

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE ET  
DE BIOCHIMIE

N°:



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET  
DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : NUTRITION ET SCIENCES  
DES ALIMENTS

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par :

MEBANI Aziza

Intitulé

**Formulation d'un café arabica épicé**

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. AOUN Omar	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. HAMMOUI Yasmina	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. BELBAHI Amine	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2023 /2024

## **Remerciements**

*Je tiens à remercier avant tout, **ALLAH** le tout Puissant de m'avoir donné la santé, le courage, la volonté, la faculté et la patience de réaliser ce modeste travail.*

*J'exprime mes vifs remerciements à **Dr. HAMMOUI Yasmina**, pour avoir accepté de m'encadrer et diriger, pour ses prestigieux conseils, ses orientations, sa confiance qu'elle m'a témoignée, pour sa collaboration, sa disponibilité, son écoute, pour m'avoir donné les moyens et l'assistance nécessaire à la réalisation de ce travail, et surtout pour son encouragement.*

*Je tiens à remercier **Pr. AOUN Omar** qui fait l'honneur d'avoir accepté la présidence du jury et d'évaluer ce travail.*

*J'exprime également mes remerciements à **Dr. BELBAHI Amine** qui m'a fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Je tiens à remercier également **Mr. SGHIRI Kamel**, responsable du laboratoire de la Faculté des Sciences Biologiques de l'université de M'sila et à toute l'équipe d'ingénieurs de laboratoire pour leur aide, leurs précieux conseils, et leur disponibilité.*

*Je tiens de remercier **Dr. DRIF Seifeddine, Mme DRIF Noura, et Mme ABID Nabila**, pour leur encouragement.*

*Mes remerciements s'adressent à mes collègues **ABID NH, DJABER M, MECHRI O, DEKHANE N, et MIRA I**, pour leur aide.*

*Enfin, mes remerciements s'adressent à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail ou qui m'a encouragé et soutenu à tout moment.*

***Merci à tous***

**MEBANI Aziza**

## *Dédicace*

*Je dédie le fruit de mon travail*

*À ma chère maman pour ses sacrifices et ses efforts,  
À mon cher père qui m'a aidé et supporté toute ma vie,*

*À mes frères et sœurs*

*À mes neveux et nièces*

*surtout le petit "Tamim"*

*Et à toute la famille MEBANI*

*Ce travail est spécialement dédié à mes chères amies*

*Dima & Tala TOURGANE,*

*Hadjer, Sara Ania, Mounira, Fatima, Raihana*

*Ainsi que toute l'équipe "Nabra"*

## Résumé

Le ‘‘café épice’’ est connu et consommé dans des régions de l’Algérie telles que les wilayas de ‘‘Laghouat’’ et ‘‘Bou Saâda’’, il est aussi largement consommé au ‘‘Yémen’’. Différentes variétés d’épices sont incorporées dans la préparation du ‘‘café épice’’. Ce dernier est un choix idéal pour les amateurs du café, qui sont à la recherche de nouvelles expériences gustatives.

Ce présent travail consiste à préparer un ‘‘café arabica épice’’ à base de ‘‘café arabica’’, et deux épices, à savoir le ‘‘petit galanga’’, appelé localement ‘‘khondjlane’’ ou ‘‘har’’, et le ‘‘clou de girofle’’, appelé localement ‘‘kronfel’’ ou ‘‘tib’’. La formulation de ‘‘café arabica épice’’ est réalisée en suivant un plan de mélange ‘‘D optimal’’, ainsi six formulations ont été préparées, nommées de ‘‘F<sub>1</sub>’’ à ‘‘F<sub>6</sub>’’.

Afin d’étudier l’effet de l’incorporation, à différentes proportions, des ingrédients cités ; des analyses physico-chimiques, une analyse microbiologique, et une caractérisation sensorielle ont été appliquées pour les formulations préparées.

Les résultats obtenus ont montré une différence significative ( $p < 0.05$ ) pour une partie des formulations pour les paramètres étudiés tels que la teneur en flavonoïdes totaux et les résultats de la colorimétrie. Une différence non significative ( $p > 0.05$ ) a été observée entre les six formulations, pour la teneur en polyphénols totaux, le pH, ainsi que pour le taux des solides totaux dissous.

Les six formulations de ‘‘café arabica épice’’ ont été caractérisées par une importante teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux, ainsi qu’une importante activité antioxydante évaluée. La formulation optimale était la formulation nommée ‘‘F<sub>4</sub>’’. Les résultats de l’analyse microbiologique avaient confirmé une qualité hygiénique acceptable des produits préparés.

Suite à un test sensoriel de préférence ; les quatre formulations ayant les notations les plus élevées selon la préférence gustative des évaluateurs ont été choisies pour une analyse sensorielle élargie par les méthodes d’analyse sensorielle CATA et RATA.

**Mots clés :** ‘‘café arabica épice’’, plan de mélange, CATA et RATA.

## Abstract

"Spiced coffee" is known and consumed in some regions of Algeria such as the wilayas of "Laghouat" and "Bou Saâda", it is also widely consumed in "Yemen". Different varieties of spices are incorporated in the preparation of "spiced coffee". The latter is an ideal choice for coffee lovers, who are looking for new taste experiences.

This present work consists of preparing a "spiced arabica coffee" based on "arabica coffee", and two spices, namely the "lesser galanga", locally called "khondjlane" or "har", and the "clove", locally called "kronfel" or "tib". The formulation of "spiced arabica coffee" was carried out following the "D optimal" mixture design, thus six formulations were prepared, named from "F<sub>1</sub>" to "F<sub>6</sub>".

To assess the impact of incorporating these ingredients in varying proportions, the prepared formulations were subjected to physicochemical, microbiological, and sensory analyses.

The results obtained revealed a significant difference ( $p < 0.05$ ) between some formulations for the parameters studied, such as the total flavonoid content and the colorimetry results. A non-significant difference ( $p > 0.05$ ) was observed between the six formulations, for the total polyphenol content, pH, and the rate of total dissolved solids.

The six formulations of "spiced arabica coffee" were characterized by a high total polyphenols content and total flavonoids content, as well as an important antioxidant activity. The optimal formulation was the formulation named "F<sub>4</sub>". The results of the microbiological analysis confirmed an acceptable hygienic quality of the prepared products.

Following a sensory preference test; the four formulations with the highest preference ratings according to the taste preferences of the evaluators were selected for an expanded sensory analysis by the CATA and RATA methods.

**Keywords:** "spiced arabica coffee", mixture design, CATA and RATA.

## ملخص

يتم استهلاك "القهوة المُتَبَّلة" في بعض مناطق الجزائر مثل ولايتي "الأغواط" و "بوسعادة"، كما تُستهلك بكثرة في "اليمن". يمكن دمج أنواع مختلفة من التوابل في تحضيرها. تُعتبر "القهوة المُتَبَّلة" خيارًا مثاليًا لعشاق القهوة الذين يبحثون عن تجارب تذوق جديدة.

يهدف هذا العمل إلى تحضير "قهوة أرابيكا المُتَبَّلة" باستخدام "قهوة أرابيكا"، "الخولنجان الصغير" الذي يُعرف محليًا باسم "الخُنْجَلان" أو "الحار"، وكذا "القرنفل" الذي يُعرف محليًا باسم "الطَّيب". تم إعداد "قهوة أرابيكا المُتَبَّلة" باتباع خطة الخلط "D optimal"، والتي نتج عنها ست تحضيرات، تم تسميتها من "F1" إلى "F6".

لتقييم تأثير دمج هاته المكونات بنسب مختلفة، خضعت التحضيرات المُعدَّة لتحليلات فيزيوكيميائية وميكروبيولوجية وجسية.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فروقًا معنوية ( $p < 0.05$ ) في الخصائص المدروسة بين بعض التحضيرات، مثل محتوى الفلافونويد الكُلِّي ونتائج القياس اللوني. لم تُلاحظ أي فروقٍ معنوية ( $p > 0.05$ ) بين التحضيرات الستة فيما يخص محتوى البوليفينول الكلي، درجة الحموضة pH، وكذا معدل المواد الصلبة الذائبة الكلية.

تميزت التحضيرات الستة من "قهوة أرابيكا المُتَبَّلة" بقيم مرتفعة من محتوى البوليفينول الكُلِّي ومحتوى الفلافونويد الكُلِّي، بالإضافة إلى نشاط مضاد للأكسدة مهم. كانت التحضيرة المثالية هي التحضيرة المُسمَّاة "F4". كما أكدت نتائج التحليل الميكروبيولوجي جودة صحية مقبولة للمنتجات المُعدة.

بعد اختبار تفضيلٍ جسي؛ تم اختيار التحضيرات الأربع ذات التقييمات الأعلى، وفقًا لتفضيلات المُقيمين، وذلك لإجراء تحليلٍ جسيٍّ مُوسَّع باستخدام طريقتي CATA و RATA.

**الكلمات المفتاحية :** "قهوة أرابيكا المُتَبَّلة"، خطة الخلط، CATA و RATA.

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> production du ‘café arabica’ et du ‘café robusta’ dans le monde .....	3
<b>Figure 2 :</b> l’arbuste et les cerises du ‘café arabica’ .....	4
<b>Figure 3 :</b> la forme des grains ‘Coffea arabica’ et ‘Coffea canephora’ .....	4
<b>Figure 4 :</b> traitement après récolte allant de la cerise au café vert .....	4
<b>Figure 5a :</b> photographie du ‘café arabica’ (grains verts) .....	5
<b>Figure 5b :</b> photographie du ‘café arabica’ (grains torréfiés) .....	5
<b>Figure 6a :</b> aspect du ‘petit galanga’ frais .....	7
<b>Figure 6b :</b> aspect du ‘petit galanga’ sec .....	7
<b>Figure 7a :</b> ‘clou de girofle’ mature .....	8
<b>Figure 7b :</b> photographie de ‘clou de girofle’ sec .....	8
<b>Figure 8 :</b> la représentation géométrique des plans de mélange à quatre constituants à l’aide d’un tétraèdre .....	10
<b>Figure 9a :</b> photographie des ingrédients secs du ‘café arabica épicé’ (café arabica).....	12
<b>Figure 9b :</b> photographie des ingrédients secs du ‘café arabica épicé’ (petit galanga).....	12
<b>Figure 9c :</b> photographie des ingrédients secs du ‘café arabica épicé’ (clou de girofle)....	12
<b>Figure 10 :</b> les étapes de préparation de ‘café arabica’ .....	13
<b>Figure 11 :</b> système de mesure des couleurs CIE L*a*b* .....	18
<b>Figure 12 :</b> photographie des quatre cafés, codés, de ‘café arabica épicé’, sélectionnés pour une analyse sensorielle élargie .....	22
<b>Figure 13 :</b> photographie de la salle où se sont déroulées les sessions d'analyse sensorielle...	22
<b>Figure 14 :</b> le profil de prédiction pour la formulation optimale de ‘café arabica épicé’....	28
<b>Figure 15 :</b> le diagramme radar regroupant les termes décrivant l’attribut ‘odeur’, pour les quatre produits étudiés codés en ‘P187’, ‘P526’, ‘P940’ et ‘P239’ du ‘café arabica épicé’ .....	34
<b>Figure 16 :</b> le diagramme radar regroupant les termes décrivant l’attribut ‘saveur’, pour les quatre produits étudiés codés en ‘P187’, ‘P526’, ‘P940’ et ‘P239’ du ‘café arabica épicé’ .....	34
<b>Figure 17 :</b> le diagramme radar regroupant les termes décrivant l’attribut ‘arôme’, pour les quatre produits étudiés codés en ‘P187’, ‘P526’, ‘P940’ et ‘P239’ du ‘café arabica épicé’ .....	35
<b>Figure 18 :</b> le diagramme radar regroupant les termes décrivant l’attribut ‘arrière-goût’, pour les quatre produits étudiés codés en ‘P187’, ‘P526’, ‘P940’ et ‘P239’ du ‘café arabica épicé’ .....	35

