



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

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

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

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

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences biologiques



UNIVERSITÉ MOHAMED EL BACHIR EL IBRAHIMI  
BORDJ BOU ARRERIDJ

# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaire

## Intitulé

**L'effet de la torréfaction sur les polyphénols totaux et l'activité antioxydante du café Arabica et Robusta**

Présenté par :

- ✓ ATIA Lilia
- ✓ HASSANI Ikram Ferdous

Devant le jury :

**Président :** M<sup>me</sup> Boussaha Soumaya MAB (Université de Bordj Bou Arreridj)

**Encadrant :** M<sup>me</sup> Benbougerra Nawel MAB (Université de Bordj Bou Arreridj)

**Examineur :** M<sup>r</sup> Touati Noureddine MCA (Université de Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2020/2021

# REMERCIEMENTS

*On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Les cinq années de maîtrise nous ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis est sans de longues heures de travail.*

*En premier lieu, nous tenons à remercier **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la foi et de nous avoir permis d'en arriver là.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à Madame **BENBOUGUERRA Nawel**, une enseignante dans la faculté des sciences et de la nature et de la vie, pour avoir accepté de nous encadrer, pour ses précieux conseils et encouragements malgré ses préoccupations.*

*Nos remerciements s'adressent au membres de jury ; madame **BOUSSAHA Soumia** et monsieur **TOUATI Noureddine**, d'avoir bien accepté d'évaluer ce travail et nous profitons pour leur exprimer toute nos considérations.*

*Ainsi, nous adressons nos remerciements aux ingénieurs des laboratoires au niveau de l'université, pour leur aide.*

*Finalement, nous remercions tous les enseignants de la faculté SNV et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Ikram et Lilia*

# DÉDICACES

*Je dédie ce travail :*

*À ma chère mère, **ATIA Saïda**, source de tendresse et d'amour pour son soutien tout au long de ma vie.*

*À mon cher père, **Djamel Eddine**, qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout son possible pour m'aider.*

*À mon adorable frère, **Ayoub** que j'aime tant et sa femme **Asma** et aussi sa fille **Noursine**.*

*À mes précieuses sœurs, **Hana** et **kaouther**, les mots ne peuvent résumer mon amour à votre égard.*

*À toute la famille **HASSANI** et **ATIA***

*À mes amies, mes sœurs, mes moitiés que je les aime beaucoup **Amira**, **Sara**, **Marwa** et **Bouthaina**.*

*À ma chère amie, mon binôme **Lilia** qui m'a supporté durant ces dernières années et chez qui j'ai trouvé l'entente dont j'avais besoin.*

*À tous mes ami(e)s avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur.*

*À toute la promo de QPSA 2020.*

***Ikram***

# DÉDICACES

*Avant tout, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir illuminé le chemin de savoir et de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour arriver jusque-là*

*Je dédie ce travail :*

*À l'amour de ma vie, mes très chers parents «**Khennouf Hanane et Mohamed Raouf**» ,aucun mot ne saurait exprimer mon hommage pour tout le soutien, l'amour, la volonté, la confiance que vous m'avez donné, je ne pourrai jamais oublier vos sacrifices pour mon succès.*

*À mes très chères roses, mes sœurs **Maria, Malek et Serine** et mes frères **Yahia, Taybe et Abde Halim** pour leur présence que dieux vous garde pour moi.*

*À mes chères amies, mes moitiés que je les aime et les admis, **Douaa, Ikram, Randa, Hajir, Houda, Bouchra, Maya, Amira , Seham, Dina, Meriam.***

*À toute la famille **Atia et Khennouf**, je sais ma réussite est très importante pour vous, que dieu vous paye pour tous vos bienfaits*

*À ma chère amie et binôme **Ikram Ferdous** qui a était une meilleure camarade de classe que je pourrais avoir, une personne gentille, serviable et attentionnée.*

*À tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.  
À toute ma promotion de master 2 **Qualité des produits et sécurité alimentaire**, vous êtes les meilleurs camarades  
À tous ceux et toutes celles qui m'ont accompagné et soutenu durant la réalisation de ce travail.*

*Lilia*

## Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale .....	1

### Partie bibliographique

#### Chapitre 1 : Le caféier et le café

1. Le caféier et ses fruits .....	2
2. La récolte du café .....	5
3. Le traitement après récolte du café .....	6

#### Chapitre 2 : La torréfaction du café

1. Caractéristiques physiques et structurelles des grains de café torréfié .....	8
1.1. Couleur .....	8
1.2. Teneur en eau .....	9
1.3. CO <sub>2</sub> .....	9
2. Composition chimique .....	9
2.1. Lipides .....	10
2.2. Caféine .....	10
2.3. Composés azotés.....	11
2.4. Acides chlorogéniques.....	11
2.5. Polysaccharides.....	11
2.6. Mélanoïdines.....	12
2.7. Composés aromatiques volatils .....	12

#### Chapitre 3 : Les radicaux libres et le stress oxydatif

1. Radicaux libres .....	13
2. Stress oxydant .....	13
3. Antioxydants .....	13
4. Les produits phytochimiques du café .....	14
4.1. Acides chlorogéniques .....	14
4.2. Diterpènes .....	14
4.3. Caféine .....	15

4.4. Trigonelline .....	15
-------------------------	----

## Partie expérimentale

### Chapitre 4 : Matériel et méthodes

1. Préparation des échantillons .....	17
2. Analyses physico-chimiques .....	18
2.1. Taux d'humidité .....	18
2.2. Potentiel d'hydrogène (pH) .....	19
2.3. Taux de cendres .....	19
2.4. Sucres totaux .....	19
3. Extraction et dosage des polyphénols totaux .....	20
3.1. Extraction par macération (extraction solide/liquide) .....	20
3.2. Dosage des polyphénols totaux .....	21
4. Détermination de l'activité antioxydante ; test DPPH .....	21
5. Traitement statistique des données.....	22

### Chapitre 5 : Résultats et discussion

1. Résultats .....	23
1.1. Analyses physico-chimiques .....	23
1.1.1. Taux d'humidité .....	23
1.1.2. pH .....	24
1.1.3. Taux de cendres .....	24
1.1.4. Sucres totaux .....	25
1.2. Étude phytochimique .....	26
1.2.1. Polyphénols totaux .....	26
1.2.2. Capacité antioxydante .....	26
2. Discussion .....	27
Conclusion générale et perspectives .....	29

Références

Annexe

Résumé

## **Listes des abréviations**

**ACG** : Acides chlorogéniques

**Ar** : Arabica

**DPPH** : 2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle

**EAA** : Équivalent acide ascorbique

**EAG** : Équivalent acide gallique

**EGlu** : Équivalent glucose

**ERO** : Espèces réactives oxygénées

**FFT** : Furfurylthiol

**MS** : Matière sèche

**pH** : Potentiel d'hydrogène

**Ro** : Robusta

**UV-Vis** : Ultraviolet – visible

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Les pays producteurs du café .....	2
<b>Figure 02</b> : Le caféier .....	3
<b>Figure 03</b> : Les fleurs de <i>coffea arabica</i> .....	4
<b>Figure 04</b> : Structure du fruit et de la graine du caféier .....	4
<b>Figure 05</b> : Évolution de la couleur des grains de café au cours de la torréfaction .....	9
<b>Figure 06</b> : Étapes de préparation de la matière sèche .....	21
<b>Figure 07</b> : Taux d'humidité des échantillons d'arabica et robusta .....	23
<b>Figure 08</b> : pH des échantillons d'arabica et robusta .....	24
<b>Figure 09</b> : Taux de cendres des échantillons d'arabica et robusta .....	24
<b>Figure 10</b> : Concentration des sucres totaux (en mg équivalent glucose/ml) des échantillons d'arabica et de robusta .....	25
<b>Figure 11</b> : La teneur en polyphénols totaux des extraits d'arabica et de robusta .....	26
<b>Figure 12</b> : La capacité antioxydante des extraits d'arabica et de robusta .....	26



## Liste des tableaux

<b>Tableau I :</b> Les principales différences entre arabica et robusta .....	5
<b>Tableau II :</b> La composition chimique des grains de café vert et torréfié (en %) .....	10
<b>Tableau III :</b> Classification des antioxydants .....	14
<b>Tableau IV :</b> Les principales activités biologiques des composés phytochimiques .....	15
<b>Tableau V :</b> Les échantillons d'arabica et de robusta torréfiés à différentes températures et pendant des différentes durées .....	17

Le café est l'une des boissons les plus connues et consommées dans le monde. La population mondiale consomme environ 2 milliards de tasses de café par jour (**Carneiro *et al.*, 2021**). La consommation du café est due principalement à sa saveur et son arôme agréables, les sensations positives qu'elle produit et ses effets physiologiques (**Vignoli *et al.*, 2014**).

La qualité du café est liée à la composition chimique des grains qui, à son tour, est affectée par la composition chimique des haricots de café vert et par les conditions de traitement post-récolte (séchage, stockage, torréfaction et mouture) (**Vignoli *et al.*, 2014**). Pendant la torréfaction, les haricots du café vert sont chauffés à une température de 200 à 240 °C pendant 10 à 15 minutes, selon le degré de torréfaction exigé, qui est généralement évalué selon la couleur (**Hečimović *et al.*, 2011**). La saveur caractéristique du café est la combinaison de nombreux composés chimiques produits par les changements chimiques et physiques qui se déroulent pendant la torréfaction (**Wang et Lim, 2015**). Le processus de torréfaction, en particulier les températures supérieures à 180-200 °C, entraîne des changements profonds dans la composition chimique et les activités biologiques du café (**Hečimović *et al.*, 2011**).

Le café est très riche en substances biologiquement actives ; terpènes, alcaloïdes et en polyphénols tels que l'acide chlorogénique, l'acide férulique, l'acide caféique, l'acide sinapique, le kaempférol, la quercétine, l'acide nicotinique, la trigonelline, l'acide quinolique, l'acide tannique, l'acide pyrogallique et la caféine qui possèdent des effets antioxydants, antibactériens, antiviraux et anti-inflammatoires (**Patay *et al.*, 2016**).

L'objectif de notre travail est d'évaluer les effets de la torréfaction sur les propriétés physico-chimiques, la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante totale des extraits de deux cafés ; arabica et robusta (café vert, et 06 autres échantillons torréfiés à la maison (dans un four électrique) à différentes températures (150, 200 et 250 °C) et pendant différentes durées (10 et 20 min), en plus d'un échantillon industriel (torréfié à 250 °C pendant 10 min dans un torréfacteur industriel) pour chaque espèce de café).

Le présent travail est divisé en deux grandes parties :

La première partie est une recherche bibliographique sur le café, la torréfaction et le stress oxydatif.

La deuxième partie est la partie expérimentale qui présente le matériel et les méthodes utilisés ainsi que les résultats obtenus et leur discussion. Enfin l'ensemble du manuscrit est terminé par une conclusion générale et des perspectives du travail.

## Introduction

Le café est l'une des boissons les plus consommées dans le monde (Carneiro *et al.*, 2019) et l'un des produits alimentaires les plus pertinents d'un point de vue économique (Munyendo *et al.*, 2021).

Selon l'Organisation Internationale du café (OIC), en 2016, les principaux pays producteurs du café étaient le Brésil (3,30 millions de tonnes), le Vietnam (1,53 million de tonnes), la Colombie (0,87 million de tonnes), l'Indonésie (0,69 million de tonnes), le Honduras (0,46 million de tonnes) ; et l'Éthiopie (0,43 million de tonnes) (Figure 01) (Franca et Oliveira, 2019).

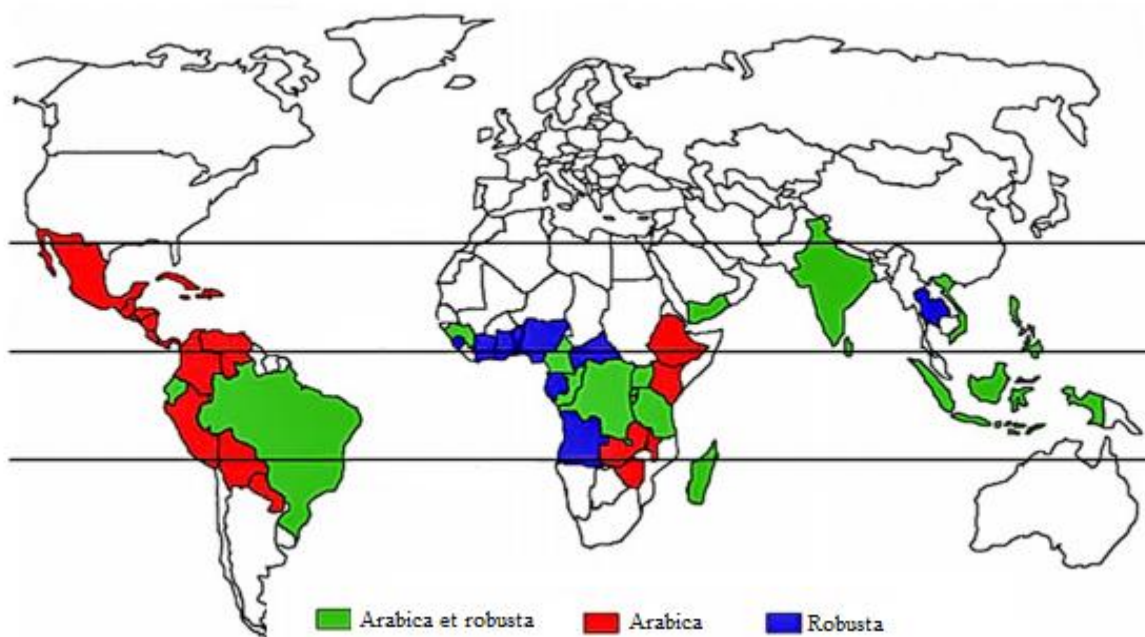


Figure 01 : Les pays producteurs du café (Franca et Oliveira, 2019).

