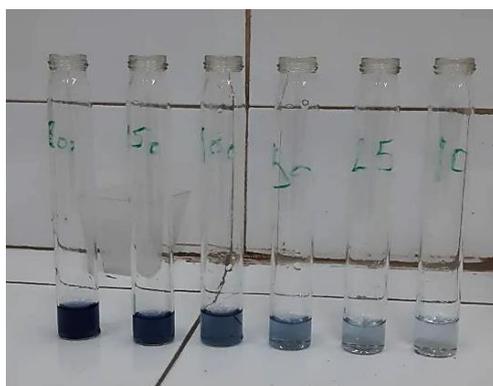
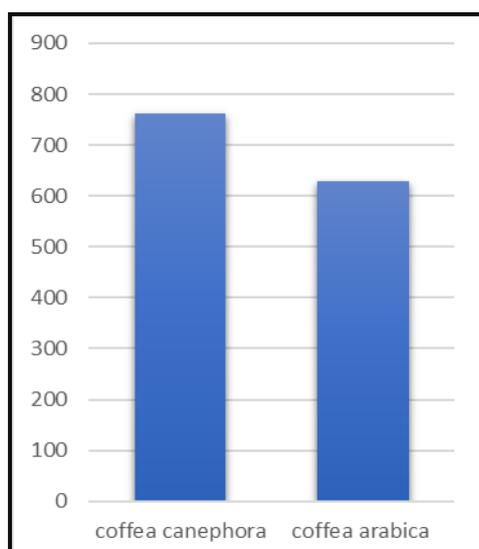


Figure 23 : Photo présente le test des polyphénols



**Figure 24 :** Histogramme de la teneur en polyphénols exprimée en mg EGA/100g MS

- Le dosage des composés phénoliques totaux contenus dans les extraits aqueux des graines de café vert a révélé des teneurs en composés phénoliques variant de 629,8 mg EAG/100 g MS (extrait H<sub>2</sub>O) pour le *Coffea arabica* à 762,6 mg EAG/100 g MS (extrait H<sub>2</sub>O) pour le *Coffea canephora*. D'après la figure 24, on s'aperçoit que le *Coffea canephora* possède une teneur en polyphénols plus élevée par rapport au *Coffea arabica*.

## 2.2. Dosage des flavonoïdes totaux :

Les résultats de l'analyse spectrophotométrique des flavonoïdes totaux sont obtenus en se basant sur les valeurs d'absorbance des solutions d'extraits, comparées à celles de la solution étalon de catéchine. Les résultats sont indiqués dans le tableau 04, et aussi représentés par les figures 25, 26 et 27. La teneur en flavonoïdes est exprimée en milligramme équivalents à la catéchine. Ils se rapportent à 100 grammes de matière sèche.