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> la composition chimique des grains de “ <i>café arabica</i> ” vert et torréfié .....	6
<b>Tableau 2 :</b> Les limites inférieure et supérieure de chaque facteur (ingrédient) entrant dans la préparation du “ <i>café arabica épicé</i> ” .....	13
<b>Tableau 3 :</b> les proportions de chaque facteur correspondant aux formulations préparées de “ <i>café arabica épicé</i> ” selon le plan de mélange “ <i>D optimal</i> ” .....	14
<b>Tableau 4 :</b> les quantités des facteurs (ingrédients) pour la préparation de 20 g de “ <i>café arabica épicé</i> ” pour chacune des six formulations .....	14
<b>Tableau 5 :</b> les microorganismes recherchés dans les six formulations de “ <i>café arabica épicé</i> ”, leurs milieux d’ensemencement, et leurs durées d’incubation .....	20
<b>Tableau 6 :</b> les formulations de “ <i>café arabica épicé</i> ” et les codes qui leurs correspondent, établies pour faire l’analyse de préférence .....	21
<b>Tableau 7 :</b> les formulations choisies pour une analyse sensorielle élargie du “ <i>café arabica épicé</i> ” .....	21
<b>Tableau 8 :</b> les résultats des analyses physico-chimiques des paramètres de pH, d’acidité titrable, de teneur en eau et de taux de cendre des formulations préparées .....	24
<b>Tableau 9 :</b> les résultats de dosage des polyphénols totaux (TPC), des flavonoïdes totaux (TFC) et de l’activité antioxydante (DPPH) des formulations préparées .....	25
<b>Tableau 10 :</b> les résultats de la colorimétrie et du taux de TDS des six formulations préparées .....	26
<b>Tableau 11 :</b> les résultats expérimentaux et prédictifs de pH, d’acidité titrable, de teneur en eau, de taux de cendre, de TPC, de TFC, d’activité antioxydante, de colorimétrie et de taux de TDS ; de la formulation optimale .....	29
<b>Tableau 12 :</b> les “termes CATA” sélectionnés pour la caractérisation sensorielle élargie du “ <i>café arabica épicé</i> ” .....	31
<b>Tableau 13 :</b> nombre total d’attributs CATA “Check-All-That-Apply” indiqués pour chaque produit .....	32

## Liste des abréviations

**%** : pourcentage ;

**°C** : degré Celsius ;

**AA-DPPH** : activité antioxydante par test de 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle ;

**ANOVA** : Analysis Of Variance ;

**AOAC** : Association of Official Analytical Chemists ;

**°Brix** : degré Brix ;

**CATA** : “Check-All-That-Apply” ;

**°D** : degré Dornic ;

**Eq. AG** : équivalent d’acide gallique ;

**Eq. Q** : équivalent de quercétine ;

**F** : formulation ;

**F<sub>i</sub>** : formulation numéro “i” ;

**g** : gramme ;

**g/l** : gramme par litre ;

**h** : heure ;

**JMP** : John’s Macintosh Project (logiciel statistique) ;

**L’indice “a\*”** : indice de la composante vert-rouge d’une couleur ;

**L’indice “b\*”** : indice de la composante bleu-jaune d’une couleur ;

**L’indice “L\*”** : indice de clarté ;

**L’indice “C\*”** : indice de chromaticité ;

**m** : masse ;

**mg** : milligramme ;

**mg/g** : milligramme par gramme ;

**ml** : millilitre ;

**N** : normalité ;

**P** : produit ;

**pH** : potentiel d’Hydrogène ;

**RATA** : “Rate-All-That-Apply” ;

**TDS** : Total dissolved Solids ;

**TFC** : Total Flavonoids Content ;

**TPC** : Total Phenolic Content ;

**V** : volume ;

**VRBL** : Violet Red Bile Lactose Agar ;

**Xi** : la proportion du facteur “i”.

## Table des matières

*Remerciements*

*Dédicace*

*Résumé*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

*Liste des abréviations*

**Introduction** ..... 1

### **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

I.1. Café arabica	3
I.1.1. Origine et production mondiale	3
I.1.2. Caractéristiques	3
I.1.3. Traitement après récolte	4
I.1.4. La torréfaction	5
I.1.5. Composition chimique	5
I.1.6. Consommation	6
I.1.7. Bienfaits	6
I.2. Petit galanga	6
I.2.1. Origine	6
I.2.2. Caractéristiques	7
I.2.3. Composition chimique	7
I.2.4. Bienfaits	8
I.3. Clou de girofle	8
I.3.1. Origine	8
I.3.2. Caractéristiques	8
I.3.3. Composition chimique	9
I.3.4. Bienfaits	9
I.4. Plans d'expériences	9
I.4.1. Plans de mélange	9
I.4.2. La représentation géométrique des plans de mélange	10
I.4.3. Le plan de mélange "D optimal"	10
I.5. Analyse sensorielle	10
I.5.1. Les méthodes de l'analyse sensorielle	11
A. La méthode "Check-All-That-Apply" (CATA)	11
B. La méthode "Rate-All-That-Apply" (RATA)	11

### **Chapitre II : Matériels et méthodes**

II.1. La préparation des ingrédients	12
II.1.1. La préparation de "café arabica"	12
II.1.2. La préparation du "petit galanga"	13
II.1.3. La préparation du "clou de girofle"	13
II.1.4. Formulation de "café arabica épice"	13
II.1.4.1. Les limites inférieure et supérieure de chaque ingrédient	13
II.1.4.2. Le choix du plan de mélange	14
II.2. Analyses physico-chimiques	15

II.2.1. Préparation de l'extrait .....	15
II.2.2. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH) .....	15
II.2.3. Mesure de l'acidité titrable .....	15
II.2.4. Teneur en eau .....	16
II.2.5. Taux de cendre .....	16
II.2.6. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux et l'évaluation de l'activité antioxydante .....	16
II.2.6.1. Dosage des polyphénols totaux (TPC) .....	16
II.2.6.2. Dosage des flavonoïdes totaux (TFC) .....	17
II.2.6.3. Évaluation de l'activité antioxydante .....	17
II.2.7. Colorimétrie .....	18
II.2.8. Mesure du degré Brix .....	19
II.3. Évaluation de la qualité hygiénique .....	20
II.4. Évaluation sensorielle .....	20
II.4.1. Le test de préférence sur une échelle hédonique — test préliminaire .....	20
II.4.2. La caractérisation sensorielle par les méthodes “CATA” et “RATA” .....	21
II.4.3. La fiche d'évaluation sensorielle .....	23
II.5. Analyses statistiques des données .....	23

### **Chapitre III : Résultats et discussion**

III.1. Résultats des analyses physico-chimiques .....	24
III.1.1. pH et acidité titrable .....	24
III.1.2. Teneur en eau et taux de cendre .....	24
III.1.3. Teneur en polyphénols totaux (TPC), teneur en flavonoïdes totaux (TFC) et activité antioxydante (DPPH) .....	25
III.1.4. Les résultats de la colorimétrie et du taux de solides totaux dissous (TDS) .....	25
II.2. Les résultats de l'analyse microbiologique .....	27
III.3. Les résultats d'optimisation des formulations .....	27
III.4. Les résultats de la caractérisation sensorielle .....	30
III.4.1. Vocabulaire sensoriel .....	30
III.4.2. Résultats de la méthode “Check-All-That-Apply” (CATA) .....	32
III.4.3. Résultats de la méthode “Rate-All-That-Apply” (RATA) .....	33

#### **Conclusion**

#### **Références bibliographiques**

#### **Annexes**

# *Introduction*

### Introduction

Le café est une boisson très populaire, largement consommée sous différentes formes. Le café est souvent synonyme d'un instant de répit de la vie rapide et stressante de nos jours, comme en témoigne la célèbre pause-café, faisant partie intégrante de la journée au travail (Haler, 2013).

Le café est cultivé dans environ 80 pays sur quatre continents (Babova et al., 2016). La production de café est basée sur trois espèces principales, qui sont *Coffea arabica*, *Coffea canephora* (robusta) et *Coffea liberica* (Davis et al., 2006). L'espèce la plus commercialisée est *Coffea arabica*, qui fournit plus de 95% du café mondial (Vega et al., 2003).

La composition chimique du café est caractérisée par la présence de la caféine (Bicho et al., 2013), qui est connue comme un stimulant léger du système nerveux central (Herman and Herman, 2012). Outre la caféine, le café contient des teneurs élevées en composés phénoliques dont les plus abondants sont les acides chlorogéniques (tels que l'acide caféoylquinique et l'acide feruloylquinique) (Clifford, 1999).

Odeur, corps, saveur et arôme sont les quatre principaux critères d'un bon café. Le nez perçoit tout d'abord l'odeur qui se dégage du café, l'appréciation de la saveur se fait en bouche et l'arôme par voie rétro-nasale. Que ce soit le café à filtre classique, l'expresso, infusé, parfois aromatisé ou épicé. Le café est largement consommé de multiples façons selon les cultures, les pays et les habitudes. Le café est aussi utilisé en pâtisserie, il permet une variation dans les goûts pour un plaisir à l'infini (Hébert and Ammar-Khodja, 2003).

Le "café épicé" est une boisson très populaire en "Yémen", où ils préparent un café épicé avec de la "cardamome", du "clou de girofle" et avec d'autres épices. C'est un choix idéal pour les amateurs de café, qui sont à la recherche de nouvelles saveurs. Le "café épicé" peut offrir une expérience gustative unique, différentes variétés d'épices peuvent être incorporées dans sa préparation, en vue de leur apport gustatif et leur valeur ajoutée en ce qui concerne l'apport nutritif.

En Algérie, la consommation du "café épicé" est connue dans la région de "Bou Saâda" par le café épicé à "l'armoise", localement appelé "chih", ainsi qu'au "poivre noir". À "Laghout", le café est épicé au "petit galanga", localement nommé "khondjlane" ou "har".

## Introduction

---

Le ‘*petit galanga*’ ou ‘*Alpinia officinarum*’, localement appelé ‘*khondjlane*’, et le ‘*clou de girofle*’ ou ‘*Syzygium aromaticum*’, localement appelé ‘*kronfel*’ ou ‘*tib*’, sont les deux épices choisies pour les incorporer dans le ‘*café arabica épicé*’ préparé dans ce présent travail, vue leur composition, leur disponibilité et surtout pour leurs arômes.

Afin de préparer ce mélange, de ‘*café arabica épicé*’ au ‘*petit galanga*’ et au ‘*clou de girofle*’, un nombre d’expérimentations serait nécessaire pour pouvoir préparer un produit ayant une saveur, un arôme ainsi qu’une composition équilibrée. Un plan de mélange est appliqué pour mieux organiser la partie expérimentale (**Goupy, 2006**).