## 1. Le caféier et ses fruits

Le café appartient au genre *Coffea* de la famille des Rubiaceae, les espèces commercialement pertinentes sont ; *Coffea arabica* (arabica) et *Coffea canephora* (robusta) (Król *et al.*, 2020), représentant respectivement environ 2/3 et 1/3 de la production mondiale du café. L'espèce *Coffea arabica* est cultivée à haute altitude (>1000 m au-dessus du niveau de la mer) dans les régions tropicales et subtropicales, où le climat est plus frais, tandis que *Coffea canephora* est cultivée à des altitudes relativement basses (<800 m au-dessus du niveau de la mer). Bien que robusta tolère des températures plus élevées, des précipitations plus abondantes et présentent des rendements plus élevés qu'arabica, ce dernier est considéré, par les amateurs et les buveurs du café comme produisant des boissons de qualité supérieure (Anzueto *et al.*, 2005) et est donc

commercialisé à des prix plus élevés sur les marchés internationaux.

Le caféier est une plante dicotylédone vivace à feuilles persistantes (**Figure 02**), elle peut atteindre des hauteurs de 6m pour arabica et de 10 m pour robusta à l'état sauvage (**Farah et Ferreira dos Santos, 2015**), cependant, dans les plantations, l'arbre est taillé à une hauteur maximale de 3 m pour faciliter la récolte des fruits (**Steiman, 2008**).

Le caféier a un tronc vertical proéminent avec des branches latérales primaires, secondaires et tertiaires, appelées « rejets » et « tiges » aux stades de développement et final, respectivement. Les feuilles ont une couleur verte foncée brillante avec des nervures bien visibles. Les racines du caféier sont peu profondes, son système étant composé d'une racine pivotante principale avec des petites racines nourricières. Les racines nourricières de l'espèce *Coffea arabica* pénètrent plus profondément dans le sol que celles de l'espèce *Coffea canephora*.



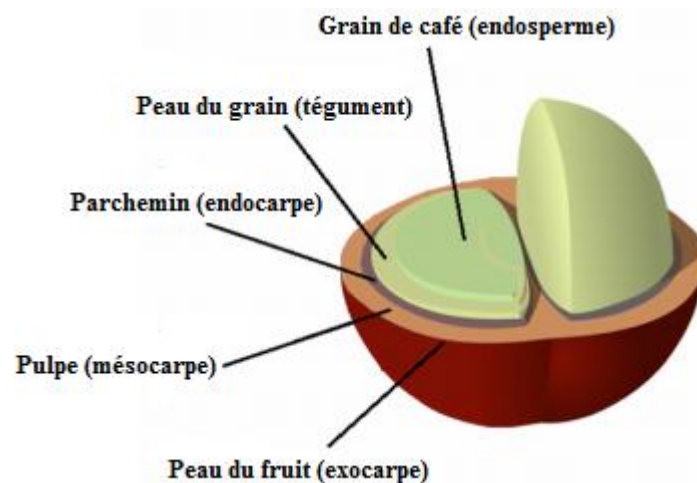
**Figure 02** : Le caféier (**Houessou, 2007**)

Les fleurs d'arabica ont tendance à être plus petites que celles de robusta. La pollinisation a lieu dans les 6 heures suivant la floraison (**Anzueto et al., 2005; Murthy et Naidu, 2012; Farah et Ferreira dos Santos, 2015**). Après la pollinisation, les fleurs se fanent et un fruit de 10 à 15 mm de long se développe, avec des périodes de maturation de 7 à 9 mois et de 9 à 11 mois pour arabica et robusta, respectivement (**Figure 03**) (**Anzueto et al., 2005**).



**Figure 03 :** Les fleurs de *coffea arabica* (Justin Koffi, 2007)

Le fruit du café, également appelé cerise (**Figure 04**), a un exocarpe vert (appelé peau) lorsqu'il est immature, et un exocarpe rouge ou jaune à maturité, selon la variété. Vers l'intérieur, le contenu de la cerise est composé d'une pulpe gélatineuse-pectique d'environ 2 mm d'épaisseur (mésocarpe), renfermant une couche pectinée de mucilage fermement adhérent à un parchemin, qui, à son tour, encapsule de manière lâche les haricots du café vert ou les graines (généralement deux par fruit, composé d'endosperme et d'embryon (Franca et Oliveira, 2019).



**Figure 04 :** Structure du fruit et de la graine du caféier (Farah et Ferreira dos Santos, 2015)

Le principal produit d'intérêt commercial est constitué par les grains de café, représentant 50 à 55 % de la matière sèche du fruit et variant en taille, forme et densité selon le génotype (espèce) et les pratiques agricoles. Les grains d'arabica ont la forme d'un demi-ellipsoïde triaxial

avec une fente longitudinale sigmoïde sur son côté plat, tandis que les grains de robusta sont plus ovales avec une fente centrale légèrement droite (**Tableau I**) (**Franca et Oliveira, 2019**).

**Tableau I** : Les principales différences entre arabica et robusta (**Franca et Oliveira, 2019**; **Hečimović et al., 2011**)

Paramètres	Arabica	Robusta
Nom botanique	<i>Coffea Arabica</i>	<i>Coffea Canephora</i>
Date de description de l'espèce	1753	1895
Altitude de culture	1000 à 2000 m	0 à 700 m
Température	15 à 24 °C	20 à 30 °C
Pluviométrie	1500 à 2000 mm	2000 à 3000 mm
Forme	Plate	Ovale
Délai floraison – récolte	9 mois	10 à 11 mois
Teneur en caféine	0,8 à 1,4%	1,7 à 4 %
Première floraison	4 - 5 ans	2 - 3 ans
Goût	Acide	Amer

## 2. La récolte du café

La récolte est une étape importante pour obtenir un café de bonne qualité. Le degré de maturation des fruits est critique. Alors que les cerises du café (fruits mûrs) ont tendance à donner une boisson de meilleure qualité, les fruits immatures et trop mûrs donnent des grains défectueux et de mauvaise qualité. Étant donné que les fruits du café sur la même plante n'atteignent généralement pas la maturité en même temps, la récolte commence généralement lorsque la majorité des fruits sont mûrs (**Farah et Ferreira dos Santos, 2015**).

Il existe trois principaux types de techniques de récolte : la cueillette sélective manuelle, l'effeuillage manuel et la récolte mécanique.

- La cueillette sélective manuelle : processus de récolte dans lequel seuls les fruits du café mûrs et trop mûrs sont cueillis à la main et les immatures sont laissés sur l'arbre pour une future récolte.
- L'effeuillage manuel est le processus de récolte dans lequel les cueilleurs placent une toile sur le sol sous le caféier pour s'assurer que le fruit n'entre pas en contact avec le sol, saisissent une branche chargée de cerises de café à sa base, près du tronc, et tirer vers l'extérieur jusqu'à ce que tous les fruits, quel que soit leur stade de maturité, soient arrachés de la branche et rassemblés sur la toile.

- La méthode de décapage mécanique est similaire au décapage manuel, sauf que les cueilleurs utilisent des décapants mécaniques constitués d'un type de coupe-herbe dont l'extrémité de travail est un ensemble vibrant en forme de ciseaux (**Farah, 2009**).

La cueillette sélective manuelle a tendance à produire des grains de café de meilleure qualité que les autres méthodes. Les autres méthodes donnent une série de défauts extrinsèques et intrinsèques dérivés de fruits à différents degrés de maturation ainsi que de fruits fermentés ou oxydés. Les défauts extrinsèques sont les noyaux, les cosses, les brindilles, etc., qui peuvent être incorporés aux fruits lors de la récolte. Les défauts intrinsèques, considérés comme les défauts les plus importants affectant la qualité de la tasse, sont les haricots immatures, les haricots noirs, les haricots aigres, les haricots noirs immatures et les haricots percés ou endommagés par les insectes (**Farah et Ferreira dos Santos, 2015**).

### 3. Le traitement après récolte du café

Après la récolte, le fruit du café subit ce que l'on appelle un « traitement primaire », qui est essentiellement la séparation des grains de café du reste du fruit. Il existe trois principaux types de traitement, le traitement sec, semi-humide et humide.

- Le traitement à sec est une technique relativement simple dans laquelle les fruits récemment récoltés sont répartis sur un grand patio en béton et séchés au soleil pendant une période de 15 à 20 jours dans les climats favorables et jusqu'à 30 jours dans les climats défavorables (**Borem et al., 2008**). Les cerises étalées doivent être ratissées fréquemment pendant la journée pour éviter la prolifération des moisissures et assurer un séchage homogène des fruits (**Franca et Oliveira, 2009**). Après séchage, les fruits secs sont décortiqués pour séparer les fèves de la pulpe sèche et du parchemin. Les fèves sont stockées dans de grands bacs rectangulaires verticaux et ensachées pour les prochaines étapes de transformation et de commercialisation.

- Le traitement semi-humide, dans ce mode de traitement, l'exocarpe et le mésocarpe sont retirés mécaniquement du fruit fraîchement récolté (décorticage), le parchemin reste encore attaché à la fève. Avant le décorticage, les fruits de qualité inférieure sont séparés par flottation, un processus dans lequel les fruits de qualité supérieure coulent et les fruits de qualité inférieure flottent dans l'eau courante dans un réservoir de lavage. Après flottation, les fruits triés sont décortiqués dans une machine (le pulpeur). Ce processus de décorticage favorise également la séparation des fruits immatures des fruits mûrs. Les cerises sont emmenées dans les patios pour être séchées au soleil sous forme de fruits entiers et les haricots parchemin et la pulpe sont déplacés vers un tamis rotatif où ils sont davantage séparés les uns des autres. Les fèves parchemin sont ensuite étalées dans les patios pour être séchées au soleil sur une période de 8

à 12 jours, avec un ratissage fréquent pendant la journée. Les pulpes sont collectées séparément dans de petits chariots pour une utilisation ultérieure à la ferme, comme des engrais ou des matières premières pour les systèmes de combustion. Un séchoir mécanique est également utilisé dans ce cas pour l'élimination de quelques points de pourcentage d'humidité pour le respect des conditions de stockage et de commercialisation. Les grains de parchemin séchés sont ensuite soumis à un décorticage mécanique pour le retrait du parchemin des grains et ensuite stockés dans des bacs rectangulaires verticaux.

- Dans le traitement humide du café, les fruits fraîchement récoltés sont décortiqués exactement de la même manière que dans le processus semi-humide, mais le café en parche est ensuite soumis à une fermentation dans des bacs rectangulaires, pour éliminer la pulpe et le mucilage résiduels attachés, pendant une période de 12 à 36 h, puis lavés et étalés dans les patios pour le séchage. Le traitement ultérieur des fèves parcheminées séchées est identique à celui du traitement semi-humide.

Les opérations de transformation réalisées postérieurement au séchage, décorticage et stockage sont dénommées affinage (**Vincent, 1987**) et comprennent le nettoyage, le calibrage, la densité, le tri colorimétrique et l'ensachage dans des sacs standards de 60 kg. À l'issue de ces opérations, les fèves sont prêtes à être commercialisées avec des prix répartis en fonction de la qualité des fractions séparées.

Après la commercialisation, les grains de café subissent une série d'opérations pour générer les produits finaux de consommation, qui sont le café torréfié et moulu et les cafés solubles et instantanés. Ces opérations de transformation sont généralement qualifiées de « transformation secondaire » (**Franca et Oliveira, 2009**).



## Introduction

La torréfaction est un processus dans lequel les grains de café sont soumis à un traitement thermique pour favoriser une série de réactions chimiques internes complexes qui conduiront à l'arôme et à la saveur souhaités du café au moyen de changements importants dans la composition chimique des grains. Pendant la torréfaction, les fèves subissent également des changements physiques importants en raison de la perte intensive de la matière sèche sous forme de gaz (par exemple, la vapeur d'eau, le CO<sub>2</sub> et les composés organiques volatils). La technique la plus couramment utilisée pour la torréfaction du café est un processus par lots dans lequel les grains sont chargés dans des cylindres horizontaux rotatifs, où l'air chaud est soufflé à l'intérieur pour chauffer les grains en tambour jusqu'à 200-220 °C, pendant une période de temps suffisante pour atteindre le degré de torréfaction souhaité. Le degré de torréfaction est généralement évalué par des mesures de réflectance lumineuse des grains torréfiés moulus ou simplement par une inspection visuelle de leur couleur par un opérateur (Dutra *et al.*, 2001). Une fois le degré de torréfaction souhaité atteint, le lot est éteint par la pulvérisation d'eau à l'intérieur du torréfacteur et déchargé pour être encore refroidi par un courant d'air. Une fois la température souhaitée atteinte (généralement inférieure à 40 °C), les grains sont envoyés dans des bacs de stockage soit par des élévateurs à godets, soit par transport pneumatique, où ils reposent pendant une période d'au moins 8 h pour équilibrer la pression à l'intérieur des grains (Clarke, 1987), par la libération de grandes quantités de CO<sub>2</sub>, avant qu'elles soient envoyées à un broyeur pour broyage et conditionnement ultérieur (Franca et Oliveira, 2019).

## 1. Caractéristiques physiques et structurelles des grains de café torréfié

### 1.1. Couleur

La torréfaction des grains de café provoque le changement de la couleur progressivement d'un vert-gris initial à brun, brun foncé, et noir, en fonction du degré désiré de torréfaction (Figure 05).