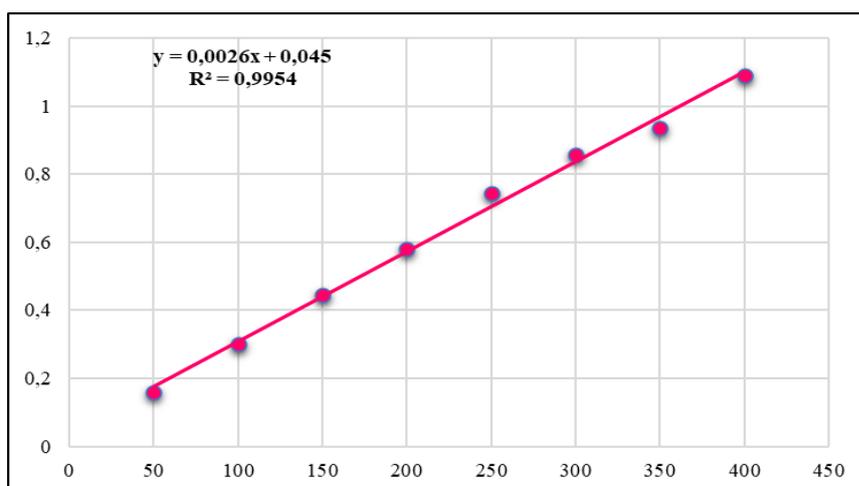


Figure 25 : Courbe d'étalonnage des flavonoïdes totaux

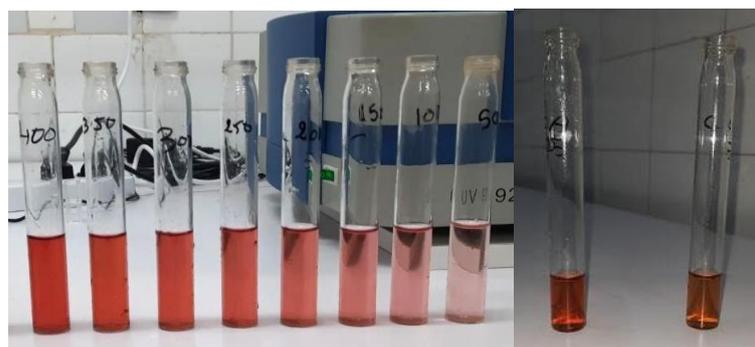
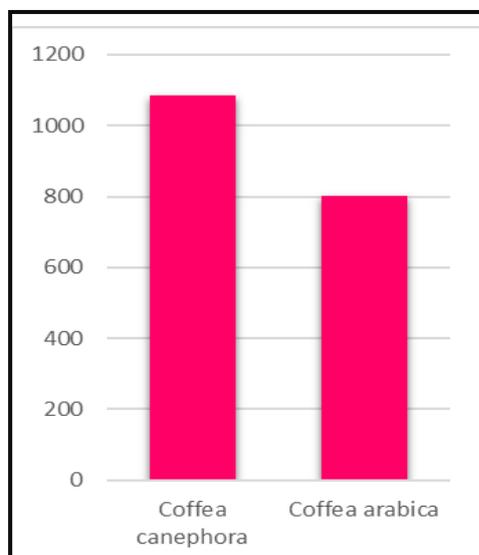


Figure 26 : Photo présente le test des flavanoides

- À partir de ces résultats, on observe que la quantité de flavonoïdes totaux varie à travers les deux variétés de l'espèce étudiée. Les teneurs sont plus importantes dans l'extrait de *Coffea canephora* que dans celui de *Coffea arabica*, avec des valeurs de 1086,5 mg EC/100 g de MS et 801,9 mg EC/100 g de MS, respectivement.

Tableau 04 : Teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux

	TPT exprimée en mg EAG/100g MS	TFT exprimée en mg EC/100g MS
Graines de <i>Coffea arabica</i>	762.6	629.8
Graines de <i>Coffea canephora</i>	1086.5	801.9



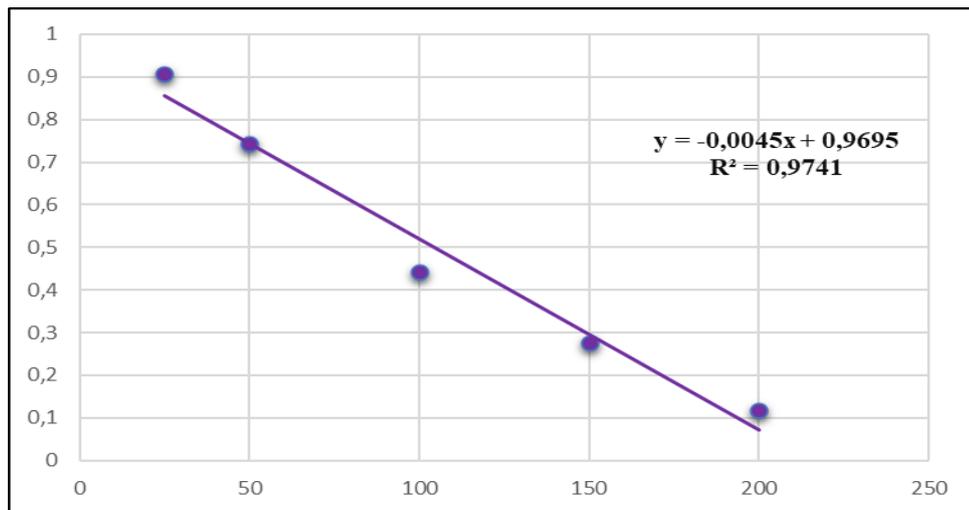
**Figure 27 :** Histogramme de la teneur en flavonoïdes exprimée en mg EC/100g MS

- On remarque que la teneur en flavonoïdes de l'extrait aqueux des grains de *Coffea canephora* est plus élevée que celle de l'extrait d'*arabica*. Ce résultat est en corrélation avec la teneur en polyphénols totaux.