L’exploitation de l’analyse sensorielle dans l’établissement d’un profil sensoriel se base sur l’identification et la quantification de l’intensité des attributs sensoriels du produit concerné. Le profil sensoriel se fait à l’aide d’un panel expert et d’un autre naïf.

Ce présent travail consiste à préparer un ‘*café arabica épicé*’ à base de ‘*café arabica*’, de ‘*petit galanga*’ et de ‘*clou de girofle*’ en suivant un plan de mélange. Une caractérisation physico-chimique, une vérification de la qualité hygiénique, ainsi qu’une évaluation sensorielle des produits préparés ont été réalisées.

Le présent manuscrit est réparti en trois chapitres, dont le premier est relatif à une synthèse bibliographique, le second est relatif à la partie expérimentale, tandis que le dernier est consacré aux résultats obtenus et leur discussion. Et enfin une conclusion générale.

# *Chapitre I*

## *Synthèse bibliographique*

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### I.1. Café arabica

#### I.1.1. Origine et production mondiale

Plus de 80% de la production de “*café arabica*” provient d’Amérique latine alors que l’espèce est originaire d’Afrique (Bertrand et al., 2012). “*Coffea arabica*” est l’espèce la plus commercialisée dans le monde (plus de 95% du café mondial) (Vega et al., 2003).

Les caféiers sont principalement plantés dans les régions situées entre les latitudes de 20°N et de 20°S (figure 1). Ces régions sont également connues sous le nom de “*ceinture de café*”, qui englobe environ 80 pays des continents d’Afrique, d’Asie, d’Amérique centrale et d’Amérique du Sud (Giraud et al., 2019; Zhu et al., 2021).

Durant la période allant de 2022 à 2023, la production de “*café arabica*” s’élevait à environ 95 millions de sacs de 60 kilogrammes. Le Brésil domine le marché de la production mondiale du “*café arabica*” (Statista, 2023).

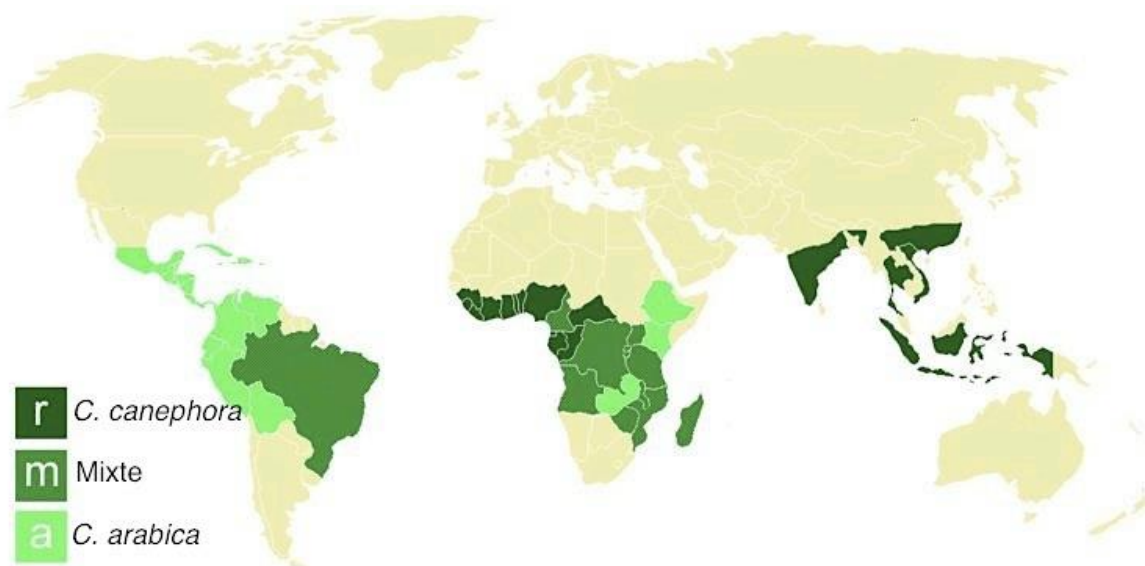


Figure 1 : production du “*café arabica*” et du “*café robusta*” dans le monde (Haler, 2013).

#### I.1.2. Caractéristiques

Le “*café arabica*” est obtenu à partir des grains qui poussent à l’intérieur des fruits ou des cerises (figure 2) d’un arbuste tropical (caféier) à feuilles persistantes (figure 2), du genre *Coffea*, de la famille *Rubiaceae* (Zhu et al., 2021).



**Figure 2** : l'arbuste et les cerises du "café arabica" (Zhang, S. et al., 2021).

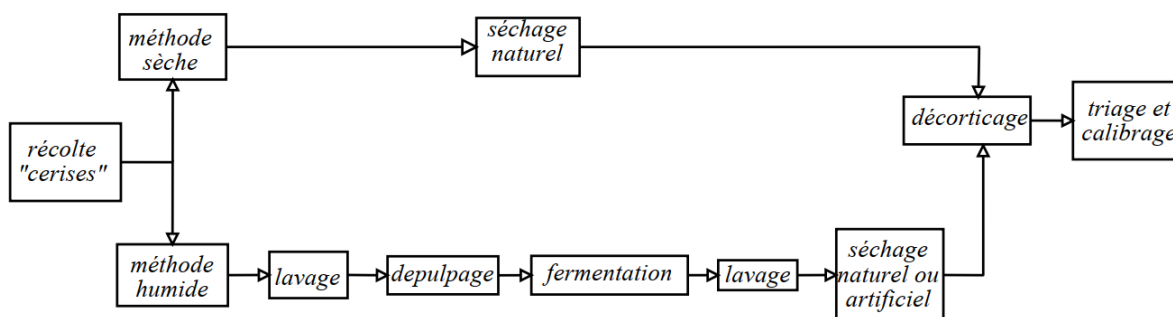
Le principal produit d'intérêt commercial est constitué par les grains de café (figure 3), représentant 50 à 55 % de la matière sèche du fruit et variant en taille, forme et densité selon l'espèce et les pratiques agricoles. Les grains du "café arabica" ont la forme d'un demi-ellipsoïde avec une fente longitudinale sigmoïde sur son côté plat, tandis que les grains de robusta sont plus ovales avec une fente centrale légèrement droite (Franca and Oliveira, 2019).



**Figure 3** : la forme des grains "Coffea arabica" et "Coffea canephora" (Freitas et al., 2024).

### 1.1.3. Traitement après récolte

Le traitement après récolte se fait par voie sèche ou par voie humide (figure 4). Il joue un rôle important influençant sur la qualité, sur l'aspect physique et sur les précurseurs des arômes du grain du "café arabica" vert (Perriot, 2003).

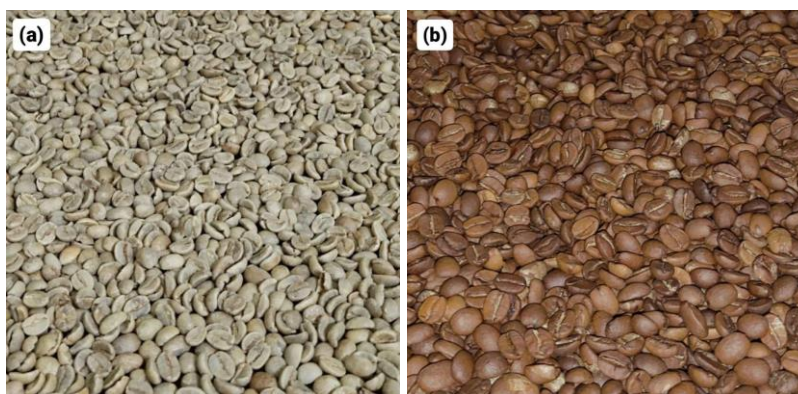


**Figure 4** : traitement après récolte allant de la cerise au café vert (Hernandez Perez, 2002).

#### 1.1.4. La torréfaction

La torréfaction est le facteur le plus important dans le développement des saveurs et des arômes qui rendent le “*café arabica*” agréable. La qualité du café est liée au degré de torréfaction appliqué, soit léger, moyen, ou fort, et qui est lié à deux principaux facteurs qui sont la durée et la température de torréfaction (Wei and Tanokura, 2015).

La saveur et l'arôme produits lors de la torréfaction du “*café arabica*” sont fortement liés à la composition chimique des grains de café vert (Liu et al., 2019). Au cours de la torréfaction, les protéines, les acides aminés et les sucres sont impliqués dans la réaction de Maillard qui affecte l'arôme, la saveur et la couleur du café (Cardoso et al., 2023) (figure 5). Les lipides participent aussi aux réactions de décomposition et d'auto-oxydation, ce qui contribue à la formation de l'arôme et de la saveur du café. Alors que les acides chlorogéniques comme l'acide feruloylquinique et les précurseurs d'acides organiques contribuent à l'amertume et l'acidité du café (Zhu et al., 2021).



**Figure 5 :** photographie du “*café arabica*” (a) grains verts ; (b) grains torréfiés.

#### 1.1.5. Composition chimique

En plus de la caféine qui est un composé azoté dérivé de la xanthine, le “*café arabica*” contient une importante teneur d'antioxydants sous forme d'acides chlorogéniques comme l'acide caféoylquinique et l'acide feruloylquinique, de trigonelline qui est un composé azoté, et des mélanoidines qui sont des polymères bruns issus de la réaction de Maillard au cours de la torréfaction (Houessou, 2007). Le **tableau 1**, ci-dessous représente la composition chimique des grains de “*café arabica*” vert et torréfié (Wei and Tanokura, 2015).

**Tableau 1** : la composition chimique des grains de “*café arabica*” vert et torréfié.

Composants	Composition chimique moyenne (%)	
	“ <i>café arabica</i> ”	“ <i>café arabica</i> ” torréfié
Minéraux	3 – 4,2	3,5 – 4,5
Caféine	0,9 – 1,2	~1
Trigonelline	1 – 1,2	0,5 – 1
Acides chlorogéniques totaux	5,5 – 8	1,2 – 2,3
Acides aliphatiques	1,5 – 2	1 – 1,5
Oligosaccharides	6 – 8	0 – 3,5
Polysaccharides totaux	50 – 55	24 – 39
Acides aminés	2	0
Protéines	11 – 13	13 – 15
Lipides	12 – 18	14,5 – 20
Acides humiques	-	16 – 17

### I.1.6. Consommation

Le “*café arabica*” est l’une des espèces de café les plus populaires et les plus appréciées non seulement pour sa teneur en antioxydants, mais également pour son goût délicieux (Cannon et al., 2010; Cheong et al., 2013), en raison de sa faible intensité en amertume et de ses caractéristiques aromatiques (Babova et al., 2016; Zhu et al., 2021).

### I.1.7. Bienfaits

Le “*café arabica*” est considéré comme une boisson fonctionnelle présentant des avantages potentiels pour la santé en raison de ses capacités antioxydantes apportées par un large éventail de composants phénoliques en particulier les acides chlorogéniques (Risso et al., 2007).