L'un des principaux composés qui contribue à la couleur typique du café ; les **mélanoïdines**, qui sont des produits bruns de la réaction de Maillard. Les produits issus de la dégradation thermique des glucides et des sucres sont d'autres contributeurs au couleur brune du café, cela explique pourquoi dans les mêmes conditions de torréfaction, les haricots de café robusta ont tendance à développer une couleur plus claire que les haricots de café arabica (le premier contient moins de sucre) (Wang *et al.*, 2011).



**Figure 05 :** Évolution de la couleur des grains de café au cours de la torréfaction (**Bonnin, 2016**)

### 1.2. Teneur en eau

La teneur en eau du café torréfié varie de 1 % à 5 % selon la matière première, le niveau de torréfaction, les conditions du temps de torréfaction et de la température et les méthodes de refroidissement (**Alessandrini et al., 2008**).

### 1.3. CO<sub>2</sub>

Environ la moitié du CO<sub>2</sub> généré pendant la torréfaction est retenue dans les haricots de café entiers torréfiés, et il faut jusqu'à plusieurs mois pour que ce CO<sub>2</sub> piégés se libèrent complètement. Une fraction du CO<sub>2</sub> emprisonné est libérée pendant le broyage, bien qu'une quantité importante résiduel continue de décroître pendant le stockage.

La formation de CO<sub>2</sub> et d'autres matières volatiles pendant la torréfaction entraîne une augmentation de la pression interne des haricots de café. Par conséquent, les changements structurels induits par la torréfaction du grain de café, tels que l'augmentation du volume et de la porosité, sont étroitement liés à la quantité et au taux de CO<sub>2</sub> (**Anderson et al., 2003**).

## 2. Composition chimique

Les réactions chimiques induites par la torréfaction entraînent une modification de la composition des haricots de café grillés, qui dépend fortement du profil temps-température de la torréfaction et du degré de torréfaction (**Dybkowska et al., 2017**).

La composition chimique de *Coffea arabica* et *Coffea canephora (robusta)*, les deux espèces de café les plus importantes sur le plan commercial, avant et après la torréfaction, est résumé dans le **tableau II**.

**Tableau II :** La composition chimique des grains de café vert et torréfié (en %) (Wei et Tanokura, 2015)

	Arabica		Robusta	
	Vert	Torréfié	Vert	Torréfié
Polysaccharides	50 - 55	24 – 39	37 - 47	/
Oligosaccharides	6 - 8	0 – 3,5	5 – 7	0 – 3,5
Lipides	12 - 18	14,5 - 20	9 – 13	11 - 16
Acides aminés	2	0	2	0
Protéines	11 - 13	13 - 15	11 - 13	13 - 15
Acides chlorogénique	5,5 - 8	1,2 – 2,3	7 - 10	3,9 – 4,6
Caféine	0,9 – 1,2	0,5 - 1	0,6 – 0,8	0,3 – 0,6
Trigonelline	1 – 1,2	0,5 - 1	0,6 – 0,8	0,3 – 0,6
Acides gras	1,5 - 2	1 – 1,5	1,5 - 2	1 – 1,5
Minéraux	3 – 4,2	3,5 – 4,5	4 – 4,5	4,6 – 5,6
Mélanoïdine	/	16 – 17	/	16 - 17

### 2.1. Lipides

Les grains de café contiennent entre 8 et 20% de matières grasses selon la variété et l'espèce. Les haricots de café robusta verts contiennent généralement moins de lipides que les haricots de café arabica. Environ 75 % de l'huile de café est sous forme de triglycérides, les principaux acides gras étant les acides linoléique et palmitique. La fraction restante est constituée ; d'alcools diterpéniques libres et estérifiés totaux (19 %), de stérols libres et estérifiés totaux (5 %) et d'une petite quantité de tocophérols. le cafestol, le kahwéol et le 16-O-méthylcafestol (16-OMC) sont les trois principaux diterpènes présents dans le café (Speer et Kölling-Speer, 2006).

### 2.2. Caféine

Bien que le café soit connu pour son arôme et sa saveur, sa teneur en caféine joue probablement un rôle dans sa popularité. La caféine a des effets physiologiques sur le corps humain, y compris la stimulation du système nerveux central, l'élévation de la pression artérielle, l'augmentation du taux métabolique et un effet diurétique (Higdon et Frei, 2006). La teneur en caféine du café vert est largement influencée par l'espèce de café. La caféine est relativement stable à la chaleur pendant la torréfaction du café (Hečimović *et al.*, 2011).

### 2.3. Composés azotés

Outre la caféine, d'autres fractions azotées sont présents dans le café ; les protéines, les acides aminés libres et la trigonelline.

Les grains de café vert contiennent entre 8,5 à 12 % de protéines. Pendant la torréfaction, les protéines sont perdues en raison de leur participation aux réactions de brunissement de Maillard et à la formation des mélanoidines.

Les acides aminés libres des haricots de café vert sont principalement de l'acide glutamique, de la proline, de l'alanine, de l'asparagine et de l'acide aspartique. Ces acides aminés libres sont instables dans les conditions de torréfaction. En conséquence, une quantité négligeable d'acides aminés libres reste dans les haricots de café après la torréfaction.

La teneur en trigonelline du café vert est de 0,6 à 2,1 %. Environ 50 à 80 % de la trigonelline est dégradée lors de la torréfaction, dont la diminution est proportionnelle au degré de torréfaction (Wang et Lim, 2015).

### 2.4. Acides chlorogéniques

Les grains de café vert contiennent la plus grande quantité d'ACG, environ 6 à 12 % (Adriana Farah *et al.*, 2005). Les acides chlorogéniques sont des esters phénoliques d'acide quinique avec des acides *trans*-cinnamiques (principalement des acides caféique, férulique et *p*-coumarique dans les grains de café vert), dont l'acide caféoylquinique constitue la fraction la plus abondante, représentant environ 80% et 76% de l'ACG totale en arabica et robusta, respectivement. Dans les cafés torréfiés, la majorité des ACG sont dégradés (Perrone *et al.*, 2012).

### 2.5. Polysaccharides

Les polysaccharides constituent environ la moitié de la matière sèche brute des haricots de café et sont le principal matériau de construction de la structure des parois des cellules. La fraction soluble des polysaccharides contribue aux caractéristiques organoleptiques du café, telles que la viscosité, la sensation en bouche, la rétention des composés aromatiques et la stabilité de la mousse dans l'espresso. Les trois principaux polysaccharides du café sont ; l'arabinogalactane ramifié, le mannane linéaire et le galactomannane avec un faible degré de cellulose. Les teneurs en mannane et en cellulose des haricots de café vert arabica et robusta sont similaires. Par contre, la teneur en arabinogalactane des haricots de café arabica verts est plus faible (14 %) que celle des haricots de café robusta (17 %) (Bradbury et Halliday, 1990).

### 2.6. Mélanoïdines

Les mélanoïdines sont des composés polymériques hétérogènes bruns formés au stade final de la réaction de Maillard. La structure chimique des mélanoïdines de café est extrêmement complexe et est encore largement inconnue. Cependant, il a été suggéré que les mélanoïdines de café contiennent des fragments de protéines et que les ACG soient incorporés dans les sous-unités de protéines. De plus, les polysaccharides ou les fragments de polysaccharides jouent probablement aussi un rôle dans la formation de la mélanoïdine (**Wang et Lim, 2015; Bekedam, 2008**).

### 2.7. Composés aromatiques volatiles

Les composés aromatiques sont très complexes et contribuent grandement à la saveur unique du café. Les profils aromatiques volatils du café torréfié dépendent des espèces de café, des variétés, des régions d'origine, ainsi que des conditions temps-température utilisées pendant la torréfaction. Plus de 850 composés volatiles ont été identifiés dans le café torréfié, et 28 d'entre eux contribuent de façon importante à l'arôme du café. L'un des odorants les plus importants dans le café torréfié est le FFT, qui est le composé aromatique primaire qui contribue à l'odeur de torréfaction et de type sulfureux (**Wang et Lim, 2015**).

## Introduction

Depuis quelques années, l'intérêt pour des antioxydants devient de plus en plus important. Cela peut s'expliquer par la relation retrouvée entre le stress oxydant et quelques maladies telles que le cancer, la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson, le diabète, la neurodégénérescence, l'inflammation et les maladies cardio-vasculaires, en plus du vieillissement (Nehlig, 2016).

Le café est très riche en composés phénoliques, en particulier les acides chlorogéniques et leurs produits de dégradation (acides caféique, férulique et coumarique). L'un des isomères de l'acide chlorogénique, l'acide 5-caféoylquinique (5-CQA), en plus d'autres composés (la caféine, la trigonelline ...) sont connus comme des puissants antioxydants (Vignoli *et al.*, 2014).

### 1. Radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique (atome ou molécule) contenant un électron non apparié (Ahmed et Mohammed, 2000).

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des radicaux réactifs et des dérivés non radicaux de l'oxygène, elles représentent la plus importante classe d'espèces réactives générées dans l'organisme (Liguori *et al.*, 2018). Des études ont montré clairement que les ERO font partie des signaux cellulaires normaux et induisent la différenciation cellulaire et l'apoptose (Rizzo *et al.*, 2010).

### 2. Stress oxydant

Le stress oxydatif est un état caractérisé par un déséquilibre entre la production d'éléments oxydants et la capacité antioxydante de l'organisme.

L'augmentation des EROs dans le corps contribue à développer des maladies comme les maladies neurodégénérative, l'athérosclérose, l'Alzheimer, le diabète, les syndromes métaboliques et la carcinogenèse (Rani *et al.*, 2016).

### 3. Antioxydants

Les antioxydants sont des substances chimiques qui neutralisent les radicaux libres ou entravent leur action. Ils sont produits dans l'organisme (endogène ; protéiques et non protéiques ) ou apportés par les aliments (exogènes) (Tableau III) (Ahmed et Mohammed, 2020; Liguori *et al.*, 2018).

**Tableau III** : Classification des antioxydants (Ahmed et Mohammed, 2020)

Sources	Antioxydants
Antioxydants enzymatiques	Superoxyde dismutase, catalase, glutathion peroxidase, glutathion réductase, glutathion S-transférase, méthionine sulfoxyde réductase, NADPH, ferritine et métallothionéine
Antioxydants non-enzymatiques	bilirubine, coenzyme Q <sub>10</sub> , œstrogènes, acide $\alpha$ -lipoïque, mélatonine, pyruvate et acide urique.
Antioxydants exogènes	Vitamine C, vitamine E, caroténoïdes et composés phénoliques.

#### 4. Produits phytochimiques de café

Le café a été considéré comme une source importante de produits phytochimiques, y compris les composés phénoliques, les alcaloïdes et les terpénoïdes (**Tableau IV**).

##### 4.1. Acides chlorogéniques

Les trois principales sous-classes d'ACG activent biologiquement sont ; l'acide 3-di-caféoylquinique (3-diCQA), les acides caféoylquiniques (AQC) et l'acide féruloylquinique (AQF), représentant environ 80 %, 15 % et 5 % des ACG totaux dans le café Arabica et 67 %, 20 % et 13 % dans le café Robusta, respectivement. En général, la teneur totale en CGA varie en fonction de la variété de café, du degré de maturation et de l'emplacement géographique où le café est cultivé (**Narita et Inouye, 2015; Munyendo et al., 2021**).

##### 4.2. Diterpènes

Les diterpènes sont décrits comme des alcools pentacycliques en raison de la fusion d'unités d'isoprène pour former un squelette de vingt carbones ; Kahwéol (C<sub>20</sub>H<sub>26</sub>O<sub>3</sub>) et cafestol (C<sub>20</sub>H<sub>28</sub>O<sub>3</sub>) sont les deux principaux diterpènes qui ont été isolés des grains de café. La teneur en diterpènes des grains de café diffère principalement en fonction de l'espèce. *Coffea arabica* ayant plus de cafestol que *Coffea canephora*. En général, la composition des diterpènes de café est d'environ 0,2 à 1,5 % et de 1,3 à 1,9 % dans les grains verts de café robusta et arabica, respectivement (**Araújo et Sandi, 2007**). Les différences dans la teneur en diterpènes pourraient également être dues à la culture et aux conditions géographiques (**Munyendo et al., 2021**).

### 4.3. Caféine

La caféine est un alcaloïde au goût amer synthétisée dans certains groupes de plantes supérieures comme le thé et le café. Cet alcaloïde représente moins de 10 % de l'amertume perçue des boissons de café. Sa biosynthèse chez les plants de café se produit dans le péricarpe et les feuilles supérieures suivies de l'accumulation dans les feuilles matures. La teneur en caféine des haricots de café robusta est environ le double de celle de l'arabica. L'accumulation de caféine dépend fortement du génotype ainsi que de l'environnement dans lequel le café est cultivé (Vaast *et al.*, 2006; Munyendo *et al.*, 2021).

### 4.4. La trigonelline

La trigonelline est le deuxième alcaloïde le plus abondant après la caféine dans les grains de café. Il est dérivé biologiquement de la méthylation enzymatique de l'atome d'azote de l'acide nicotinique, d'où le nom d'acide nicotinique N-méthyl (Allred *et al.*, 2009). Le contenu de la trigonelline dépend principalement de la variété de café, mais aussi de la mise en œuvre des méthodes d'extraction et de dosage pendant l'analyse. Le café robusta a moins de trigonelline que le café arabica avec 0,7 à 1,24 % et 0,80 à 1,82 %, respectivement (Bicho *et al.*, 2013).