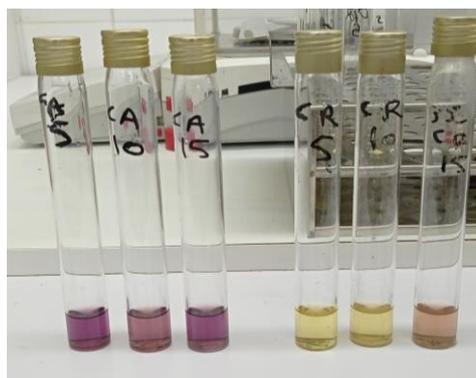
### 3. Étude de l'activité antioxydante :

Dans la présente étude, la méthode utilisée pour estimer la capacité antioxydante *in vitro* des extraits aqueux des deux genres de *Coffea* est la méthode du pouvoir piègeur du radical DPPH<sup>•+</sup>, ou test DPPH. Ce test a été choisi, parmi les tests les plus cités dans la littérature, pour sa facilité de mise en œuvre.

L'activité de piégeage du radical DPPH peut également être exprimée en mg d'équivalente vitamine C (EVC). La solution de stock de radicaux a été préparée quotidiennement, et les résultats sont présentés dans les figures 28, 29 et 30.

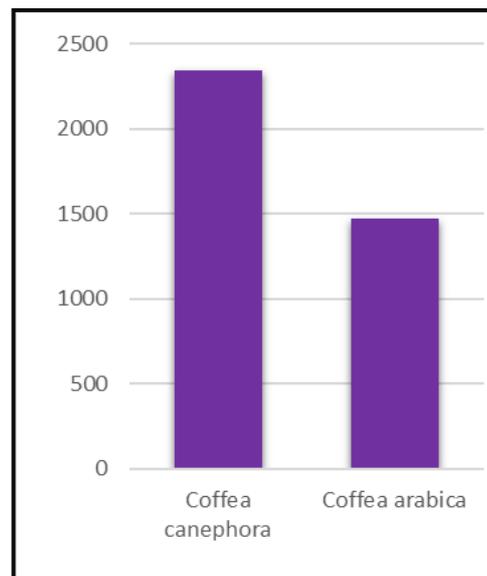


**Figure 28 :** Courbe de la vitamine C en utilisant le test DPPH.



**Figure 29 :** Photo présente le test de DPPH

- Ce test a confirmé l'efficacité du café vert en tant qu'antioxydant, avec des valeurs exprimées en mg EVC. Les résultats ont montré que l'extrait aqueux des graines de *Coffea canephora* possède un pouvoir antioxydant plus puissant que celui des graines de *Coffea arabica*, avec respectivement 2340,15 mg EVC/100 g MS et 1471,5 mg EVC/100 g MS (figure 30).
- Ces résultats sont bien corrélés avec les teneurs en composés phénoliques totaux (PT) et en flavonoïdes totaux (FT).



**Figure 30 :** Histogramme de la capacité antioxydante exprimée en mg EVC/100g MS déterminée par le test DPPH.

- En comparaison avec d'autres études rapportées dans la littérature, nos résultats montrent que l'extrait de *Coffea canephora* possède une teneur plus élevée en flavonoïdes et un pouvoir anti-radicalaire supérieur à celui de *Coffea arabica*.
- Cette observation est confirmée par plusieurs recherches antérieures, comme Smith et al. (2018) et Johnson et al. (2019) [53,54] ont montré que *Coffea canephora* contient généralement une concentration plus élevée de flavonoïdes que *Coffea arabica*. De plus, des études comparatives sur l'activité antioxydante, telles que celles de Lee et al. (2021) [55] ont révélé que les extraits de *Coffea canephora* présentent une efficacité antioxydante plus élevée, corroborant ainsi les résultats obtenus dans notre recherche. Ces études soulignent la supériorité de *Coffea canephora* en termes de propriétés bioactives, ce qui pourrait en faire une option plus avantageuse pour les applications nécessitant des antioxydants puissants.