## I.2. Petit galanga

### I.2.1. Origine

Le “*petit galanga*” ou “*Alpinia officinarum*”, localement appelé “*khondjlane*” ou “*har*”, est une espèce de plantes *rhizomateuses* appartenant à la famille de *Zingiberaeaceae*, largement répandue dans diverses régions de l’Inde, de l’Asie et de la Chine (Zhang, L. et al., 2020). La famille de *Zingiberaeaceae*, également appelée “famille du gingembre”, est divisée en environ 53 genres et composée de plus de 1300 espèces (Kress et al., 2002). De nombreuses espèces appartenant à cette famille ont été largement utilisées comme épices ou agents aromatisants, en raison de leurs odeurs aromatiques et de leur goût piquant et épicé.

Le galanga est l'une des épices ressemblant au gingembre les plus connues de la famille de *Zingiberaeaceae*, était fréquemment utilisé en Sud-Est de l'Asie à des fins culinaires et médicinales. C'est un rhizome très piquant et aromatique. Il fait généralement référence à deux espèces de la famille du gingembre qui sont le "grand galanga" ou "*Alpinia galanga*", et le "petit galanga" ou "*Alpinia officinarum*" (Zhou et al., 2018).

### I.2.2. Caractéristiques

En raison des similitudes des morphologies des deux espèces du galanga, à savoir le "petit galanga" et le "grand galanga"; il peut être difficile de les distinguer. L'identification de l'espèce se fait à l'échelle botanique et à l'échelle microscopique (Zhou et al., 2018).

Le rhizome du "petit galanga" est cylindrique, souvent courbée et ramifiée (Bitari et al., 2023). Les rhizomes sont épais, rampants, de couleur brun rougeâtre (figure 6). L'odeur du "petit galanga" est particulière, et son goût est piquant et épicé (Indrayan et al., 2007). Tandis que le rhizome du "grand galanga" est de couleur brun-jaunâtre, et son odeur est moins aromatique et moins piquant (Zhou et al., 2018).

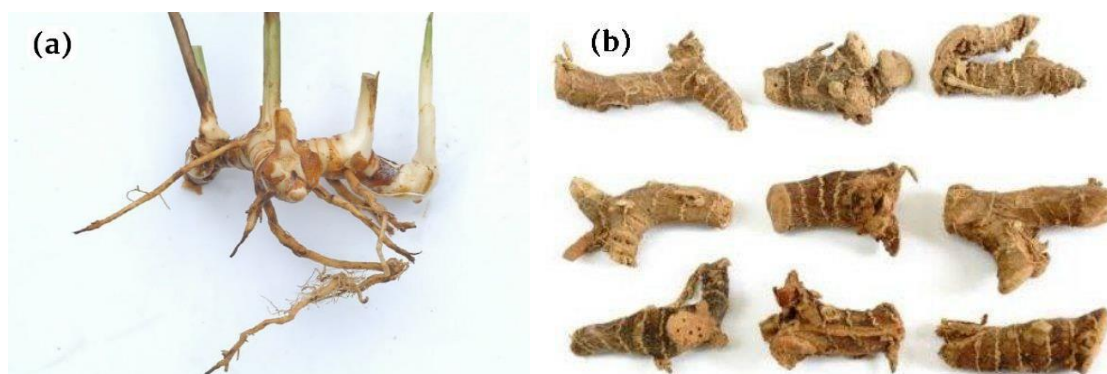


Figure 6 : aspect du "petit galanga" (a) frais (Zhou et al., 2018) ; (b) sec (Ding et al., 2019).

### I.2.3. Composition chimique

Des études sur la composition chimique des rhizomes du "petit galanga" ont vérifié la présence de divers ingrédients bioactifs importants (Zhang, L. et al., 2020). Le rhizome du "petit galanga" comprend une teneur élevée de polyphénols comme les diarylheptanoïdes, de flavonoïdes et des terpènes notamment la galangine (Zagórska et al., 2024). Ainsi que d'autres nutriments dont 5,25% de protéines, 76,9% de glucides, 2,26% de matières grasses, 15% de fibres brutes et divers oligo-éléments notamment le potassium, le magnésium et le calcium (Ding et al., 2019).

### I.2.4. Bienfaits

Le “*petit galanga*” ou “*Alpinia officinarum*” est utilisé en tant qu’épice. Il est riche en flavonoïdes et en terpènes tel le galangol et le galangine, il est traditionnellement utilisé pour stimuler l’appétit et lutter contre les nausées (Vidal, 2014).

Autres bienfaits du “*petit galanga*” ont été rapportés, à savoir l’amélioration de la digestion et le soulagement des symptômes du rhume, de l’inflammation, de la douleur articulaire liée à l’arthrose. En raison de son odeur forte et aromatique et de son goût épicé, le rhizome du “*petit galanga*” est utilisé dans la cuisine comme épice alimentaire (Bitari et al., 2023).

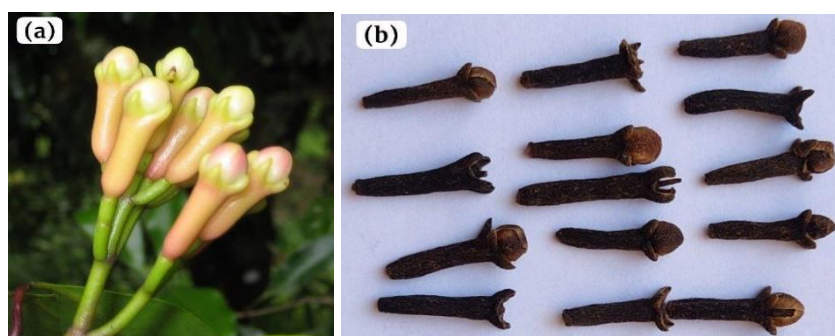
## I.3. Clou de girofle

### I.3.1. Origine

Le giroflier est un arbre originaire des îles Moluques, en Indonésie. Le “*clou de girofle*” localement appelé “*kronfel*” ou “*tib*”, est le bouton floral aromatique de cet arbre (Lobstein et al., 2017). Les girofliers sont largement cultivés en Indonésie, Madagascar, Zanzibar, Comores, Sri Lanka et Tanzanie (Cirad, 2010).

### I.3.2. Caractéristiques

Le giroflier est un arbre d’une hauteur de 1 à 12 m. Il commence à produire des bourgeons floraux après 8 ou 9 ans de plantation. Le “*clou de girofle*” est la fleur du giroflier, ces fleurs sont récoltées avant épanouissement (figure 7a). Elles sont ensuite séchées au soleil. Le produit obtenu est d’une couleur variant du brun rouge au brun noir (figure 7b), son odeur puissante et épicée est très caractéristique. Il existe plusieurs espèces dont “*Syzygium aromaticum*” appelé également “*Eugenia caryophyllata*”, du genre *Syzygium*, de la famille *Myrtaceae* (Cirad, 2010).



**Figure 7 :** (a) “*clou de girofle*” mature (Cirad, 2010) ; (b) photographie de “*clou de girofle*” sec.

### I.3.3. Composition chimique

Le “*clou de girofle*” est une source importante d’antioxydants. Il contient des flavonoïdes à savoir la quercétine et le kaempférol, ainsi que des acides phénoliques comme les acides férulique, caféique, ellagique et salicylique. Le “*clou de girofle*” contient jusqu’à 18 % d’huile essentielle. L’eugénol, l’acétate d’eugényle, et le  $\beta$ -caryophyllène sont les composés phytochimiques les plus importants de l’huile de “*clou de girofle*”. Il comprend aussi de différents éléments minéraux notamment le fer, le calcium, le magnésium, le phosphore et le sodium (Batiha et al., 2020).

### I.3.4. Bienfaits

Les utilisations culinaires du “*clou de girofle*” incluent l’ajout d’arômes à certains aliments comme la viande, les salades, et certaines boissons épicées. Il trouve également des applications dans les parfums, les produits bucco-dentaires et les savons. Le “*clou de girofle*” doit sa valeur à l’huile essentielle aromatique. De nombreuses études de recherche ont tentés de caractériser les bienfaits potentiels pour la santé attribués au “*clou de girofle*” et à l’eugénol. Ceux-ci incluent des effets d’ordre métabolique et antalgique (Singletary, 2014).

## I.4. Plans d’expériences

Pour réaliser un plan d’expérience, il faut définir un système, des facteurs susceptibles de modifier ce système, et une ou plusieurs variables de réponse à mesurer pour chaque expérience (Burn-Berthet and Laville, 2000).

L’objectif des plans d’expériences est de choisir au mieux les expériences à réaliser pour découvrir les règles d’évolution d’une grandeur d’intérêt en fonction de variables opératoires. Ces règles se traduisent le plus souvent par une formule mathématique ou par des consignes d’utilisation. Les formules trouvées sont essentiellement pratiques c’est-à-dire qu’elles donnent une représentation mathématique approchée du phénomène dans une région limitée de l’espace expérimental (Goupy, 1990).

### I.4.1. Plans de mélange

Les plans de mélange sont caractérisés par plusieurs conditions pour déterminer les proportions des ingrédients (facteurs). La somme de ces facteurs est toujours égale à “*un*”, et la proportion de la dernière partie des composants est imposée sur la base de certaines proportions des composants initiaux, ce qui est appelé des limites inférieures et des limites supérieures (Goupy, 2006).

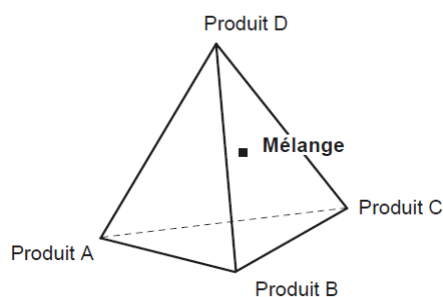
L'équation de la contrainte fondamentale (**équation 1**) des plans de mélange, est présentée comme suit :

$$\sum_{i=1}^{i=n} x_i = 1 \dots\dots\dots (\text{équation 1})$$

‘ $x_i$ ’ est la proportion en constituant (facteur) ‘ $i$ ’.

#### I.4.2. La représentation géométrique des plans de mélange

Un triangle équilatéral est employé pour symboliser les mélanges à trois composants, avec les produits purs situés aux extrémités de chaque côté. Les mélanges binaires sont illustrés le long des arêtes du triangle. La représentation des mélanges à quatre constituants est un tétraèdre régulier (**Figure 8**). S'il y a plus de quatre constituants, il faut faire appel à des hyperpolyèdres réguliers.



**Figure 8** : la représentation géométrique des plans de mélange à quatre constituants à l'aide d'un tétraèdre (Goupy, 2006).

#### I.4.3. Le plan de mélange ‘*D optimal*’

Le critère d'optimalité D, connu sous le nom de critère du déterminant maximal, améliore la qualité de l'information dans les plans de mélange. Il vise à sélectionner le plan qui maximise le déterminant de la matrice résultant de la multiplication de la matrice des facteurs par sa transposée. Ainsi, pour obtenir le maximum d'informations, le plan de mélange doit inclure le plus grand nombre possible de points expérimentaux (Tinsson, 2010).

#### I.5. Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle repose sur des méthodes et d'outils permettant d'évaluer et de classer les caractéristiques organiques du produit. Ceci est réalisé grâce aux organes sensoriels humains (Lefebvre and Bassereau, 2003). Un jury est nécessaire pour évaluer et décrire les produits qualitativement et quantitativement en termes de caractéristiques sensorielles (Callejo, 2011).

L'analyse sensorielle est d'une importance majeure pour les entreprises en agroalimentaires, ça les aide à vérifier la qualité gustative et l'appréciation globale de leurs produits, développer et valider les changements de composants dans des nouveaux produits.