**Tableau IV** : Les principales activités biologiques des composés phytochimiques (Munyendo *et al.*, 2021)

Composés phytochimiques	Activités biologiques
Acides chlorogéniques	Antioxydante Anti-inflammatoire Anti- diabète Anti- cancéreuse Anti-microbienne
Diterpènes	Antioxydante Anti-inflammatoire hépatoprotectrice
Caféine	Antioxydante Anti-microbienne
Trigonelline	Anti-diabète Anti-carcinogène



Cette étude a été réalisée au sein du laboratoire de Biochimie, faculté des sciences et technologie, université de Bordj Bou Arreridj.

Cette partie comporte quatre volets :

- Préparation des échantillons du café : torréfaction à **différentes températures (150, 200 et 250 °C dans un four électrique)** et pendant des **différentes durées (10 et 20 min)** plus des échantillons non torréfiés de chaque espèce (Arabica et robusta).
- Analyses physico-chimiques : détermination du taux **d'humidité**, le **pH**, le taux **de cendres** et les **sucre**s **totaux**.
- **Extraction et dosage** des polyphénols totaux : macération pendant 24 heures et dosage des **polyphénols totaux** utilisant le réactif **Folin Ciocalteu**.
- Détermination de l'**activité antioxydante** ; test **DPPH**.
- Traitement statistique des données : **XLSTAT** version 2021.

## 1. Préparation des échantillons









Deux espèces de café ont été étudiées ; *Coffea arabica* et *Coffea canephora*.







2 Kg de graines du café vert de chaque espèce ont été achetées et torréfiées à la maison (au four électrique) dans des **différentes températures (150, 200 et 250 °C)** et pendant des **différentes durées (10 et 20 min)**. Les grains de café ont été, ensuite, refroidis à une température ambiante. En plus, 250 g du café de chaque espèce torréfié dans les conditions d'utilisation habituels (torréfiés à **250 °C** pendant **20 min** dans un **torréfacteur industriel**) ont été achetés.

Après torréfaction, les graines ont été broyées et tamisées afin d'avoir des poudres fines.

(Tableau V).

**Tableau V** : Les échantillons d'arabica et de robusta torréfiés à différentes températures et pendant des différentes durées

Échantillons	Températures (° C)	Durées (min)	Photos	
			Arabica	Robusta
Frais	0	0		
Légèrement torréfié	150	10		
		20		
Moyennement torréfié	200	10		

		20		
Fortement torréfié	250	10		
		20		
Café industriel	250	20		

## 2. Analyses physico-chimiques

### 2.1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité est obtenu par la dessiccation d'une prise d'essai du produit à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures jusqu'à l'obtention d'un poids constant (Audigie *et al.*, 1984).

#### Mode opératoire

Une quantité de 2g de café poudre est placée dans des boîtes de pétri en verre préalablement séché et taré. Le verre et son contenu sont ensuite placés dans une étuve type Memmert à 105 °C pendant 24h. Après refroidissement dans un dessiccateur renfermant un desséchant (gel de silice), le verre de montre est pesé. L'expérience a été répétée 3 fois.

**Expression des résultats**

$$\%H = \left( \frac{M_1 - M_2}{p} \right) \times 100$$

$M_1$  : la masse de l'échantillon + la masse du creuset (avant dessiccation) (g)

$M_2$  : la masse de l'échantillon + la masse du creuset (après dessiccation) (g)

$p$  : la masse de l'échantillon (g).

**2.2. Potentiel d'hydrogène (pH)**

La détermination du pH est réalisée par un pH mètre. La méthode basée sur la différence du potentiel existant entre deux électrodes plongées dans le produit à analyser (**Boussaid *et al.*, 2020**)

**Mode opératoire**

La détermination du pH a été faite en immergeant l'électrode du pH-mètre pré-étalonnée dans 10 ml du filtrat obtenu après macération de 1 g d'échantillon dans 100 ml d'eau distillée. La valeur du pH affichée sur l'écran du pH-mètre est notée. L'expérience a été répétée 3 fois.

**2.3. Taux de cendres**

Les cendres sont déterminées par incinération dans un four à moufle jusqu'à l'obtention d'un résidu blanchâtre (**Boussaid *et al.*, 2020**).

**Mode opératoire**

Une quantité de 2g de café a été placée dans des creusets préalablement pesés. Le creuset et son contenu sont ensuite placés dans un four à moufle à 550 °C pendant 6 h, jusqu'à destruction de toutes les matières organiques contenus dans l'échantillon. Après refroidissement le creuset est pesé avec les cendres. L'expérience a été répétée 3 fois.

**Expression des résultats**

$$\%cendres = \left( \frac{M_2 - M_0}{M_1} \right) \times 100$$

$M_0$  : masse du creuset vide (g)

$M_1$  : masse de l'échantillon (g)

$M_2$  : masse de l'échantillon incinéré + la masse du creuset (g)

**2.4. Sucres totaux**

Le dosage des sucres totaux a été réalisé selon la méthode phénol-acide sulfurique. Cette méthode colorimétrique est la plus utilisée à ce jour pour la détermination de la concentration

en glucides dans les solutions aqueuses (**Dubois *et al.*, 1956**). Le principe est basé sur la formation d'une coloration jaune-rouge avec le phénol et l'acide sulfurique dont l'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration des sucres.

### Mode opératoire

Dans un tube à essai en verre, un volume de 500 µl du filtrat (regarder **2.2**) a été introduit. Un volume de 500 µl de phénol à 5% a été rajouté, en suite 2.5 ml d'acide sulfurique concentré a été rajouté aussi. Les tubes ont été incubés à 95 °C pendant 5 min puis laissés refroidir à une température ambiante. L'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. Une gamme d'étalonnage de glucose (0-0,2 mg/ml) a été utilisée. L'expérience a été répétée 3 fois.

### Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en mg équivalent glucose/ml

## 3. Extraction et dosage des polyphénols totaux

### 3.1. Extraction par macération (extraction solide/liquide)

La macération est un procédé qui consiste à laisser séjourner un solide dans un liquide froid pour en extraire les composés solubles.

L'extraction a été effectuée selon le protocole décrit par **Hamia *et al.*, (2014)**, avec quelques modifications.

#### Mode opératoire

Des quantités de 15 g de café poudre sont macérées dans 50 ml du mélange hydroacétonique (acétone/eau) (70/30 : v/v) pendant 24 h à température ambiante. Les extraits sont filtrés, et le solvant organique (acétone) est évaporé sous pression réduite à 40 °C. La phase aqueuse de chaque extrait est récupérée dans un flacon et séchée à l'étuve à 40 °C. La poudre sèche est conservée au réfrigérateur à 4°C (**figure 06**).

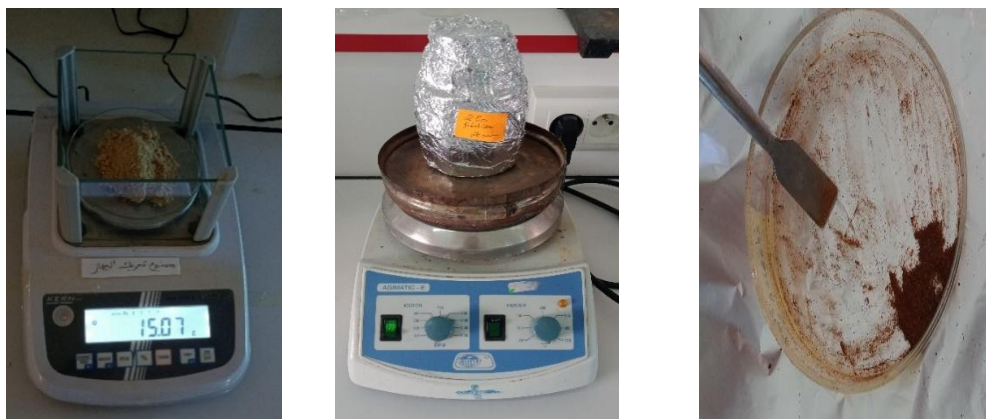


Figure 06 : Étapes de préparation de la matière sèche

### 3.2. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée par la méthode de Singleton et Ross utilisant le réactif folin ciocalteu (**Chedea et Pop, 2019**). Ce dernier est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ) qui est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en mélange d'oxydes bleus de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ).

#### Mode opératoire

Un volume de 200  $\mu$ l de chaque extrait est mélangé à 1 ml du réactif de Folin-ciocalteu (dilué 10 fois avec de l'eau distillée) et 800  $\mu$ l d'une solution aqueuse de 7,5 % (m/V) de carbonate de sodium ( $Na_2CO_3$ ). Après 2 heures d'incubation à une température ambiante, l'absorbance est lue par spectrophotométrie UV-Vis à une longueur d'onde de 760 nm. Une courbe d'étalonnage est obtenue dans les mêmes conditions en utilisant une gamme de concentrations (0 - 0,3 mg/L) d'une solution aqueuse d'acide gallique à la place de l'échantillon. La teneur en polyphénols totaux a été exprimée en équivalent d'acide gallique (mg EAG/g MS) (**Dudonné et al., 2009**). L'expérience a été répétée 3 fois

### 4. Détermination de l'activité antioxydante ; test DPPH

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical stable largement utilisé pour déterminer la capacité antioxydante. Le DPPH est soluble dans les solvants organiques et présente une bande d'absorption typique à 517 nm (dans le méthanol). Habituellement, la diminution de l'intensité d'absorption en présence d'échantillons contenant des antioxydants est enregistrée après un temps d'incubation fixe (environ 30 minutes) (**Chedea et Pop, 2019**).

### Mode opératoire

Des volumes de 500  $\mu$ l de la solution à tester ont été mélangés avec 1,95 ml de la solution de DPPH<sup>•</sup> (absorbance de  $0,68 \pm 0,03$  à 515 nm). Le mélange réactionnel est agité vigoureusement et incubé pendant 30 min à température ambiante. Les absorbances à 515 nm ont été enregistrées (contre le méthanol) sur un spectrophotomètre UV-Vis (**Popovici et al., 2009**). Une courbe d'étalonnage est obtenue dans les mêmes conditions en utilisant une gamme de concentrations (0 - 0,5 mg/ml) d'une solution aqueuse d'acide ascorbique à la place de l'échantillon. La capacité antioxydante a été exprimée en équivalent d'acide ascorbique (mg EAA/g MS). L'expérience a été répétée 3 fois.

### 5. Traitement statistique des données

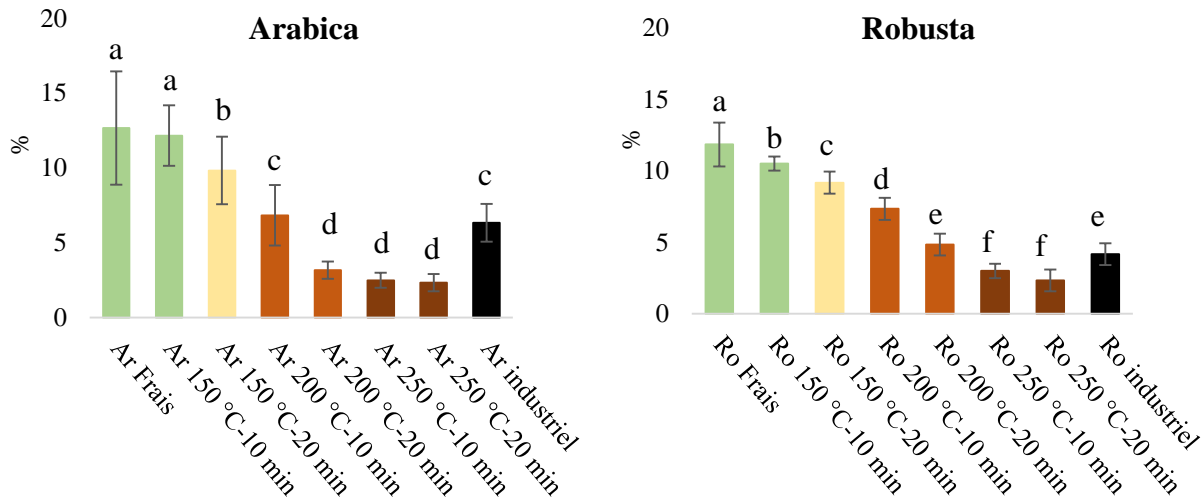
Tous les essais ont été répétés trois fois (triplicat technique) et les résultats ont été exprimés par la moyenne  $\pm$  l'écartype. Une analyse de variance (ANOVA) sur toutes les données a été effectuée utilisant le logiciel XLSTAT version 2021, un test de Tukey a été utilisé où  $p < 0,05$  a été considéré comme significatif.

## 1. Résultats

### 1.1. Analyses physico-chimiques

#### 1.1.1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité (%) des échantillons est représenté dans la **figure 07**.



**Figure 07** : Taux d'humidité des échantillons d'arabica et robusta

- Les valeurs du taux d'humidité varient entre 2,3 et 11,8 % pour arabica et entre 2,3 et 12,6% pour robusta.
- Le taux d'humidité diminue significativement au cours de la torréfaction ; plus que la température de torréfaction augmente plus que le taux d'humidité diminue.
- Les valeurs du taux d'humidité des cafés industriels (torréfiés à 250 °C pendant 20 min) sont supérieures aux cafés torréfiés à la maison dans les mêmes conditions de température et du temps (250 °C pendant 20 min).