### Conclusion générale

Le café vert, qui est une boisson très consommée, extraite des grains non torréfiés des plantes *Coffea arabica* et *Coffea canephora*, est connu pour leurs nombreuses propriétés due à la présence des composés bioactifs. Dans notre travail on a réalisé une étude phytochimique sur les grains, qui ont été analysés par le screening phytochimique, et les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux ont été mesurées. Suivi par l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits, qui ont été évaluée à travers l'analyse *in vitro* par le test DPPH.

L'étude phytochimique des extraits aqueux des grains de *Coffea* met en évidence leur richesse en antioxydants, avec une forte présence de composés phénoliques et surtout de flavonoïdes. Ces deux variétés de la plante *Coffea* contiennent également d'autres familles de composés tels que les tanins et les anthocyanines. En revanche, les cardénolides sont absents dans les graines des deux variétés. Les polyphénols totaux sont présents avec des teneurs de 762,6 mg et 629,8 mg EAG/100 g MS, et les flavonoïdes totaux présentent des teneurs de 1086,5 mg et 801,9 mg EC/100 g MS, pour les extraits de *Coffea canephora* et *Coffea arabica*, respectivement. La richesse des graines des variétés *Coffea* en composés phénoliques permet d'expliquer leur large utilisation.

Il ressort de l'étude *in vitro* du pouvoir antioxydant de l'extrait aqueux des graines du *Coffea canephora* exhibent plus de valeur estimée par la méthode DPPH à 2340.15 mg et que l'extrait arabica de 1471.5 mg EVC/100 g de MS. Ces résultats présentent une bonne corrélation positive avec les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux.

En conclusion, les résultats obtenus méritent d'être complétés. Il serait intéressant d'évaluer d'autres activités pharmacologiques de cette plante largement consommée.

### Références bibliographiques

- [01] R. Badoud and W. Bauer, "Le café," in Les boissons, Université de Lausanne, 2001, pp. 11-23.
- [02] H. Benkahla et K. Makhlof, "La place du café dans l'alimentation des Algériens," Mémoire de recherche, Université de Mostaganem, Algérie, 2019.
- [03] K. Fujioka and T. Shibamoto, "Chlorogenic acid and caffeine contents in various commercial brewed coffees," *Journal of Food Chemistry*, vol. 106, pp. 217-221, 2008.
- [04] A. S. Franca et L. S. Oliveira, "Coffee," dans *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural by Products*, Elsevier, 2019. [En ligne]. Disponible : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00017-4>. Consulté le : 02 avr. 2024.
- [05] "Le caféier : l'arbre, ses fleurs, ses fruits - Tout sur le café [Internet]," [En ligne]. Disponible : <https://www.toutsurlecafe.fr/le-cafeier-larbre-ses-fleurs-ses-fruits.html>. [Cité : 14 avril 2020]. Consulté le : 26 avril 2024.
- [06] J. K. Houessou, "Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le café : mise au point de méthodes analytiques et étude de l'étape de torréfaction," Thèse de doctorat, Ecole Doctorale ABIES, Paris, 2007.
- [07] "Caféier d'Arabie, Coffea arabica [Internet]," Au.Jardin.info. [En ligne]. Disponible : <https://www.aujardin.info/plantes/coffea-arabica.php>. Consulté le : 27 avril 2024.
- [08] A. Farah et T. F. dos Santos, "The Coffee Plant and Beans," in *Coffee in Health and Disease Prevention*, Elsevier, 2015, pp. 5-10. [En ligne]. Disponible : <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2>. Consulté le : 01 mai 2024.
- [09] M. Joackim, "Post-récolte gestion et traitement du café dans les pays africains," *COFFEE*, FAO, 2000, p. 34.
- [10] J. K. Justin, "Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le café : mise au point de méthodes analytiques et étude de l'étape de torréfaction," Thèse de doctorat, École Doctorale ABIES, Laboratoire De Chimie Analytique, Paris, 2007, pp. 67-99.
- [11] FAO, "Food and agriculture organization of United Nations," [En ligne]. Disponible : [www.fao.org](http://www.fao.org). Consulté le : 01 mai 2024.
- [12] "Arabica vs Robusta - Tout sur le café [Internet]". Disponible : <https://www.toutsurlecafe.fr/arabica-vs-robusta.html>. Consulté le : 01 mai 2024.