L'analyse sensorielle a réalisé de grands progrès et elle a contribué à développer une évaluation descriptive en combinaison avec des outils statistiques pour une prise de décision sur le produit (Raoux, 1998).

Les propriétés organoleptiques nécessaires pour l'analyse sensorielle sont les suivantes :

- **La texture** : c'est la manifestation sensorielle et fonctionnelle de la structure, propriétés mécaniques et de surface des aliments détectées à travers les sens de la vision, de l'ouïe et du toucher (Szczesniak, 2002).
- **L'odeur** : l'organe sensible des substances odorantes est situé dans la partie inférieure de la cavité nasale, à proximité des sinus. Les odeurs y parviennent directement par inhalation, une voie par rétrograde est utilisée dans le cas des arômes (Furtuna, 2012).
- **La saveur** : c'est une perception résultant de la stimulation du nerf gustatif (Jalbă, 2023).
- **La couleur** : c'est la sensation d'excitation constante des éléments sensibles de la rétine qui sont affectés par la lumière (Magnus, 1878).

### I.5.1. Les méthodes de l'analyse sensorielle

Dans ce présent travail, l'évaluation sensorielle a été réalisée en appliquant la méthode "Check-All-That-Apply" (CATA) et la méthode "Rate-All-That-Apply" (RATA).

#### A. La méthode "Check-All-That-Apply" (CATA)

La méthode "CATA" est une méthode simple et rapide qui nécessite une liste d'attributs élargie et prédéfinie, ainsi les évaluateurs n'ont qu'à cocher l'attribut sensoriel s'ils arrivent à percevoir sa présence dans le produit alimentaire en utilisant leur sens (Aung et al., 2024).

#### B. La méthode "Rate-All-That-Apply" (RATA)

La méthode "RATA" est conditionnée par les réponses données aux questions de "CATA", une fois les évaluateurs arrivent à percevoir une sensation d'un attribut donné, en cochant la case lui correspondant, il est ensuite sollicité de noter l'intensité de l'attribut en question de "un" (intensité faible) jusqu'à "trois" (intensité élevée) (Meyners et al., 2016).

Les questions "CATA" encouragent les participants à aborder différemment la tâche de description sensorielle d'un produit. Compte tenu des stratégies de réponse hypothétiques lorsqu'ils répondent aux questions "CATA", la plupart des évaluateurs peuvent ne pas choisir tous les termes qui s'appliquent à la description du produit, mais simplement choisir les termes qui les concernent. Tandis que les questions "RATA" exigent que les évaluateurs fournissent une description plus détaillée des échantillons en sélectionnant un plus grand nombre d'attributs et en indiquant leurs intensités (Vidal, L. et al., 2018).

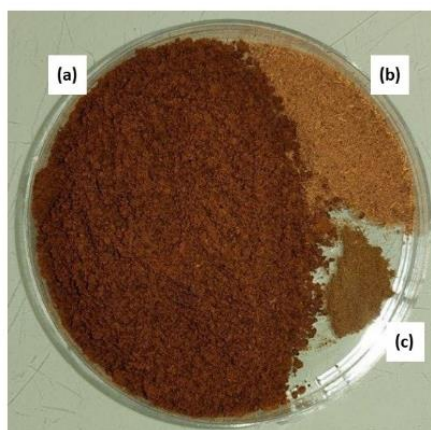
# *Chapitre II*

## *Matériels et méthodes*

## II. Matériels et méthodes

Le présent travail a été réalisé au niveau du laboratoire pédagogique du département de biochimie et de microbiologie, faculté des sciences de l'université de M'sila. L'étude avait pour objectif d'optimiser la préparation d'un "café arabica épice" en appliquant le plan de mélange "D optimal".

Ce produit contient du "café arabica" torréfié et moulu ; qui est l'ingrédient majoritaire, avec deux types d'épices moulues (**figure 9**) qui sont "*Alpinia officinarum*" qui est le "petit galanga", localement appelé "khondjlane" ou "har", et "*Syzygium aromaticum*" qui est le "clou de girofle", localement appelé "kronfel" ou "tib", ont été ajoutés selon les proportions obtenues suite à l'application de plan de mélange "D optimal". Une caractérisation physico-chimique, une vérification de la qualité hygiénique et une analyse sensorielle ont été appliquées pour chaque formulation de "café arabica épice".

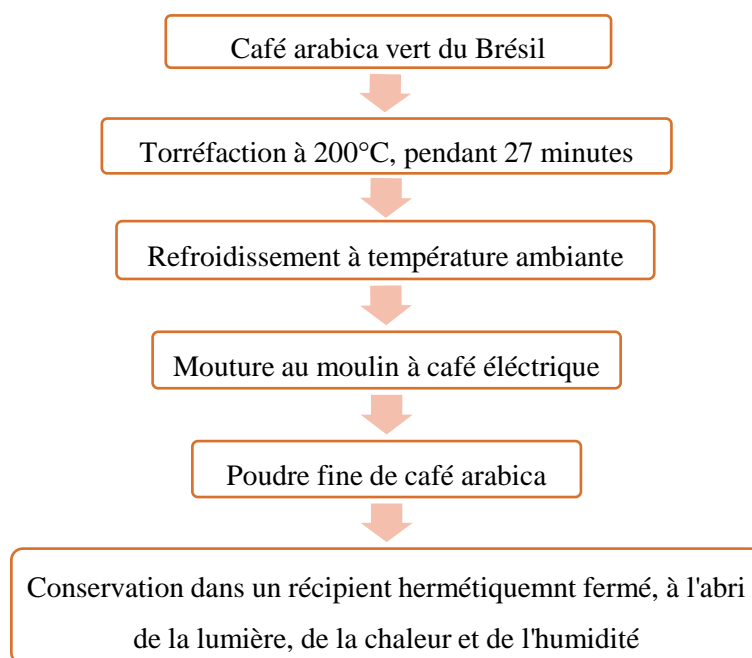


**Figure 9** : photographie des ingrédients secs du "café arabica épice" ; (a) "café arabica" ; (b) "petit galanga" ; (c) "clou de girofle".

### II.1. La préparation des ingrédients

#### II.1.1. La préparation de "café arabica"

Des grains de "café arabica vert" venu de Brésil ont été torréfiés à l'aide d'un four à utilisation domestique, à une température de 200°C, pendant 27 minutes, avec application des mouvements de rotation de fèves de café de temps en temps. Les grains de café torréfiés ont été refroidis à une température ambiante. Par la suite, ils ont été moulus pour obtenir une poudre fine, qui est conservée dans un récipient hermétiquement fermé à l'abri de la lumière et de l'humidité, jusqu'à la préparation des formulations. Le diagramme ci-dessous (**figure 10**) représente les étapes de préparation de la poudre du "café arabica".



**Figure 10** : les étapes de préparation de “café arabica”.

### II.1.2. La préparation du “petit galanga”

Des racines séchées de “petit galanga” ont été broyées en petits fragments à l’aide d’un mortier. Ensuite, ces petits fragments ont été moulus jusqu’à l’obtention d’une poudre fine. Le “petit galanga” moulu est conservé dans un récipient hermétiquement fermé à l’abri de la lumière et de l’humidité.

### II.1.3. La préparation du “clou de girofle”

Des “clous de girofle” ont été broyés pour obtenir en poudre fine. Ensuite, la poudre est conservée dans un récipient hermétiquement fermé à l’abri de la lumière et l’humidité.

### II.1.4. Formulation de “café arabica épicé”

#### II.1.4.1. Les limites inférieure et supérieure de chaque ingrédient

Suite à des tests préliminaires de formulation de “café arabica épicé” réalisés en amont, des limites inférieure et supérieure pour chaque facteur (ingrédient) ont été déterminées (tableau 2).

**Tableau 2** : les limites inférieure et supérieure de chaque facteur (ingrédient) entrant dans la préparation du “café arabica épicé”.

Facteurs	Limite inférieure	Limite supérieure
“Café arabica”	0,94	0,97
“Petit galanga”	0,00	0,05
“Clou de girofle”	0,00	0,01

### II.1.4.2. Le choix du plan de mélange

Une optimisation de formulation du “*café arabica épice*” a été réalisée en appliquant un plan de mélange “*D optimal*”. Cette étape a été effectuée via un outil statistique puissant qui est le logiciel statistique “JMP” ou “jump”, ce qui signifiait à l’origine “John's Macintosh Project”. Des limites inférieures et supérieures ont été appliquées pour chaque facteur (ingrédient). L’outil “JMP” avait proposé douze formulations, dont six comme un minimum d’expérimentations à réaliser. Le choix a été porté sur la réalisation de six formulations (**tableau 3 et tableau 4**).

Les proportions de chaque facteur (ingrédient) correspondant aux formulations préparées, sont présentées au tableau ci-dessous (**tableau 3**).

**Tableau 3** : les proportions de chaque facteur correspondant aux formulations préparées de “*café arabica épice*” selon le plan de mélange “*D optimal*”.

Formulation	Les proportions de chaque facteur		
	“ <i>Café arabica</i> ” « $x_1$ »	“ <i>Petit galanga</i> ” « $x_2$ »	“ <i>Clou de girofle</i> ” « $x_3$ »
F <sub>1</sub>	0,955	0,035	0,010
F <sub>2</sub>	0,970	0,025	0,005
F <sub>3</sub>	0,940	0,050	0,010
F <sub>4</sub>	0,970	0,020	0,010
F <sub>5</sub>	0,970	0,030	0,000
F <sub>6</sub>	0,950	0,050	0,000

L’équation ci-dessous (**équation 2**) représente la contrainte fondamentale des plans de mélange pour les trois facteurs (ingrédients) entrant dans la préparation du “*café arabica épice*”.

$$\sum_{i=1}^3 x_i = x_{\text{Café arabica}} + x_{\text{Petit galanga}} + x_{\text{Clou de girofle}} = 1 \dots\dots \text{(équation 2)}$$

“ $x_i$ ” est la proportion en constituant (facteur) “ $i$ ”.

Le tableau ci-dessous (**tableau 4**) présente les quantités des ingrédients correspondant à la préparation de 20 g pour chacune des formulations de “*café arabica épice*”.

**Tableau 4** : les quantités des facteurs (ingrédients) pour la préparation de 20 g de “*café arabica épice*” pour chacune des six formulations.

Formulation	Les quantités des facteurs pour une production “ <i>café arabica épice</i> ”		
	“ <i>Café arabica</i> ” (g)	“ <i>Petit galanga</i> ” (g)	“ <i>Clou de girofle</i> ” (g)
F <sub>1</sub>	19,1	0,7	0,2
F <sub>2</sub>	19,4	0,5	0,1
F <sub>3</sub>	18,8	1	0,2
F <sub>4</sub>	19,4	0,4	0,2
F <sub>5</sub>	19,4	0,6	0
F <sub>6</sub>	19	1	0

## II.2. Analyses physico-chimiques

La caractérisation physico-chimique a été réalisée pour les six formulations. L'ensemble des tests ont été effectués en trois essais.