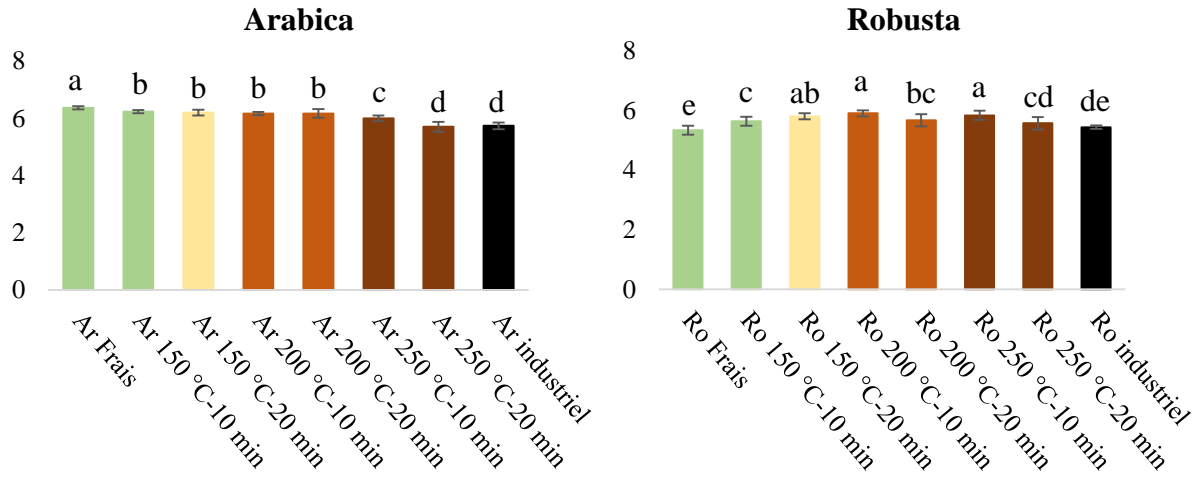
En comparant avec les normes, les valeurs de la teneur en humidité doivent être inférieures à 12,5%, **selon le décret exécutif n° 17-99 du 29 Jomada El Oula 1438 correspondant au 26 février 2017 fixant les caractéristiques du café ainsi que les conditions et les modalités de sa mise à la consommation.**

Les valeurs du taux d'humidité obtenues sont conformes aux normes



1.1.2. pH

Le pH des échantillons est représenté dans la **figure 08**

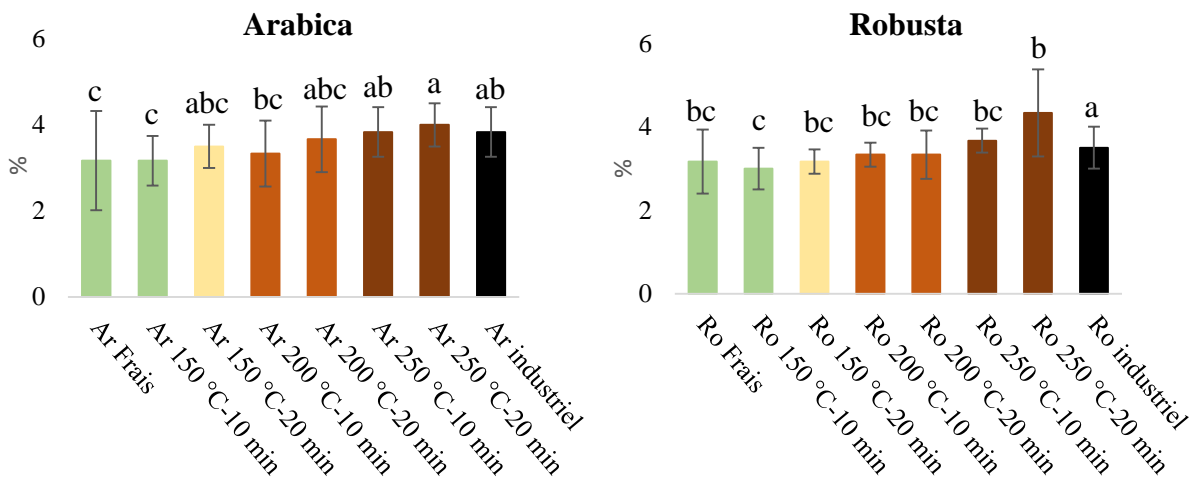


**Figure 08** : pH des échantillons d'arabica et robusta

- Les valeurs du pH varient entre 5,7 et 6,37 pour Arabica et entre 5,33 et 5,9 pour Robusta.
- Les valeurs du pH changent légèrement mais significativement au cours de la torréfaction.
- En constate que le café robusta a un caractère plus acide que le café arabica.
- Les valeurs du pH des cafés industriels sont semblables aux cafés torréfiés à la maison dans les mêmes conditions de température et du temps.

1.1.3. Taux de cendres

Le taux de cendres des échantillons est représenté dans la **figure 09**



**Figure 09** : Le taux de cendres des échantillons d'arabica et robusta

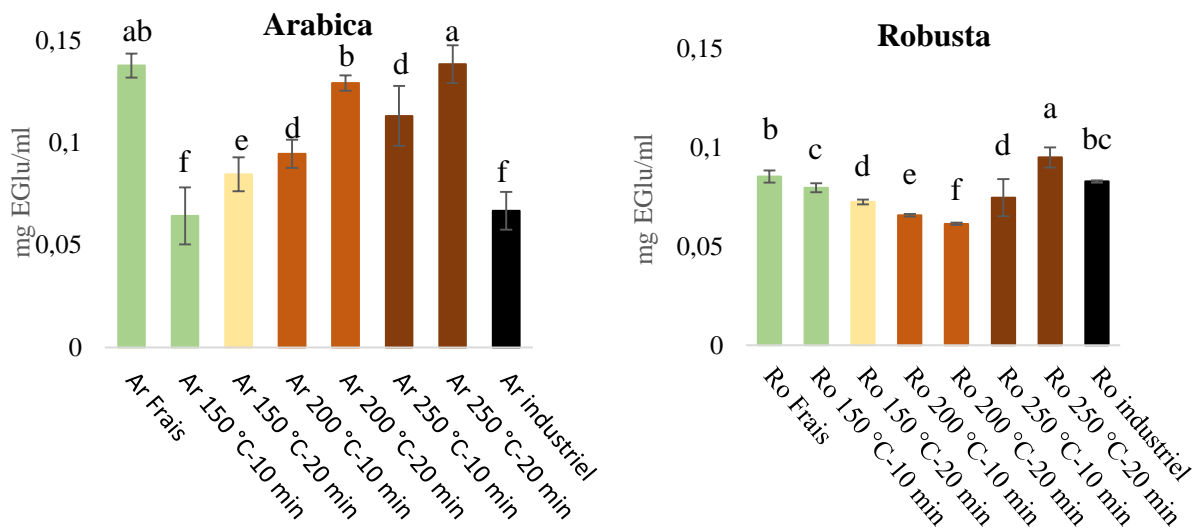
- Les valeurs du taux de cendres varient entre 3,1 et 3,8 % pour arabica et entre 3 et 4,3 pour robusta
- Comme pour le pH, les valeurs du taux de cendres changent légèrement mais significativement au cours de la torréfaction
- Pas de différence significative

En comparant avec les normes, la valeur obtenue de la teneur en cendres doit être inférieure à 6%, selon le **décret exécutif n° 17-99 du 29 Joumada El Oula 1438 correspondant au 26 février 2017 fixant les caractéristiques du café ainsi que les conditions et les modalités de sa mise à la consommation.**

Les valeurs du taux de cendres obtenues sont conformes aux normes.

#### 1.1.4. Sucres totaux

La concentration des sucres totaux des échantillons est représentée dans la **figure 10**



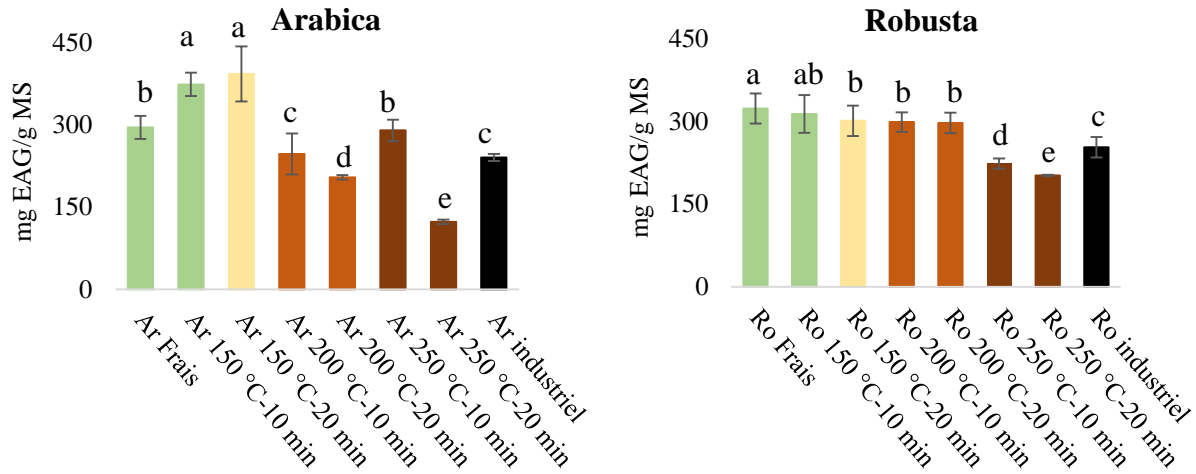
**Figure 10** : Concentration des sucres totaux (en mg équivalent glucose/ml) des échantillons d'arabica et de robusta

- La concentration des sucres totaux varie entre 0,06-0,13 mg EGlu/ml pour le café arabica et entre 0,06-0,09 mg EGlu/ml pour le café robusta.
- La concentration des sucres changent significativement au cours de la torréfaction.
- Il y a une différence significative entre les échantillons industriels et ceux torréfiés à la maison dans les mêmes conditions (250°C pendant 20min).
- D'après les résultats que nous avons obtenus, on constate que le café arabica contient plus de sucres que le café robusta.

## 1.2. Étude phytochimique

### 1.2.1. Polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des échantillons est représentée dans la **figure 11**

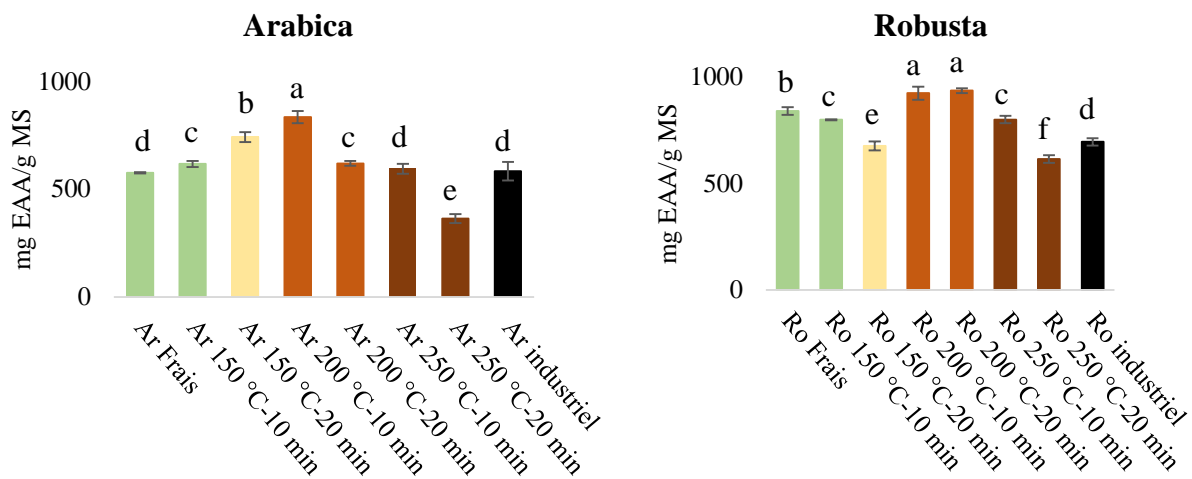


**Figure 11** : La teneur en polyphénols totaux des extraits d'arabica et de robusta

- La teneur en polyphénols totaux varie entre 122 et 392 mg EAG/g MS dans le café arabica et entre 200 et 323 mg EAG/g MS dans le café robusta.
- La teneur en polyphénols totaux change significativement au cours de la torréfaction.
- La teneur en polyphénols dans les cafés industriels diffère significativement par rapport aux cafés torréfiés à la maison (250°C pendant 20min).

### 1.2.2. Capacité antioxydante (DPPH)

La capacité antioxydante des extraits est représentée dans la **figure 12**



**Figure 12** : La capacité antioxydante des extraits d'arabica et de robusta

- Les valeurs de la capacité antioxydante varient entre 363,1 et 833,38 mg EAA/g MS dans le café arabica et entre 614,71 et 935,8 mg EAA/g MS dans le café robusta.
- La capacité antioxydante diffère significativement d'un stade de torréfaction à l'autre.
- Il existe une relation directe entre la teneur en polyphénols et la capacité antioxydante, plus que la teneur en polyphénols augmente, plus que la capacité antioxydante augmente et vice-versa.

## 2. Discussion

Dans cette étude nous nous sommes intéressés à l'étude de l'effet de la torréfaction sur les propriétés physico-chimiques, la teneur en polyphénols totaux et la capacité antioxydante des extraits de deux espèces de café arabica et robusta torréfiés à la maison à différentes températures (150, 200 et 250 °C) et pendant des différentes durées (10 et 20 min) en plus des échantillons verts, et industriels des mêmes espèces.

Nous avons commencé notre étude par les analyses physico-chimiques des échantillons. Le taux de cendres (<6) et le taux d'humidité (<12,5%) sont **conformes au décret exécutif n° 17-99 du 29 Jomada El Oula 1438 correspondant au 26 février 2017 fixant les caractéristiques du café ainsi que les conditions et les modalités de sa mise à la consommation** et aux travaux de **Djemaoun N, (2017)**. Les valeurs du pH varient entre 5,7 et 6,37 pour arabica et entre 5.33 et 5.9 pour robusta, ces valeurs sont proches de celles trouvées par **Bouden H et Kadri A, (2019)**, par contre, nous avons trouvé que robusta possède un caractère plus acide que arabica. L'évolution de la concentration des sucres totaux est pareille à celle obtenue par **Djemaoun N, (2017)**. La diminution des sucres est due à la dégradation de ces derniers lors de la réaction de Maillard, donnant lieu à l'eau, le dioxyde de carbone, la couleur, l'arôme, et le goût spécifique du café (**Poisson et al., 2017; Sruthi et al., 2021**). Cette diminution est suivie par une augmentation à partir de 150 °C-20 min pour arabica et 250 °C-10 min pour robusta, selon **Djemaoun N, (2017)**, la diminution est due à la réaction de caramélisation des sucres réducteurs donnant naissance à des polymères de sucre.