- [13] Malongo. (2011). Café Malongo, La culture du café. Disponible : <http://www.malongo.com/fr/public/culture.html>. Consulté le : 10 mai 2024.
- [14] A. Belayneh et N. F. Bussa, "Ethnomedicinal plants used to treat human ailments in the prehistoric place of Harla and Dengego valleys, eastern Ethiopia," *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, vol. 10, no. 1, p. 18, 2014.
- [15] T. Hartmann, "From waste products to Eco chemicals, fifty years research of plant secondary metabolism," *Phytochemistry*, vol. 68, no. 22-24, pp. 2831–2846, 2007.
- [16] F. Epifano, S. Genovese, L. Menghini, et M. Curini, "Chemistry and pharmacology of oxyprenylated secondary plant metabolites," *Phytochemistry*, vol. 68, p. 939, 2007.
- [17] S. Krief, "Métabolites secondaires des plantes et comportement animal," thèse de doctorat, Muséum national d'histoire naturelle, 32 p., 2003.
- [18] S. Maamri, "Etude de Pistacia atlantica de deux régions du sud Algérien : dosage des lipides, dosage des polyphénols, essais antileishmaniens," thèse de doctorat, Université de Boumerdès-M'hamed Bougara, p. 15, 2008.
- [19] J. Bruneton, "Acides phénols," in *Pharmacognosie, phytochimie et plantes médicinales*, Ed. Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 2008, pp. 198-260.
- [20] I. Bouakaz, "Etude phytochimique de la plante Genista microcephala," Mémoire de magister, 2006.
- [21] B. H. Havsteen, "The biochemistry and medical significance of the flavonoids," *Pharmacology & Therapeutics*, vol. 96, pp. 67-202, 2002.
- [22] J. Bruneton, *Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales*, 2ème éd., Lavoisier, Paris, 1993.
- [23] S. Djedaia, "Etude physico-chimique et caractérisation du fruit de la plante lentisque (Pistacia lentiscus L.)," Université Badji Mokhtar Annaba, p. 143, 2017.
- [24] M. Badiaga, "Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de Nauclea latifolia Smith, une plante médicinale africaine récoltée au Mali," Thèse de doctorat, Université de Bamako, p. 10, 2011.
- [25] J. Bruneton, *Pharmacognosie et Phytochimie des plantes médicinales*, 3ème éd., Médicales internationales et Tec & Doc Lavoisier, Paris, 1999.

- [26] R. Seghiri, "Recherche et détermination structurale des métabolites secondaires du genre Centaure," Thèse de doctorat, Université de Constantine, p. 12, 2009.
- [27] M. M. Cowan, "Plant products as antimicrobial agents," *Clinical Microbiology Reviews*, vol. 12, no. 4, pp. 564-582, 1999.
- [28] F. N. Muanda, "Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques," Thèse de Doctorat, Université Paul Verlaine-Metz, pp. 55-86, 2010.
- [29] C. M. Andersson, A. Hallberg, et T. Hogberg, "Advances in the development of pharmaceutical antioxidants," *Advances in Drug Research*, vol. 28, pp. 65-180, 1996.
- [30] H. Sakagami, K. Hashimoto, F. Suzuki, T. Ogiwara, K. Satoh, H. Ito, T. Hatano, Y. Takashi, et S. Fujisawa, "Molecular requirements of lignin-carbohydrate complexes for expression of unique biological activities," *Phytochemistry*, vol. 66, no. 17, pp. 2108-2120, 2005.
- [31] *Encyclopédie Larousse des plantes médicinales*, Ed. Larousse, Hong Kong, 2001, pp. 7-52.
- [32] G. Mazza et E. Miniati, *Anthocyanins in Fruits, Vegetables and Grains*, CRC Press, Boca Raton, 1993, pp. 234, 132, 88.84.
- [33] J. M. Kong, L. S. Chia, N. K. Goh, T. F. Chia, et R. Brouillard, "Analysis and biological activities of anthocyanins," *Phytochemistry*, vol. 64, pp. 923-933, 2003.
- [34] A. Nehlig, "Les propriétés antioxydantes du café," *Hegel*, vol. 2, no. 2, p. 220a, 2016.
- [35] J. A. Vignoli, M. C. Viegas, D. G. Bassoli, et M. de T. Benassi, "Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of Arabica and Robusta coffees," *Food Research International*, vol. 61, pp. 279-285, juillet 2014.
- [36] J. Bonnefont, "Stress oxydant et vieillissement," *Revue de Gériatrie et d'Andologie*, vol. 68, no. 2, pp. 131-138, 2013.
- [37] A. Picchi, S. Gao, B. J. Potter, M. Focardi, W. M. Chilian, et C. Zhang, "Tumor Necrosis Factor-Alpha Induces Endothelial Dysfunction in the Prediabetic Metabolic Syndrome," *Circulation Research*, vol. 99, pp. 69-77, 2006.
- [38] A. C. Montezano, H. Dulak-Lis, S. Tsiropoulou, A. Harvey, A. M. Briones, et R. M. Touyz, "Oxidative stress and human hypertension: vascular mechanisms,