### II.2.1. Préparation de l'extrait

Pour chaque formulation 1 g de "*café arabica épicé*" a été additionné à 100 ml de l'eau distillée, le mélange a été porté à ébullition dans un bain-marie à une température de 95°C pendant 20 minutes. Après refroidissement, la solution récupérée a été centrifugée à 4 000 x g pendant 10 minutes. La partie surnageante (l'extrait) a été récupérée pour le dosage des polyphénols totaux, le dosage des flavonoïdes totaux, pour l'évaluation de l'activité antioxydante, la détermination du pH, la détermination de l'acidité titrable, ainsi que la détermination du degré Brix (°Brix).

### II.2.2. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)

La détermination du pH a été faite en immergeant l'électrode du pH-mètre pré-étalonné dans 10 ml de l'extrait de chaque formulation. La valeur du pH affichée sur l'écran du pH-mètre est notée. L'expérience a été réalisée en trois essais pour chacune des six formulations.

### II.2.3. Mesure de l'acidité titrable

La mesure de l'acidité titrable d'un produit se fait à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), de normalité 0,1N, en présence de phénolphthaléine à 1% comme indicateur coloré. Dans un bécher, 2 gouttes de phénolphthaléine sont ajoutées à 10 ml de l'extrait de chaque formulation et la titration a été effectuée en versant la solution de NaOH de normalité 0,1N jusqu'à l'apparition d'une couleur rose (Yao et al., 2015). La mesure a été faite en trois essais pour chaque formulation.

L'acidité titrable est calculée selon l'équation (équation 3) suivante (AOAC, 2000) :

$$^{\circ}\text{D} = \frac{C_1 \times V_{\text{éq}} \times M_{\text{ac}}}{V_0 \times 0.1} \dots\dots\dots \text{(équation 3)}$$

Où :

°D : l'acidité titrable en degré Dornic,

C<sub>1</sub> : la concentration de NaOH (0,1N),

V<sub>éq</sub> : le volume équivalent en (ml) de NaOH,

M<sub>ac</sub> : la masse molaire de la molécule d'acide lactique (90,08 g/mol),

V<sub>0</sub> : le volume de l'extrait (10 ml).

### II.2.4. Teneur en eau

Une quantité de 2 g de la poudre du “*café arabica épilé*” pour chaque formulation a été placée dans un creuset préalablement pesé ( $m_0$ ). Le creuset et son contenu ont été pesés ( $m_1$ ), puis ils ont été mis dans une étuve à  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  jusqu’à la stabilité de poids obtenu. À la sortie de l’étuve, le creuset et son contenu (échantillon séché) ont été placés dans un dessiccateur pour éviter une réabsorption d’humidité durant le refroidissement, ensuite pesés ( $m_2$ ) (Yao et al., 2015). La mesure a été faite en trois essais pour chaque formulation.

La teneur en eau est calculée selon l’équation (équation 4) suivante (AOAC, 1990) :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \dots\dots\dots \text{(équation 4)}$$

Où :

- $m_0$  : la masse en g du creuset vide,
- $m_1$  : la masse en g du creuset avec l’échantillon,
- $m_2$  : la masse en g du creuset avec l’échantillon séché.

### II.2.5. Taux de cendre

La mesure de taux de cendre (%) a été réalisée dans un four à moufle à  $550^\circ\text{C}$  pendant 6 h, jusqu’à l’incinération de la matière organique de l’échantillon. Ensuite, l’échantillon a été placé dans un dessiccateur pour éviter une réabsorption d’humidité durant le refroidissement, et pesé ( $m_3$ ) (Yao et al., 2015). La mesure a été faite en trois essais pour chaque formulation.

La teneur en cendre est calculée selon l’équation (équation 5) suivante (AOAC, 1990) :

$$\text{Cendre (\%)} = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \dots\dots\dots \text{(équation 5)}$$

Où :

- $m_0$  : la masse en g du creuset vide,
- $m_1$  : la masse en g du creuset avec l’échantillon,
- $m_3$  : la masse en g du creuset avec l’échantillon incinéré.

### II.2.6. Dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes totaux et l’évaluation de l’activité antioxydante

#### II.2.6.1. Dosage des polyphénols totaux (TPC)

La teneur en polyphénols totaux a été estimée selon la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu qui est de couleur jaune (Li et al., 2007). Lors de l’oxydation des polyphénols, ce réactif est réduit en un nouveau complexe de couleur bleue. L’intensité de la couleur est

proportionnelle au taux des composés phénoliques oxydés (**Boizot and Charpentier, 2006**). 200 µl de l'extrait de chaque formulation ont été additionnés à 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu dilué 10 fois. Après 5 minutes à température ambiante, 800 µl de la solution de carbonate de Sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) à 7,5% ont été ajoutés au mélange réactionnel.

La solution finale a été mélangée vigoureusement et gardée à l'obscurité à température ambiante pendant une heure. Le dosage a été fait en trois essais pour chaque formulation.

L'absorbance a été mesurée à 765 nm, et les concentrations des polyphénols totaux (TPC) ont été déduites à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique (**Annexe 1**) en mg équivalent de l'acide gallique par gramme (mg Eq. d'acide gallique/g).

#### II.2.6.2. Dosage des flavonoïdes totaux (TFC)

La teneur en flavonoïdes des extraits a été déterminée en utilisant la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium qui forme un complexe très stable avec les groupements hydroxydes OH des phénols (**Kim et al., 2003**). 1 ml de l'extrait de chaque formulation a été ajouté à 1 ml de trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) à 2%. Le mélange a été agité puis incubé à température ambiante et à l'abri de la lumière pendant 15 minutes. Le dosage a été fait en trois essais pour chaque formulation.

L'absorbance a été mesurée à 430 nm, et les concentrations des flavonoïdes (TFC) ont été déduites à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec la quercétine (**Annexe 1**). Les résultats sont exprimés en mg équivalent de quercétine par gramme (mg Eq. Quercétine/g).

#### II.2.6.3. Évaluation de l'activité antioxydante

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est un radical libre de couleur violacée. En sa présence, un proton du composé antioxydant contenu dans l'extrait est transféré sur ce radical libre pour le transformer en une molécule stable DPPH. Ceci provoque une diminution de la concentration du radical libre et le virage de sa couleur au jaune (**Haddoudi et al., 2014**).

Une quantité de 0,5 ml d'extrait de chaque formulation a été additionnée à 4 ml de la solution de DPPH à 50 mg/l d'éthanol. Le mélange obtenu a été agité puis incubé à température ambiante et à l'obscurité pendant 30 minutes (**Duangjai et al., 2016**). L'expérience a été faite en trois essais pour chaque formulation.

L'absorbance du mélange ainsi que celle du contrôle (solution de DPPH à 50 mg/l d'éthanol) ont été mesurées à 517 nm.

L'activité antioxydante est exprimée en pourcentage par l'équation (équation 6) suivante (Duangjai et al., 2016) :

$$DPPH (\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots (\text{équation 6})$$

Où :

A<sub>0</sub> : Absorbance de contrôle (solution de DPPH à 50 mg/L d'éthanol),

A<sub>1</sub> : Absorbance du mélange.

**II.2.7. Colorimétrie**

La commission internationale de l'éclairage (CIE) a élaboré un système de couleur "CIELab" ou "CIE L\*a\*b\*" (figure 11), qui représente la relation quantitative des couleurs sur trois axes (Ly et al., 2020). Ces trois axes décrivent une sphère de couleur qui peut donner des indices de la couleur du produit étudié (Rincon-Jimenez et al., 2021).

La mesure de la couleur se fait par un colorimètre qui fonctionne avec le système "CIE L\*a\*b\*", dont "L\*" indique la luminance (clarté), "a\*" et "b\*" sont les coordonnées de la chromaticité. Sur la sphère de l'espace colorimétrique, "L\*" est représenté sur un axe vertical avec des valeurs de 0 (noir) à 100 (blanc). La valeur "a\*" indique la composante rouge-vert d'une couleur, où "+a\*" (positive) et "-a\*" (négative) indiquent respectivement les valeurs rouge et verte. Les composantes jaune et bleue sont représentées sur l'axe "b\*" sous la forme de valeurs "+b\*" (positives) et "-b\*" (négatives) respectivement (Ly et al., 2020).

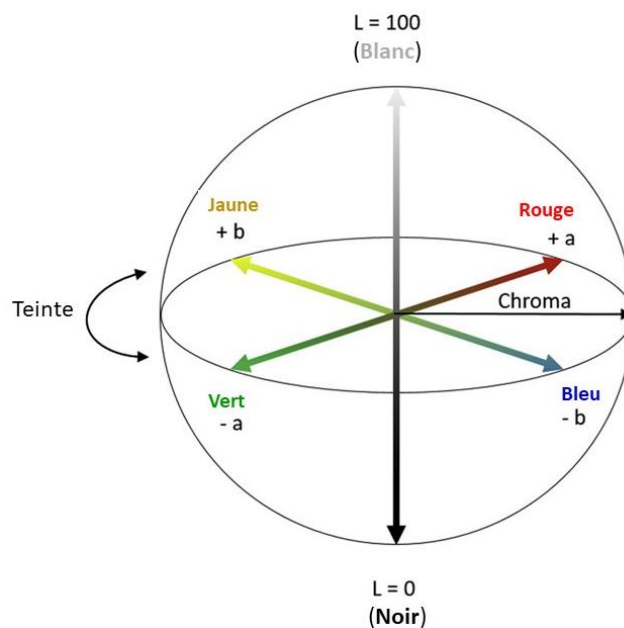


Figure 11 : système de mesure des couleurs CIE L\*a\*b\* (Ly et al., 2020).

La mesure de la couleur de la poudre de chaque formulation de “*café arabica épice*” a été faite par un colorimètre portable CR-400 de la marque Konica Minolta. La technique consiste à la pose d’un échantillon de la poudre de chaque formulation dans l’accessoire pour matériaux granuleux CR-A50, suivie de la prise de photo. L'appareil a été calibré en utilisant une plaque blanche en céramique (Ferreira et al., 2022). L’expérience a été faite en trois essais pour chaque échantillon de chaque formulation.

Les résultats des paramètres  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  affichés sur l’écran du colorimètre ont été enregistrés. Tandis que la valeur du paramètre  $C^*$  a été calculée selon l’équation (équation 7) suivante (Buitrago-Osorio et al., 2022) :

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \dots\dots\dots \text{(équation 7)}$$

### II.2.8. Mesure du degré Brix

Le degré Brix ou le pourcentage Brix (%) est la mesure de la concentration de saccharose dans un liquide, tandis que lorsqu'elle est utilisée dans des liquides ne contenant pas de saccharose, la mesure de Brix se rapproche du pourcentage des solides totaux dissous (TDS) (Todaro et al., 2024). Pour déterminer la qualité du café, plusieurs études ont été faites, et les chercheurs ont opté pour le taux des solides totaux dissous (TDS) comme reflet (Walston et al., 2022).

Le taux de TDS (Total Dissolved Solids) est obtenu après mesure du degré Brix ( $^{\circ}B$ ) qui est réalisée à l'aide d'un réfractomètre DR201-95 de la marque KRÜSS. Deux gouttes de l’extrait de chacune des formulations, ont été placées sur le prisme du réfractomètre préalablement étalonné (Moreno et al., 2015). La mesure a été faite en trois essais pour chaque formulation.