Nous avons étudié ensuite la teneur en polyphénols totaux. Les valeurs obtenues situent entre 122 et 392 mg EAG/g MS pour les extraits d'arabica et entre 200 et 323 mg EAG/g MS pour les extraits de robusta, ces valeurs sont proches à celles trouvées par **Andrade et al., (2012)** (entre  $119,9 \pm 2,1$  et  $587,7 \pm 46,6$  mg ECA /g d'extrait ). Par contre **Vignoli et al., (2014)** ont trouvé des valeurs très faibles ; entre 18,6 et 28,2 g d'acide gallique/100 g. Ces différences dépendent majoritairement de la méthode d'extraction utilisée, l'unité d'expression des résultats, l'origine de l'échantillon et le degré de la torréfaction. En terme qualitatif, nos

résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Dybowska et al., (2017); Odžaković et al., (2016)**, les teneurs les plus élevées ont été observées dans le café légèrement torréfié, alors que le café moyennement et fortement torréfié présentent des teneurs faibles ; la teneur en polyphénols totaux diminue avec l'augmentation de la température. D'autres études ont établi une tendance pour l'augmentation de la teneur totale en phénolique lors de la torréfaction (**Jogihalli et al., 2017**).

La capacité du piégeage du radical libre DPPH était élevée dans les extraits légèrement et moyennement torréfiés par rapport à ceux fortement torréfiés, ces résultats sont en accord avec ceux cités par **Vignoli et al., (2014)**.

Certains auteurs ont constaté que le café vert a des propriétés antioxydantes plus importantes que le café torréfié en raison de la perte de composés bioactifs pendant la torréfaction (**Perrone et al., 2012**). D'autre part **Liang et al., (2016); Dybowska et al., (2017)** ont trouvé que l'activité antioxydante augmente considérablement au cours de la torréfaction, c'est-à-dire que le café fortement torréfié a une activité plus élevée que le café légèrement torréfié, ils ont expliqué ça par la formation des composés de réaction de Maillard pendant la torréfaction, conduisant à la formation de la mélanoidine antioxydante qui, dans une large mesure, compense la diminution des polyphénols pendant la torréfaction.

Ce travail consiste à évaluer l'effet de la torréfaction du café sur les propriétés physico-chimiques et la teneur en polyphénols totaux et la capacité antioxydante totale des deux espèces du café les plus consommées dans le monde ; *Coffea arabica* (arabica) et *Coffea canephora* (robusta).

Les tests physico-chimiques effectués ont révélé la conformité de nos échantillons ainsi les échantillons industriels au décret exécutif n° 17-99 du 29 Joumada El Oula 1438 correspondant au 26 février 2017 fixant les caractéristiques du café ainsi que les conditions et les modalités de sa mise à la consommation

Les tests phytochimiques ont révélé la richesse de nos extraits en polyphénols totaux ainsi que leur capacité antioxydante élevée.

D'après ces résultats on peut dire que ;

- Le café est une source de composés naturels très intéressants (polyphénols)
- Le café possède une capacité antioxydante importante
- La température et la durée de la torréfaction impactent considérablement les propriétés physico-chimiques ainsi que phytochimiques du café

À la lumière de ces résultats, cette étude préliminaire nécessite d'autres recherches approfondies et plus accomplies incluant :

- L'étude de la composition chimique du café
- La caractérisation et l'isolement des molécules phytochimiques responsables de l'activité biologique
- L'évaluation de l'activité antioxydante par d'autres méthodes *in vitro* et *in vivo*
- L'évaluation d'autres activités biologiques comme l'activité anti-inflammatoire, anti-diabète...

- Ahmed, Omar Mohammed, et Mustafa Taha Mohammed. 2000 « Review Article oxidative stress: the role of reactive oxygen species (ROS) and antioxidants in human diseases ». *Oxidative Stress*, 7.
- Alessandrini, Laura, Santina Romani, Giangaetano Pinnavaia, et Marco Dalla Rosa. 2008. « Near Infrared Spectroscopy : An Analytical Tool to Predict Coffee Roasting Degree ». *Analytica Chimica Acta* 625 (1): 95-102. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.07.013>.
- Allred, Kimberly F., Katarina M. Yackley, Jairam Vanamala, et Clinton D. Allred. 2009. « Trigonelline Is a Novel Phytoestrogen in Coffee Beans ». *The Journal of Nutrition* 139 (10): 1833-38. <https://doi.org/10.3945/jn.109.108001>.
- Anderson, Brent A., Eyal Shimoni, Rémy Liardon, et Theodore P. Labuza. 2003. « The Diffusion Kinetics of Carbon Dioxide in Fresh Roasted and Ground Coffee ». *Journal of Food Engineering* 59 (1): 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00432-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00432-6).
- Andrade, Kátia S., Ricardo T. Gonçalves, Marcelo Maraschin, Rosa Maria Ribeiro-do-Valle, Julian Martínez, et Sandra R.S. Ferreira. 2012. « Supercritical Fluid Extraction from Spent Coffee Grounds and Coffee Husks: Antioxidant Activity and Effect of Operational Variables on Extract Composition ». *Talanta* 88 (janvier): 544-52. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.11.031>.
- Anzueto, F., Baumann, T.W., Graziosi, G., Piccin, C.R., Sondahl, M.R., van der Vossen, H.A.M. 2005. The plant. In: Illy, A., Viani, R. (Eds.), *Espresso Coffee: The Science of Quality*, second ed. Elsevier Academic Press, Amsterdam, The Netherlands. 398p.
- Araújo, Júlio M.A., et Delcio Sandi. 2007. « Extraction of Coffee Diterpenes and Coffee Oil Using Supercritical Carbon Dioxide ». *Food Chemistry* 101 (3): 1087-94. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.03.008>.
- Audigie C.L., Fagerella J., Zonszain F. 1984. *Manipulation d'analyse biochimique*. Edition Tec & Doc, Lavoisier. Paris. p : 270.
- Bekedam, Emiel Koen. 2008. *Coffee Brew Melanoidins: Structural and Functional Properties of Brown-Colored Coffee Compounds*.
- Bicho, Natalina Cavaco, António Eduardo Leitão, José Cochicho Ramalho, Nuno Bartolomeu de Alvarenga, et Fernando Cebola Lidon. 2013. « Impact of Roasting Time on the Sensory Profile of Arabica and Robusta Coffee ». *Ecology of Food and Nutrition* 52 (2): 163-77. <https://doi.org/10.1080/03670244.2012.706061>.

- Bonnin, A.L. 2016. Autour du café. Thèse de doctorat en pharmacie. Département de pharmacie, Université d'Angers
- Borém, F.M., Reinato, C.H.R., Andrade, E.T. 2008. Coffee drying. In: Borém, F.M. (Ed.), Post-Harvest of Coffee. Editora UFLA, Lavras, Brazil, pp. 203–240
- Bouden Houda, et Kadri amel. 2019. « Contrôle de qualité du café et du safran », 110.
- Boussaid, Louisa, Hakim Aguedal, Abdelkader Iddou, et Noureddine Bouras. 2020. « Aperçu sur les caractéristiques physicochimiques et biochimiques de trois sirops de » 2 (1): 8.
- Bradbury, Allan G. W, et Don J. Halliday. 1990. « Chemical Structures of Green Coffee Bean Polysaccharides ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38 (2): 389-92. <https://doi.org/10.1021/jf00092a010>.
- Carneiro, Sofia M., M. Beatriz P.P. Oliveira, et Rita C. Alves. 2021. « Neuroprotective Properties of Coffee: An Update ». *Trends in Food Science & Technology* 113 (juillet): 167-79. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.052>.
- Chedea, Veronica Sanda, et Raluca Maria Pop. 2019. « Total Polyphenols Content and Antioxidant DPPH Assays on Biological Samples ». In *Polyphenols in Plants*, 169-83. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768-0.00011-6>.
- wang, R.J. 1987a. Roasting and grinding. In: Clarke, R.J., Macrae, R. (Eds.), *Coffee Technology*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, New York, pp. 73–107
- Djemaoun Nawel. 2017. « Contrôle de la qualité physico-chimique et analyse sensorielle d'un mélange de café (Robusta et Arabica) ». Mémoire de Master. Département des sciences de la vie et de l'univers. Université Aboubeker Belkaid, Tlemcen.
- Dubois, Michel., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, et Fred. Smith. 1956. « Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances ». *Analytical Chemistry* 28 (3): 350-56. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>.
- Dudonné, Stéphanie, Xavier Vitrac, Philippe Coutière, Marion Woillez, et Jean-Michel Mérillon. 2009. « Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57 (5): 1768-74. <https://doi.org/10.1021/jf803011r>.
- Dutra, E R, L S Oliveira, A S Franca, et V P Ferraz. 2001. « A Preliminary Study on the Feasibility of Using the Composition of Coffee Roasting Exhaust Gas for the Determination of the Degree of Roast ». *Journal of Food Engineering*, 6.



- Dybkowska, Ewa, Anna Sadowska, Rita Rakowska, Maria Dębowska, Franciszek Świdorski, et Katarzyna Świąder. 2017. « assessing polyphenols content and antioxidant activity in coffee beans according to origin and the degree of roasting », n° 4: 8.
- Esquivel, Patricia, et Víctor M. Jiménez. 2012. « Functional Properties of Coffee and Coffee MuBy-Products ». *Food Research International* 46 (2): 488-95. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>.
- Farah, A. 2009. « Coffee as a Speciality and Functional Beverage ». In *Functional and Speciality Beverage Technology*, 370-95. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845695569.3.370>.
- Farah, A. 2009. « Coffee as a Speciality and Functional Beverage ». In *Functional and Speciality Beverage Technology*, 370-95. Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845695569.3.370>.
- Farah, Adriana, et Thiago Ferreira dos Santos. 2015. « The Coffee Plant and Beans ». In *Coffee in Health and Disease Prevention*, 5-10. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2>.
- Farah, Adriana, Tomas de Paulis, Luiz C. Trugo, et Peter R. Martin. 2005. « Effect of Roasting on the Formation of Chlorogenic Acid Lactones in Coffee ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (5): 1505-13. <https://doi.org/10.1021/jf048701t>.
- Franca, Adriana S., et Leandro S. Oliveira. 2019. « Coffee ». In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*, 413-38. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00017-4>.
- Justin Koffi, H. 2007. 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 ABIÉS, Laboratoire de Chimie analytique de Paris
- Hamia, Chahrazed, Amel Guergab, Nour Elhouda Rennane, Meriem Birache, Meriem Haddad, Mokhtar Saidi, et Mohamed Yousfi. 2014. « Influence des Solvants sur le Contenu en Composés Phénoliques et l'Activité Antioxydante des Extraits du Rhanterium Adpressium ». 39-33 : (1) 6 *حوليات العلوم و التكنولوجيا*. <https://doi.org/10.12816/0010624>.
- Hečimović, Ivana, Ana Belščak-Cvitanović, Dunja Horžić, et Draženka Komes. 2011a. « Comparative Study of Polyphenols and Caffeine in Different Coffee Varieties Affected by the Degree of Roasting ». *Food Chemistry* 129 (3): 991-1000. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.059>.

- Higdon, Jane V., et Balz Frei. 2006. « Coffee and Health: A Review of Recent Human Research ». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 46 (2): 101-23. <https://doi.org/10.1080/10408390500400009>.
- Houessou, JK .2007. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le café mise au point de méthodes analytiques et étude de l'étape de torréfaction, Thèse de doctorat, I.S.I.V.E, Paris. 2:5-11
- Jogihalli, Praveen, Lochan Singh, Kshitiz Kumar, et Vijay Singh Sharanagat. 2017. « Physico-Functional and Antioxidant Properties of Sand-Roasted Chickpea (*Cicer Arietinum*) ». *Food Chemistry* 237 (12): 1124-32. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.069>.
- Jogihalli, Praveen, Lochan Singh, et Vijay Singh Sharanagat. 2017. « Effect of Microwave Roasting Parameters on Functional and Antioxidant Properties of Chickpea (*Cicer Arietinum*) ». *LWT - Food Science and Technology* 79 (06): 223-33. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.047>.
- Król, Katarzyna, Magdalena Gantner, Aleksandra Tatarak, et Ewelina Hallmann. 2020. « The Content of Polyphenols in Coffee Beans as Roasting, Origin and Storage Effect ». *European Food Research and Technology* 246 (1): 33-39. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03388-9>.
- Liang, Ningjian, Wei Xue, Pierre Kennepohl, et David D. Kitts. 2016. « Interactions between Major Chlorogenic Acid Isomers and Chemical Changes in Coffee Brew That Affect Antioxidant Activities ». *Food Chemistry* 213 (décembre): 251-59. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.041>.
- Liguori, Ilaria, Gennaro Russo, Francesco Curcio, Giulia Bulli, Luisa Aran, David Della-Morte, Gaetano Gargiulo, et al. 2018. « Oxidative Stress, Aging, and Diseases ». *Clinical Interventions in Aging* Volume 13 (avril): 757-72. <https://doi.org/10.2147/CIA.S158513>.
- Munyendo, Leah M., Daniel M. Njoroge, Eddy E. Owaga, et Beatrice Mugendi. 2021. « Coffee Phytochemicals and Post-Harvest Handling—A Complex and Delicate Balance ». *Journal of Food Composition and Analysis* 102 (septembre): 103995. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103995>.
- Murthy, P.S., Naidu, M.M .2012. « Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products ». *Food Bioprocess Technol.* 5, 897–903.