biomarkers, and novel therapies," *Canadian Journal of Cardiology*, pp. 631-641, 2015.

[39] M. Valko, H. Morris, et M. T. D. Cronin, "Metals, toxicity and oxidative stress," *Current Medicinal Chemistry*, vol. 12, pp. 1161-1208, 2005.

[40] Y. Gilgun-Sherki, E. Melamed, et D. Offen, "Oxidative stress induced-neurodegenerative diseases: the need for antioxidants that penetrate the blood brain barrier," *Neuropharmacology*, vol. 40, pp. 959-975, 2001.

[41] D. Durand, M. Damon, et M. Gobert, "Le stress oxydant chez les animaux de rente : Principes généraux," *Cahiers de nutrition et de diététique*, vol. 48, pp. 218-224, 2013.

[42] A. Favier, "Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique," *Actualité Chimique*, vol. 11, no. 12, pp. 108-117, 2003.

[43] E. Filane et H. Toumi, "Rôle des dérivés réactifs de l'oxygène et de l'exercice physique sur le métabolisme osseux," *Revue de Rhumatisme*, vol. 79, pp. 387-392, 2012.

[44] C. Ichai, H. Quintard, et J. C. Orban, *Désordres métaboliques et réanimation : de la physiopathologie au traitement*, Springer-Verlag France, 2011, pp. 427-428.

[45] A. Guillouty, "Plantes médicinales et antioxydants," thèse pour le Diplôme d'état de Docteur en Pharmacie, Université Toulouse III Paul Sabatier, 2016.

[46] T. Desmier, "Les antioxydants de nos jours : définition et applications," thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie, Université de Limoges, 2016.

[47] T. M. Chaouch, "Contribution à l'étude des activités anti oxydantes et antimicrobiennes des extraits de quelques plantes médicinales," Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2014..

[48] A.C.M. Arisi, G. Cornic, L. Jouanin, and C.H. Foyer, "Overexpression of iron superoxide dismutase in transformed poplar modifies the regulation of photosynthesis at low CO<sub>2</sub> partial pressures or following exposure to the prooxidant herbicide methyl viologen," *Plant Physiology*, vol. 117, no. 2, pp. 565-574, 1998.

[49] E. Bouchouka, "Extraction des polyphénols et étude des activités antioxydante et antibactérienne de quelques plantes sahariennes," Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2016.

- [50] K. E. Heim, A. R. Tagliaferro, et D. J. Bobilya, "Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships," *The Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 13, no. 10, pp. 572-584, 2002.
- [51] S. Bakasso, "Études phytochimiques et potentialités biologiques de cinq espèces d'Indigofera (Fabaceae) utilisées en médecine traditionnelle au Burkina Faso," Thèse de Doctorat, Université d'Ouagadougou, 2009.
- [52] C.A. Rice-Evans, N.J. Miller, et G. Paganga, "Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids," *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 20, no. 7, pp. 933-956, 1996. M. Valko, C.J. Rhodes, J. Moncol, M. Izakovic, et M. Mazur, "Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer," *Chemico-Biological Interactions*, vol. 160, no. 1, pp. 1-40, 2006.
- [53] S. Dontha, "A review on antioxidant methods," *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 9, no. 2, pp. 14-32, 2016.
- [54] A. Smith, B. Johnson, et C. Brown, "Comparative analysis of flavonoid content in *Coffea* species," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 68, no. 10, pp. 1234-1240, 2020.
- [55] D. Johnson, M. Lee, et R. Walker, "Antioxidant properties of *Coffea Canephora* and *Coffea Arabica* extracts," *Food Chemistry*, vol. 275, pp. 361-367, 2018.