Suite à des études expérimentales, une relation entre le  $^{\circ}Brix$  et le taux de TDS a été établie selon un modèle de régression linéaire à partir duquel le  $^{\circ}Brix$  a été converti au taux de TDS en appliquant l’équation (équation 8) suivante (Aloe, 2020; Gómez, 2019) :

$$TDS (\%) = 0,85 \times ^{\circ}B \dots\dots\dots \text{(équation 8)}$$

Le  $^{\circ}Brix$  et le taux de TDS sont influencés par cinq facteurs principaux qui sont la taille de la mouture, le type de la torréfaction, le temps d’infusion, la ratio café-eau, et la température (Aloe, 2020; Walston et al., 2022).

### II.3. Évaluation de la qualité hygiénique du produit

L'analyse microbiologique est indispensable pour vérifier et assurer une bonne qualité hygiénique des six formulations préparées. Le tableau ci-dessous (**tableau 5**) regroupe l'ensemble des microorganismes recherchés, leurs milieux d'ensemencement, ainsi que la durée et la température d'incubation.

**Tableau 5** : les microorganismes recherchés dans les six formulations de “*café arabica épicé*”, leurs milieux d'ensemencement, et leurs durées d'incubation.

Milieu de culture	Microorganismes recherchés	Ensemencement	Incubation	
			Durée	Température
VRBL	Coliformes totaux	En profondeur	48 h	37°C
	Coliformes fécaux	En profondeur	48 h	44°C
Sabouraud	Levures et moisissures	En surface	72 à 120 h	25°C

VRBL : Violet Red Bile Lactose Agar.

### II.4. Évaluation sensorielle

#### II.4.1. Le test de préférence sur une échelle hédonique — test préliminaire

L'évaluation de la préférence des consommateurs, par utilisation d'une échelle hédonique allant de 1 à 9, vise à comparer l'appréciation globale des produits en mettant l'accent sur les ressentis individuels de plaisir ou de déplaisir reliés à la dégustation du produit (**Thomas, 2016**).

Le “*café arabica épicé*” a été préparée à l'aide d'une cafetière électrique avec un rapport de 20 g de chaque formulation pour 200 ml d'eau pour une tasse de café. Pour une comparaison élargie, une septième formulation supplémentaire (F<sub>7</sub>) contenant que du “*café arabica*” a été présentée aux participants à côté des six formulations du “*café arabica épicé*”.

Les sept formulations ont été présentées à treize étudiants dont dix étaient des étudiants en 1<sup>ère</sup> année master en nutrition et sciences des aliments (NSA), à l'université de M'sila, âgés entre 21 et 23 ans. Durant la séance de dégustation, les participants sont sollicités à noter chacune des sept formulations de café préparé selon leur préférence sur une échelle hédonique allant de 1 à 9, dont la note “1” correspond à “ne pas aimer le produit extrêmement” et la note “9” correspond à “aimer le produit extrêmement” (**Annexe 2**).

Les différentes formulations de “*café arabica épicé*” ont été codées et randomisées pour chacun des participants. Le tableau ci-dessous (**tableau 6**), représente le codage établi durant l'analyse de préférence pour les sept formulations.

**Tableau 6** : les formulations de “*café arabica épice*” et les codes qui leurs correspondent, établies pour faire l’analyse de préférence.

Formulation	Codage
F <sub>1</sub>	603
F <sub>2</sub>	720
F <sub>3</sub>	145
F <sub>4</sub>	832
F <sub>5</sub>	317
F <sub>6</sub>	254
F <sub>7</sub>	598

#### II.4.2. La caractérisation sensorielle par les méthodes “CATA” et “RATA”

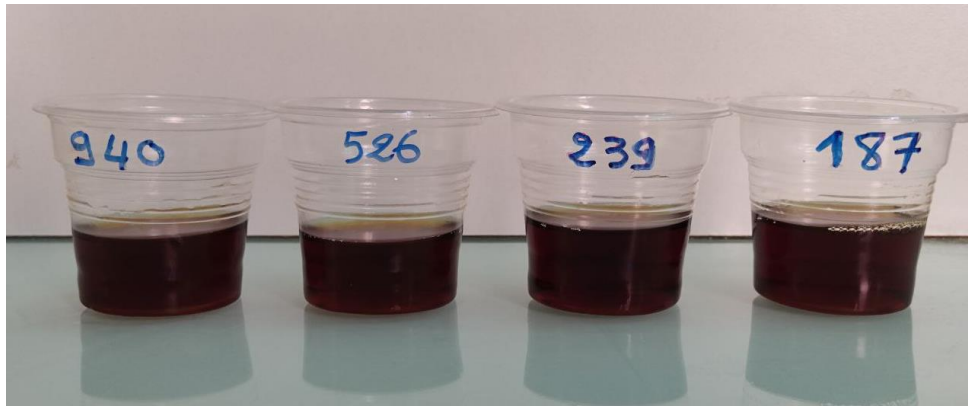
Suite à la notation de préférence établie sur une échelle hédonique, quatre formulations ayant les notations les plus élevées ont été sélectionnées pour une caractérisation sensorielle élargie en appliquant la méthode “Check-All-That-Apply” (CATA) et la méthode “Rate-All-That-Apply” (RATA). Le tableau ci-dessous (**tableau 7**), présente les quatre formulations de “*café arabica épice*” établies pour faire l’analyse sensorielle élargie, les codes leurs correspondant, ainsi que les proportions des ingrédients (facteurs).

**Tableau 7** : les formulations choisies pour une analyse sensorielle élargie du “*café arabica épice*”.

Formulation	Codage	Les proportions de chaque facteur		
		“ <i>Café arabica</i> ” « $x_1$ »	“ <i>Petit galanga</i> ” « $x_2$ »	“ <i>Clou de girofle</i> ” « $x_3$ »
F <sub>1</sub>	187	0,955	0,035	0,01
F <sub>3</sub>	526	0,94	0,05	0,01
F <sub>6</sub>	940	0,95	0,05	0
F <sub>7</sub>	239	1	0	0

La méthode “CATA” nécessite une liste d'attributs élargie et prédéfinie, ainsi les participants n’ont qu’à cocher l’attribut sensoriel perçu dans le produit dégusté. Pour la méthode “RATA”, les participants sont sollicités de noter l’intensité de l’attribut perçu en allant de “un” (intensité faible) jusqu’à “trois” (intensité élevée).

Les quatre formulations de “*café arabica épice*” (**figure 12**), appréciées précédemment, sont préparées et servies directement, étant chaud, aux participants pour une caractérisation sensorielle élargie. L'analyse sensorielle a été réalisée suite à la participation de quarante personnes âgées de 21 à 44 ans.



**Figure 12** : photographie des quatre cafés, codés, de “*café arabica épilé*”, sélectionnés pour une analyse sensorielle élargie.

Avec la disponibilité de l'équipement nécessaire à la dégustation, l'évaluation sensorielle a été réalisée au niveau des salles du département de biochimie et de microbiologie de la faculté des sciences de M'sila (**figure 13**), tout en respectant les conditions de propreté, d'éclairage, de température, et de calme.



**Figure 13** : photographie de la salle où se sont déroulées les sessions d'analyse sensorielle.

Les sessions ont été menées dans le calme, ce qui a permis de recueillir des réponses sensorielles objectives. Les participants dans la séance de la dégustation prenaient leur temps pour se concentrer sur chaque produit et pour passer d'un échantillon à un autre, ils peuvent refaire l'analyse tant que leur réponse sensorielle n'est pas encore claire.

Les formulations de “*café arabica épilé*” codés ont été randomisés, les termes correspondant aux attributs étudiés ont été expliqués à tous les participants, et même traduits en arabe afin d'éclaircir leurs significations et de faciliter ainsi la séance de dégustation.

### II.4.3. La fiche d'évaluation sensorielle du “café arabica épicié”

Une fiche d'évaluation sensorielle a été développée, contenant un ensemble d'attributs (caractéristiques) sensoriels pour établir un profilage sensoriel du “café arabica épicié”, afin de décrire la nature des perceptions sensorielles et de déterminer leurs intensités (**Annexe 3**).

### II.5. Analyses statistiques des données

Pour évaluer l'effet des différentes proportions d'ingrédients sur les propriétés physico-chimiques des six formulations préparées, une analyse statistique par analyse de la variance à un facteur (one-way ANOVA) suivi par le test de comparaisons multiples de Tukey ( $P < 0,05$ ) ont été réalisés en utilisant le logiciel “JMP”.

Les données sensorielles “CATA” ont été recueillies et le nombre total d'attributs choisis pour chaque produit a été comptabilisé. Les données “RATA” liées à l'intensité des attributs pour chaque formulation ont été exploitées par des représentations graphique par radar.

# *Chapitre III*

## *Résultats et discussion*

### III. Résultats et discussion

#### III.1. Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats obtenus de l'analyse physico-chimique des six formulations de ‘‘café arabica épicié’’ ont été valorisés statistiquement en appliquant l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur, suivi par le test de Tukey pour la comparaison des moyennes.

Le **tableau 8**, ci-dessous, regroupe les résultats du pH, de l'acidité titrable, de la teneur en eau et du taux de cendre.

**Tableau 8** : les résultats des analyses physico-chimiques des paramètres de pH, d'acidité titrable, de teneur en eau et de taux de cendre des formulations préparées.

Formulations	pH	Acidité titrable (°D)	Teneur en eau (%)	Taux de cendre (%)
F1	4,98 ± 0,23 <sup>a</sup>	4,47 ± 0,13 <sup>ab</sup>	2,07 ± 0,12 <sup>ab</sup>	4,02 ± 0,06 <sup>ab</sup>
F2	5,34 ± 0,25 <sup>a</sup>	4,62 ± 0,10 <sup>a</sup>	2,05 ± 0,07 <sup>ab</sup>	4,13 ± 0,14 <sup>ab</sup>
F3	5,20 ± 0,01 <sup>a</sup>	4,32 ± 0,15 <sup>b</sup>	1,99 ± 0,01 <sup>ab</sup>	4,22 ± 0,36 <sup>ab</sup>
F4	5,32 ± 0,04 <sup>a</sup>	4,32 ± 0,00 <sup>b</sup>	1,75 ± 0,01 <sup>b</sup>	4,22 ± 0,08 <sup>a</sup>
F5	5,06 ± 0,63 <sup>a</sup>	4,38 ± 0,10 <sup>ab</sup>	2,26 ± 0,09 <sup>a</sup>	3,70 ± 0,20 <sup>ab</sup>
F6	5,43 ± 0,14 <sup>a</sup>	4,26 ± 0,05 <sup>b</sup>	2,29 ± 0,29 <sup>a</sup>	3,65 ± 0,25 <sup>b</sup>

Les résultats sont rapportés en moyenne ± écart type, dont les lettres (a, b) représentent les différences significatives entre les six produits préparés ( $p < 0,05$ ),  
pH : potentiel d'hydrogène.

##### III.1.1. pH et acidité titrable

Les valeurs de pH (**tableau 8**) évalué pour les formulations préparées de ‘‘café arabica épicié’’, nommées de ‘‘F<sub>1</sub>’’ à ‘‘F<sub>6</sub>’’, varient entre 4,98 et 5,43 respectivement, sans noter de différence significative ( $p > 0,05$ ).

Les résultats obtenus pour l'acidité titrable (**tableau 8**), ont montré une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre la formulation nommée ‘‘F<sub>6</sub>’’, ayant une acidité titrable de 4,26 °D, et la formulation nommée ‘‘F<sub>2</sub>’’ ayant une acidité titrable de 4,62 °D.