- Narita, Yusaku, et Kuniyo Inouye. 2015. « Chlorogenic Acids from Coffee ». In *Coffee in Health and Disease Prevention*, 189-99. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00021-8>.
- Nehlig, Astrid. 2016. « Les propriétés antioxydantes du café ». *Hegel* N° 2 (2): 220a. <https://doi.org/10.3917/heg.062.0220a>.
- Odžaković, Božana, Natalija Džinić, Zoran Kukrić, et Slavica Grujić. 2016. « Effect of roasting degree on the antioxidant activity of different Arabica coffee quality classes ». *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* 15 (4): 409-17. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2016.4.39>.
- Patay, Éva Brigitta, Nikolett Sali, Tamás Kőszegi, Rita Csepregi, Viktória Lilla Balázs, Tibor Sebastian Németh, Tibor Németh, et Nóra Papp. 2016. « Antioxidant Potential, Tannin and Polyphenol Contents of Seed and Pericarp of Three Coffea Species ». *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 9 (4): 366-71. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2016.03.014>.
- Perrone, Daniel, Adriana Farah, et Carmen M. Donangelo. 2012. « Influence of Coffee Roasting on the Incorporation of Phenolic Compounds into Melanoidins and Their Relationship with Antioxidant Activity of the Brew ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60 (17): 4265-75. <https://doi.org/10.1021/jf205388x>.
- Poisson, Luigi, Imre Blank, Andreas Dunkel, et Thomas Hofmann. 2017. « The Chemistry of Roasting—Decoding Flavor Formation ». In *The Craft and Science of Coffee*, 273-309. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00012-8>.
- Popovici, Cristina, Ilonka Saykova, et Bartek Tylkowski. 2009. « Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH », 14.
- Rani, Vibha, Gagan Deep, Rakesh K. Singh, Komaraiah Palle, et Umesh C.S. Yadav. 2016. « Oxidative Stress and Metabolic Disorders: Pathogenesis and Therapeutic Strategies ». *Life Sciences* 148 (mars): 183-93. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2016.02.002>.
- Rizzo, Angela Maria, Patrizia Berselli, Stefania Zava, Gigliola Montorfano, Manuela Negroni, Paola Corsetto, et Bruno Berra. 2010. « Endogenous Antioxidants and Radical Scavengers ». In *Bio-Farms for Nutraceuticals*, édité par Maria Teresa Giardi, Giuseppina Rea, et Bruno Berra, 698:52-67. Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7347-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7347-4_5).

- Speer, Karl, et Isabelle Kölling-Speer. 2006. « The Lipid Fraction of the Coffee Bean ». *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18 (1): 201-16. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100014>.
- Sruthi, N.U., Yashaswini Premjit, R. Pandiselvam, Anjineyulu Kothakota, et S.V. Ramesh. 2021. « An Overview of Conventional and Emerging Techniques of Roasting: Effect on Food Bioactive Signatures ». *Food Chemistry* 348 (juin): 129088. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129088>.
- Steiman, S. (Ed.) .2008. *The Hawai'i Coffee Book. A Gourmet's Guide from Kona to Kaua'i*. first ed. Watermark Publishing, Hawai'i, pp. 21–39.
- Vaast, Philippe, Benoit Bertrand, Jean-Jacques Perriot, Bernard Guyot, et Michel Génard. 2006. « Fruit Thinning and Shade Improve Bean Characteristics and Beverage Quality of Coffee (*Coffea Arabica* L.) under Optimal Conditions ». *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 (2): 197-204. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2338>.
- Vignoli, Josiane Alessandra, Marcelo Caldeira Viegas, Denisley Gentil Bassoli, et Marta de Toledo Benassi. 2014. « Roasting Process Affects Differently the Bioactive Compounds and the Antioxidant Activity of Arabica and Robusta Coffees ». *Food Research International* 61 (juillet): 279-85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.006>.
- Vincent, J.C .1987. Green coffee processing. In: Clarke, R.J., Macrae, R. (Eds.), *Coffee Technology*. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, New York, pp. 1–33.
- Wang, Niya, Yucheng Fu, et Loong-Tak Lim. 2011. « Feasibility Study on Chemometric Discrimination of Roasted Arabica Coffees by Solvent Extraction and Fourier Transform Infrared Spectroscopy ». *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59 (7): 3220-26. <https://doi.org/10.1021/jf104980d>.
- Wang, Xiuju, et Loong-Tak Lim. 2015. « Physicochemical Characteristics of Roasted Coffee ». In *Coffee in Health and Disease Prevention*, 247-54. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00027-9>.
- Wei, Feifei, et Masaru Tanokura. 2015. « Chemical Changes in the Components of Coffee Beans during Roasting ». In *Coffee in Health and Disease Prevention*, 83-91. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3>.

**Décret exécutif n° 17-99 du 29 Jumada El Oula 1438  
correspondant au 26 février 2017 fixant les  
caractéristiques du café ainsi que les conditions et  
les modalités de sa mise à la consommation.**

-----

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre du commerce,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 09-03 du 29 Safar 1430 correspondant au 25 février 2009, modifiée, relative à la protection du consommateur et à la répression des fraudes ;

Vu la loi n° 04-04 du 5 Jumada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004, modifiée et complétée, relative à la normalisation ;

Vu le décret présidentiel n° 05-118 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif à l'ionisation des denrées alimentaires ;

Vu le décret présidentiel n° 15-125 du 25 Rajab 1436 correspondant au 14 mai 2015, modifié, portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 91-04 du 19 janvier 1991 relatif aux matériaux destinés à être mis en contact avec les denrées alimentaires et les produits de nettoyage de ces matériaux ;

Vu le décret exécutif n° 91-53 du 23 février 1991 relatif aux conditions d'hygiène lors du processus de la mise à la consommation des denrées alimentaires ;

Vu le décret exécutif n° 92-30 du 20 janvier 1992, modifié et complété, relatif aux spécifications et à la présentation des cafés ;

Vu le décret exécutif n° 04-319 du 22 Chaâbane 1425 correspondant au 7 octobre 2004 fixant les principes d'élaboration, d'adoption et de mise en œuvre des mesures sanitaires et phytosanitaires ;

Vu le décret exécutif n° 04-320 du 22 Chaâbane 1425 correspondant au 7 octobre 2004 relatif à la transparence des mesures sanitaires et phytosanitaires et des obstacles techniques au commerce ;

Vu le décret exécutif n° 12-203 du 14 Jumada Ethania 1433 correspondant au 6 mai 2012 relatif aux règles applicables en matière de sécurité des produits ;

Vu le décret exécutif n° 12-214 du 23 Jumada Ethania 1433 correspondant au 15 mai 2012 fixant les conditions et les modalités d'utilisation des additifs alimentaires dans les denrées alimentaires destinées à la consommation humaine ;

Vu le décret exécutif n° 13-378 du 5 Moharram 1435 correspondant au 9 novembre 2013 fixant les conditions et les modalités relatives à l'information du consommateur ;

Vu le décret exécutif n° 14-366 du 22 Safar 1436 correspondant au 15 décembre 2014 fixant les conditions et les modalités applicables en matière de contaminants tolérés dans les denrées alimentaires ;

Vu le décret exécutif n° 15-172 du 8 Ramadhan 1436 correspondant au 25 juin 2015 fixant les conditions et les modalités applicables en matière de spécifications microbiologiques des denrées alimentaires ;

**Décète :**

Article 1er. — Conformément aux dispositions des articles 10 et 11 de la loi n° 09-03 du 29 Safar 1430 correspondant au 25 février 2009, susvisée, le présent décret a pour objet de fixer les caractéristiques du café ainsi que les conditions et les modalités de sa mise à la consommation.

Art. 2. — Le nom "café" avec ou sans qualificatif et toute dénomination contenant soit le mot "café", soit un dérivé de ce mot, soit le nom d'une espèce, au sens de l'article 3 ci-après, ou d'une variété de ces espèces sont réservés aux produits définis au présent décret.

Art. 3. — La dénomination "café vert" ou "café brut" est réservée aux grains ou aux fèves issus des fruits de plantes des espèces cultivées du genre *Coffea*.

Le café vert est constitué de fèves d'une seule espèce botanique. Il doit être de qualité saine, loyale et marchande.

Les fèves doivent être débarrassées de leur parche, n'avoir subi aucun retranchement de leurs principes constituants, ni aucune altération ou contamination, notamment par pourriture ou moisissure, ni dégager aucune odeur mauvaise ou étrangère au café.

Les teneurs en poids admissibles en matières étrangères et en humidité, sont fixées comme suit :

- teneur en eau ou en humidité doit être inférieure à..... 12,5% ;
- teneur en matières étrangères ne doit pas dépasser..... 0,5%.

Art. 4. — La dénomination "café" sans qualificatif est réservée au produit résultant de la torréfaction de café vert, tel que défini à l'article 3 ci-dessus, et n'ayant subi aucun retranchement de ses principes constituants.

Art. 5. — Le café vert doit être torréfié à des températures conformes à la réglementation en vigueur ou, à défaut, aux normes internationales.

Art. 6. — Le café torréfié ne doit dégager aucune mauvaise odeur ni présenter de mauvais goût. Les teneurs maximales en poids admissibles en pierres ou autres matières étrangères, en cendres et en eau, sont fixées comme suit :

- teneur en pierres ou autres matières étrangères au café ..... 1 % ;
- teneur en eau ou en humidité..... 5 % ;
- teneur en cendres ..... 6 %.

Toutefois, la teneur en humidité ou en eau, déterminée ci-dessus, n'est pas applicable aux cafés préemballés à condition que la quantité de matières sèches contenue dans l'emballage, représente 95 %, au moins, du poids net indiqué.

Art. 7. — La dénomination "café moulu", est réservée au produit obtenu par mouture du café torréfié, tel que défini à l'article 4 ci-dessus.

Le café moulu ne doit dégager aucune mauvaise odeur ni présenter de mauvais goût. Les teneurs en humidité ou en eau et en cendres du café moulu, sont celles qui sont fixées pour le café torréfié.

Toutefois, la teneur en eau suscitée n'est pas applicable aux cafés moulus préemballés, à condition que la quantité de matières sèches contenue dans l'emballage, représente 95 %, au moins, du poids net indiqué.

Art. 8. — Le café torréfié et le café vert, ne doivent pas renfermer un nombre élevé de fèves défectueuses ou de défauts de fèves.

La limite des défauts des cafés torréfiés et des cafés verts et le barème de calcul de ces défauts ainsi que la granulation de café, sont fixés par arrêté conjoint des ministres chargés de la protection du consommateur, de l'industrie et de l'agriculture.

Art. 9. — La dénomination "café vert décaféiné" est réservée au produit résultant de l'élimination de caféine du café vert et, qui ne contient pas plus de 0,09% en poids de caféine anhydre par rapport au produit sec.

Art. 10. — La dénomination "café décaféiné", est réservée au produit résultant de l'élimination de la caféine du café torréfié, tel que défini à l'article 4 ci-dessus, ou de la torréfaction de café vert décaféiné et qui ne contient pas une teneur en caféine anhydre supérieure à 0,1%, déterminée par rapport au produit sec.

Art. 11. — L'opération de décaféination ne doit priver le produit d'aucun de ses constituants utiles.

Le café utilisé pour la production du café décaféiné peut faire l'objet d'un traitement en vue d'éliminer des éléments de la couche d'enrobage superficielle des grains.

L'étiquetage des produits ayant fait l'objet de ce traitement doit comporter une mention précisant le procédé utilisé.

Les solvants utilisés lors des opérations mentionnées ci-dessus, et les limites résiduelles de ces solvants dans les cafés ainsi traités, doivent être conformes à la réglementation en vigueur.

Art. 12. — La dénomination "extrait de café", "extrait de café soluble", "café soluble" ou "café instantané", est réservée au produit concentré obtenu par extraction des grains de café torréfiés, en utilisant uniquement l'eau comme moyen d'extraction, à l'exclusion de tout procédé d'hydrolyse par addition d'acide ou de base.

Outre les éléments insolubles technologiquement inévitables et les huiles insolubles provenant du café, l'extrait de café ne doit contenir que les principes solubles et aromatiques du café.

Art. 13. — La teneur en matière sèche provenant du café, défini à l'article 12 ci-dessus, doit être :

a) pour l'extrait de café sous forme solide : égale ou supérieure à 95% en poids ;

b) pour l'extrait de café sous forme de pâte : de 70% à 85% en poids ;

c) pour l'extrait de café sous forme liquide : de 15% à 55% en poids.

Art. 14. — L'extrait de café sous forme solide ou en pâte ne doit pas contenir d'autres éléments que ceux provenant de l'extraction du café.

L'extrait de café sous forme liquide peut contenir des sucres alimentaires, torréfiés ou non, dans une proportion ne dépassant pas 12 % en poids.

Art. 15. — Pour le café liquide prêt à boire :

— la dénomination "café", est réservée au produit obtenu à partir d'eau et de café, défini aux articles 4 et 7 ci-dessus.

— la dénomination "café décaféiné", est réservée au produit obtenu à partir d'eau et de café décaféiné, défini à l'article 10 ci-dessus.

Art. 16. — La dénomination "café moulu épicé" ou "café moulu aux épices", est réservée au mélange de café moulu et d'épices, notamment la cannelle, le gingembre, la cardamine, la girofle, le poivre blanc et la coriandre.

La proportion d'épices cumulées ne doit pas dépasser 2% de la composition du produit final.

Art. 17. — La dénomination "café aromatisé", "café moulu aromatisé", "café décaféiné aromatisé" ou "café moulu décaféiné aromatisé", est réservée aux produits, définis aux articles 4, 7 et 10 ci-dessus, auxquels des arômes ont été ajoutés.

Art. 18. — Il n'est toléré l'adjonction aux cafés que :

— les préparations aromatisantes ou des substances aromatisantes naturelles ;

— les arômes qui proviennent du café.

Art. 19. — La dénomination "café torréfié au sucre", est réservée au café tel que défini à l'article 3 ci-dessus, auquel a été ajouté du sucre, du caramel ou de l'amidon au cours du processus de torréfaction ou pour l'enrobage des grains du café au cours de la torréfaction avec ces produits.

La proportion du sucre, du caramel ou de l'amidon ajouté, ne doit pas dépasser 3% .

Art. 20. — La dénomination "café moulu torréfié au sucre", est réservée au produit obtenu par mouture du café torréfié au sucre, tel que défini à l'article 19 ci dessus.

Art. 21. — Sont autorisées, pour les cafés torréfiés, décaféinés ou non, les opérations ci-après :

— le mélange de cafés d'espèces ou de provenances différentes, la proportion de chaque espèce doit être précisée sur l'emballage ;

— le mélange de cafés avec les succédanés du café, dans ce cas, la dénomination du produit ne doit pas contenir le mot "café" et celui-ci ne peut figurer sur l'emballage ou sur tout support d'information que dans la partie réservée à la composition du produit ;

— le mélange d'extraits de café et de succédanés, dans ce cas, la dénomination du produit ne doit pas contenir le mot "café" celui-ci ne peut figurer sur l'emballage ou sur tout support d'information que dans la partie réservée à la composition du produit ;

— les ingrédients du mélange d'extraits doivent être indiqués par ordre décroissant ;

— l'enrobage du café, au cours de la torréfaction avec une matière inoffensive, non hygroscopique, à condition que la dénomination du café soit suivie d'une mention faisant connaître cet enrobage au consommateur, ainsi que la nature et la proportion de la matière étrangère au café constituant ledit enrobage.

Art. 22. — Il peut être ajouté dans l'opération d'enrobage du café, le beurre et autres corps gras comestibles, ainsi que les additifs alimentaires autorisés par la réglementation en vigueur.

La liste des produits d'enrobage autorisés, cités ci-dessus, peut être actualisée par arrêté des ministres chargés de la protection du consommateur, de l'industrie, de l'agriculture et de la santé.

Art. 23. — Les cafés et les succédanés de café, commercialisés, contenant la substance toxique "acrylamide" dépassant les taux tolérés, cités ci-dessous, ne doivent pas être mis à la consommation.

Les taux tolérés de l'acrylamide sont fixés comme suit :

- café torréfié ..... 450 µg/kg ;
- café instantané (soluble) ..... 900 µg/kg ;

Succédanés de café :

- a) succédanés de café principalement à base de céréales..... 2000 µg/kg ;
- b) autres succédanés de café..... 4000 µg/ kg.

La liste des taux tolérés d'acrylamide, peut être actualisée par arrêté des ministres chargés de la protection du consommateur, de l'industrie, de l'agriculture et de la santé.

Art. 24. — Les taux tolérés de cette substance sont mesurés par des méthodes d'analyses fixées par la réglementation en vigueur ou, à défaut, issues des normes reconnues au plan international.

Art. 25. — Les emballages employés pour les cafés torréfiés en grains et moulus, doivent être inertes vis-à-vis du produit emballé, étanches, propres et secs.

Ces emballages doivent être conformes aux dispositions réglementaires en vigueur.

Art. 26. — Outre les dispositions prévues par le décret exécutif n° 13-378 du 5 Moharram 1435 correspondant au 9 novembre 2013, susvisé, notamment son article 12, l'étiquetage des cafés définis au présent décret, doit comporter :

A-) Pour les cafés aromatisés et les cafés épicés, la dénomination de vente doit être complétée, selon le cas, par le nom de la matière aromatique ou le nom de l'(des) épice(s) utilisée(s).

B-) La dénomination de vente "café torréfié au sucre", "café moulu torréfié au sucre", doit être complétée par l'indication du taux de type de sucre ajouté avec le même caractère et la même taille d'écriture, de manière visible, lisible et indélébile et doivent figurer dans le même champ visuel principal de l'emballage du produit.

C-) Pour les extraits de café, les mentions suivantes :

1. les dénominations de vente "extrait de café", "extrait de café soluble", "café soluble" ou "café instantané", telles que définies à l'article 12 ci-dessus, sont complétées, le cas échéant, par les termes :

- "en pâte" ou " sous forme de pâte", "liquide" ou "sous forme liquide".

Les dénominations peuvent être complétées par le terme "concentré" pour l'extrait de café liquide, à condition que la teneur en matière sèche provenant du café soit, en poids, supérieure à 25% ;

- la mention "décaféiné" pour autant que la teneur en caféine anhydre ne dépasse pas, en poids, 0,3% de la matière sèche provenant du café. Le qualificatif et la dénomination de vente doivent figurer sur le même champ visuel principal ;

- pour l'extrait de café liquide la mention: "avec .... " ou "conservé à ... " ou "conservé au ... " ou "avec ... ajouté" ou "torréfié à ... " ou "torréfié au ... " suivie de la (des) dénomination (s) du (des) type(s) de sucre (s) utilisée (s).

Ces mentions et la dénomination de vente doivent être regroupées dans le même champ visuel principal.

2. la teneur minimale en matière sèche provenant du café pour l'extrait de café en pâte ou liquide. Cette teneur est exprimée en pourcentage du poids du produit fini.

D-) Pour les succédanés et leurs mélanges destinés à la préparation d'une boisson rappelant le café ou les mélanges de succédanés et de cafés, en ce qui concerne la dénomination du produit :

1. s'il s'agit d'un seul produit, celle-ci doit indiquer la nature spécifique du produit, accompagnée du qualificatif "torréfié" ;

2. s'il s'agit d'un mélange, la dénomination doit être : "succédanés torréfiés" ou "extrait de succédanés torréfiés", selon le cas, ou toute autre dénomination de nature à éviter une confusion avec le café torréfié ou les extraits de café, dans l'esprit du consommateur.

Le modèle de la cafetière ou de l'appareil à utiliser pour préparer ces succédanés doit être mentionné sur l'emballage.

Art. 27. — Outre les dispositions prévues par le décret exécutif n° 13-378 du 5 Moharram 1435 correspondant au 9 novembre 2013, susvisé, notamment son article 58, l'étiquetage des cafés verts conditionnés en sacs et non destinés au consommateur final, doit comporter les mentions suivantes :

- les noms du produit et son espèce botanique ;
- la classification du produit exprimée par le grade défini dans le pays d'origine ;
- les quantités brutes et nettes exprimées en poids ;
- le nom ou la raison sociale, la marque déposée et l'adresse du fabricant ou, de l'importateur au cas où le produit est importé ;
- le numéro du lot et la date limite de consommation.

Outre les mentions prévues ci-dessus, les indications ci-après, doivent figurer sur les documents d'accompagnement :

- l'année de la récolte du produit ;
- le pays d'origine ou, le lieu de provenance au cas où le produit est importé ;
- le taux d'humidité exprimé en pourcentage ;

— les conditions particulières de conservation et/ou d'utilisation ;

— le nombre de défauts.

Art. 28. — Dans les établissements où les cafés et les succédanés de café sont commercialisés au détail, les deux produits doivent être exposés à la vente ou mis en vente distinctement, de manière à ne pas créer de confusion dans l'esprit du consommateur sur la nature des produits.

Art. 29. — Les conditions et les modalités de mise à la consommation des succédanés de café, des mélanges de cafés avec succédanés ou autres denrées alimentaires, sont fixées par arrêtés des ministres chargés de la protection du consommateur, de l'industrie, de l'agriculture et de la santé.

Art. 30. — Tout manquement aux dispositions du présent décret, est sanctionné conformément à la législation en vigueur, notamment les dispositions de la loi n° 09-03 du 29 Safar 1430 correspondant au 25 février 2009, modifiée, susvisée.

Art. 31. — Les intervenants dans le processus de mise à la consommation du café, doivent se conformer aux dispositions du présent décret, dans un délai de six (6) mois à compter de sa date de publication au *Journal officiel*.

Art. 32. — Les dispositions du décret exécutif n° 92-30 du 20 janvier 1992, modifié et complété, relatif aux spécifications et à la présentation des cafés, sont abrogées, à l'exception des dispositions des articles 8, 10, 15-3 et 15 bis qui demeurent en vigueur jusqu'à la publication des textes pris en application du présent décret.

Art. 33. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 29 Jomada El Oula 1438 correspondant au 26 février 2017.

Abdelmalek SELLAL.

## DECISIONS INDIVIDUELLES

**Décret présidentiel du 2 Jomada Ethania 1438 correspondant au 1er mars 2017 portant nomination à la Cour de Tissemsilt.**

-----

Par décret présidentiel du 2 Jomada Ethania 1438 correspondant au 1er mars 2017 sont nommés à la Cour de Tissemsilt, MM. :

- Habbidine Bettayeb, président de la Cour ;
- Mohamed Kessar, procureur général.

**Décret présidentiel du 3 Dhou El Hidja 1437 correspondant au 5 septembre 2016 portant nomination du directeur de l'institut national de formation spécialisée des corps spécifiques de l'administration des affaires religieuses et des wakfs dans les lectures à Alger (Rectificatif).**

**JO n° 58 du 3 Moharram 1438 correspondant au 5 octobre 2016**

Page 16, 1ère colonne, ligne 11

**Au lieu de :** "à Alger"

**Lire :** "à Bouira"

..... (Le reste sans changement) .....



## Résumé

Le café est l'une des boissons pharmacologiquement actives les plus consommées dans le monde. La boisson est préparée en utilisant la poudre issue des grains torréfiés. Les espèces commerciales les plus consommées sont *Coffea arabica* (Arabica) et *Coffea canephora* (Robusta).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de la torréfaction sur les propriétés physico-chimiques, la teneur en polyphénols totaux et la capacité antioxydante des échantillons de deux cafés (Arabica et robusta) torréfiés à la maison à différentes températures (150, 200 et 250 °C) et pendant différentes durées (10 et 20 min).

Les propriétés physico-chimiques des échantillons sont conformes aux normes. La détermination des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu montre la richesse des extraits de ces composés, spécialement dans les extraits légèrement et moyennement torréfiés (150 et 200 °C) en comparaison avec les extraits fortement torréfiés (250 °C). Les résultats du test DPPH ont révélé la capacité antioxydante élevée des mêmes extraits (légèrement et moyennement torréfiés) par rapport à ceux fortement torréfiés.

Les résultats obtenus confirment l'effet de la torréfaction sur la teneur en polyphénols totaux et la capacité antioxydante des extraits de café.

**Mots clés :** Café, robusta, arabica, polyphénols, capacité antioxydante

## Abstract

Coffee is one of the most widely consumed pharmacologically active drinks in the world. The drink is prepared using the powder from the roasted beans. The most valuable commercial species are *Coffea arabica* (Arabica) and *Coffea canephora* (Robusta).

The objective of this study is to assess the effect of roasting on the physico-chemical and phytochemical properties of samples of two coffee species (Arabica and robusta) roasted at home at different temperatures (150, 200 and 250 °C) and for different durations (10 and 20 min).

The physical and chemical properties of samples comply with the standards. The determination of total polyphenols by the Folin-Ciocalteu method shows the richness of the extracts of these compounds, especially in slightly and moderately roasted extracts (150 and 200°C) in comparison with highly roasted extracts (250 °C).

Results of the DPPH test revealed the high antioxidant capacity of the same extracts (slightly and moderately roasted) compared to those strongly roasted.

The obtained results confirm the effect of roasting on the total polyphenols content and antioxidant capacity of coffee extracts.

**Keywords :** Coffee, robusta, arabica, polyphenols, antioxidant capacity

## ملخص

القهوة هي واحدة من أكثر المشروبات استهلاكاً في العالم. يتم إعدادها باستعمال بودرة حبوب القهوة المحمصة. أكثر أنواع القهوة استهلاكاً هم أرابيكا و روبوستا

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير التحميص على الخصائص الفيزيائية- كيميائية، كمية البوليفينولات و مضادات الاكسدة لعينات من نوعين من القهوة (أرابيكا و روبوستا) محمصة في المنزل في درجات حرارة مختلفة (150 ، 200 و 250 درجة مئوية) ولفترات زمنية مختلفة (10 و 20 دقيقة)

الخصائص الفيزيائية-كيميائية للعينات كانت مطابقة للمعايير. كميات البوليفينولات المتحصل لها بواسطة Folin Ciocalteu

أكدت ثراء و غنى القهوة بهذه المواد ، وخاصة في العينات المحمصة في درجة حرارة 150 و 200 درجة مئوية مقارنة بالعينات المحمصة بدرجة حرارة عالية (250 درجة مئوية).

كشفت نتائج اختبار DPPH عن القدرة العالية للقهوة على مكافحة الأكسدة، خصوصاً العينات التي تحتوي على كميات كبيرة من البوليفينولات

النتائج المتحصل عليها تؤكد تأثير التحميص على مجموع محتوى مستخلصات البن من مادة البوليفينولات و قدرتها على مكافحة الأكسدة.

**الكلمات المفتاحية :** القهوة، أرابيكا، روبوستا، البوليفينول، القدرة المضادة للاكسدة