##### III.1.2. Teneur en eau et taux de cendre

Les résultats de la teneur en eau regroupés dans le **tableau 8**, ont montré une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre certaines formulations, comme le cas de la formulation nommée ‘‘F<sub>4</sub>’’ ayant une teneur en eau de 1,75%, et la formulation nommée ‘‘F<sub>6</sub>’’ ayant une teneur en eau de 2,29%.

Concernant le taux de cendre (**tableau 8**), une différence significative ( $p < 0,05$ ) a été notée entre la formulation nommée ‘‘F<sub>6</sub>’’ ayant un taux de 3,65% et la formulation nommée ‘‘F<sub>4</sub>’’ ayant un taux de 4,22%.

### III.1.3. Teneur en polyphénols totaux (TPC), teneur en flavonoïdes totaux (TFC) et activité antioxydante (DPPH)

La teneur en polyphénols totaux, la teneur en flavonoïdes totaux, ainsi que l'activité antioxydante (DPPH) ; ont été évaluées pour les six formulations de "café arabica épice".

Les résultats sont regroupés dans le **tableau 9**, ci-dessous.

**Tableau 9** : les résultats de dosage des polyphénols totaux (TPC), des flavonoïdes totaux (TFC) et de l'activité antioxydante (DPPH) des formulations préparées.

Formulations	Paramètres		
	TPC (mg Eq. AG/g)	TFC (mg Eq. Q/g)	AA-DPPH (%)
<b>F1</b>	21,76 ± 0,94 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,03 <sup>d</sup>	90,01 ± 0,99 <sup>ab</sup>
<b>F2</b>	22,30 ± 0,74 <sup>a</sup>	1,74 ± 0,12 <sup>b</sup>	89,23 ± 0,80 <sup>b</sup>
<b>F3</b>	24,00 ± 0,96 <sup>a</sup>	1,51 ± 0,07 <sup>bcd</sup>	89,68 ± 0,36 <sup>b</sup>
<b>F4</b>	23,03 ± 0,65 <sup>a</sup>	2,05 ± 0,04 <sup>a</sup>	91,49 ± 0,43 <sup>a</sup>
<b>F5</b>	21,95 ± 0,98 <sup>a</sup>	1,43 ± 0,06 <sup>cd</sup>	90,31 ± 0,28 <sup>ab</sup>
<b>F6</b>	21,77 ± 0,72 <sup>a</sup>	1,67 ± 0,15 <sup>bc</sup>	89,59 ± 0,43 <sup>b</sup>

Les résultats sont rapportés en moyenne ± écart type, dont les lettres (a, b, c, d) représentent les différences significatives entre les six produits préparés ( $p < 0,05$ ),

TPC (mg Eq. AG/g) : Total Polyphénols Content – teneur en polyphénols totaux (en mg équivalent d'acide gallique par g),

TFC (mg Eq. Q/g) : Total Flavonoïdes Content – teneur en flavonoïdes totaux (en mg équivalent de quercétine par g),

AA-DPPH (%) : activité antioxydante par test de DPPH.

La comparaison des moyennes a montré que la teneur la plus faible en polyphénols totaux (TPC) (**tableau 9**) a été de 21,76 (mg Eq. AG/g), enregistrée pour la formulation nommée "F<sub>1</sub>". Tandis que la teneur la plus élevée en polyphénols totaux a été de 24 (mg Eq. AG/g) pour la formulation nommée "F<sub>3</sub>", sans noter de différence significative ( $p > 0,05$ ).

Pour la teneur en flavonoïdes totaux (TFC) des six formulations (**tableau 9**), une différence significative ( $p < 0,05$ ) a été enregistrée entre la formulation nommée "F<sub>4</sub>" ayant une teneur en flavonoïdes totaux de 2,05 (mg Eq. Q/g), et la formulation "F<sub>5</sub>" ayant une teneur en flavonoïdes totaux de 1,43 (mg Eq. Q/g) ; cela peut être expliqué par l'absence de "clou de girofle" dans la formulation "F<sub>5</sub>", ce dernier facteur (ingrédient) est connu pour sa richesse en flavonoïdes totaux.

Les valeurs de l'activité antioxydante (DPPH) regroupées dans le **tableau 9**, ont montré une différence significative ( $p < 0,05$ ), entre la formulation nommée "F<sub>2</sub>" ayant une valeur de 89,23%, et la formulation "F<sub>4</sub>" ayant une valeur de 91,49%.

### III.1.4. Les résultats de la colorimétrie et du taux de solides totaux dissous (TDS)

Les résultats de la colorimétrie et du taux de solides totaux dissous (TDS) des six formulations de "café arabica épice" sont regroupés dans le **tableau 10**, ci-dessous.

**Tableau 10** : les résultats de la colorimétrie et du taux de TDS des six formulations préparées.

Formulations	Colorimétrie				TDS (%)
	L*	a*	b*	C*	
<b>F1</b>	35,62 ± 0,005 <sup>a</sup>	1,30 ± 0,01 <sup>b</sup>	3,19 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,44 ± 0,005 <sup>b</sup>	0,11 ± 0,05 <sup>a</sup>
<b>F2</b>	35,35 ± 0,005 <sup>c</sup>	1,21 ± 0,01 <sup>c</sup>	3,02 ± 0,01 <sup>c</sup>	3,26 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>a</sup>
<b>F3</b>	35,08 ± 0,01 <sup>d</sup>	0,83 ± 0,03 <sup>f</sup>	2,43 ± 0,01 <sup>e</sup>	2,57 ± 0,002 <sup>e</sup>	0,11 ± 0,05 <sup>a</sup>
<b>F4</b>	35,56 ± 0,00 <sup>b</sup>	1,55 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,13 ± 0,01 <sup>b</sup>	3,50 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,00 <sup>a</sup>
<b>F5</b>	35,09 ± 0,005 <sup>d</sup>	1,15 ± 0,01 <sup>d</sup>	2,52 ± 0,01 <sup>d</sup>	2,77 ± 0,01 <sup>d</sup>	0,17 ± 0,08 <sup>a</sup>
<b>F6</b>	34,95 ± 0,005 <sup>e</sup>	0,99 ± 0,01 <sup>e</sup>	2,36 ± 0,01 <sup>f</sup>	2,56 ± 0,005 <sup>e</sup>	0,17 ± 0,00 <sup>a</sup>

Les résultats sont rapportés en moyenne ± écart type, dont les lettres (a, b, c, d, e, f) représentent les différences significatives entre les quinze produits préparés ( $p < 0,05$ ),

**L\*** : indice de la luminance ou de la clarté,

**a\*** : indice de la couleur rouge allant de la couleur verte,

**b\*** : indice de la couleur jaune allant de la couleur bleue,

**C\*** : indice de la saturation ou chroma,

**TDS** : solides totaux dissous.

Quatre indices ont été pris en considération suite à la mesure de la couleur, l'indice "L\*" qui correspond à la luminance de la surface (la clarté), l'indice "a\*" qui correspond au degré de la couleur rouge allant de la couleur verte, l'indice "b\*" qui correspond au degré de la couleur jaune allant de la couleur bleue, et l'indice "C\*" qui correspond au degré de la saturation de la couleur.

Les résultats de la colorimétrie présentés dans le **tableau 10**, ont montré une différence significative ( $p < 0,05$ ) pour l'indice "L\*" (indice de clarté) entre la plupart des formulations. La formulation nommée "F<sub>1</sub>", a une valeur de l'indice "L\*" de 35,62, et la formulation nommée "F<sub>6</sub>" a une valeur de l'indice "L\*" de 34,95.

Concernant l'indice "a\*" (degré de la couleur rouge), toutes les valeurs sont positives, ainsi la couleur est plus proche de rouge que de vert, et cela pour toutes les formulations. Une différence significative ( $p < 0,05$ ) de l'indice "a\*" a été enregistrée entre la formulation "F<sub>4</sub>", ayant une valeur de l'indice "a\*" de 1,55 ; et la formulation "F<sub>3</sub>" ayant une valeur de 0,83.

Concernant l'indice "b\*", les valeurs enregistrées sont positives, signifiant une présence de la couleur jaune dans toutes les formulations. Une différence significative ( $p < 0,05$ ) a été enregistré entre la formulation "F<sub>1</sub>" ayant une valeur de l'indice "b\*" de 3,19 et la formulation nommé "F<sub>6</sub>" ayant une valeur de l'indice "b\*" de 2,36.

Pour l'indice "C\*", une différence significative ( $p < 0,05$ ) a été enregistrée entre la formulation nommée "F<sub>4</sub>" ayant une valeur de l'indice "C\*" de 3,50 et la formulation nommée "F<sub>6</sub>" ayant une valeur de l'indice "C\*" de 2,56.

La variation des résultats obtenus pour la mesure de couleur des formulations du ‘*café arabica épilé*’ est due à la variation dans les proportions incorporées dans la préparation de chacune des formulations.

Les résultats obtenus pour le taux de solides totaux dissous (TDS) sont regroupés dans le **tableau 10**, la comparaison des moyennes a montré que le taux le plus faible en TDS est de 0,08%, noté pour la formulation nommée ‘F<sub>2</sub>’, sans noter de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les formulations préparées.

### III.2. Les résultats de l’analyse microbiologique

Les résultats de la qualité hygiénique des formulations de ‘*café arabica épilé*’ avaient montré l’absence des microorganismes recherchés, ce qui est conforme aux normes d’hygiène concernant la manipulation des aliments et leur conservation.

### III.3. Les résultats d’optimisation des formulations

L’optimisation des formulations de ‘*café arabica épilé*’ a été obtenue suite à l’application de plan de mélange ‘*D optimal*’. La vérification de la capacité prédictive du modèle pour les conditions optimales, les valeurs prédictives des réponses physico-chimiques, à savoir le pH, l’acidité titrable, la teneur en eau, le taux de cendre, la teneur en polyphénols totaux, la teneur en flavonoïdes totaux, l’activité antioxydante (DPPH), la colorimétrie et le taux de TDS ; ont été déterminées en utilisant la désirabilité maximale.

Selon le profil de prédiction présenté dans la **figure 14**, ci-dessous, la formulation optimale proposée de ‘*café arabica épilé*’, en appliquant la désirabilité maximale de la prédiction ; est celle contenant la proportion 0,97 de ‘*café arabica*’, la proportion 0,02 de ‘*petit galanga*’, et la proportion 0,01 de ‘*clou de girofle*’, c’est ce que correspond à la formulation nommée ‘F<sub>4</sub>’.

Les résultats de la formulation optimale prédictive comparés aux résultats produits expérimentalement, sont représentés dans le **tableau 11**, ci-dessous.

Les erreurs de prédiction pour chaque réponse, sont calculées suivant l’équation de calcul du pourcentage d’erreur de prédiction (**équation 9**) ci-dessous (**Guang et al., 1995**) :

$$\text{Erreur de prédiction (\%)} = \frac{\text{Valeur expérimentale} - \text{Valeur prédictive}}{\text{Valeur prédictive}} \times 100 \dots\dots (\text{équation 9})$$

D’après le **tableau 11**, les valeurs de prédiction du modèle concernant la formulation optimale, sont en accord pour les réponses de la plupart des paramètres. L’erreur de prédiction est plus élevée pour le taux de TDS, et pour le taux des flavonoïdes totaux (TFC).

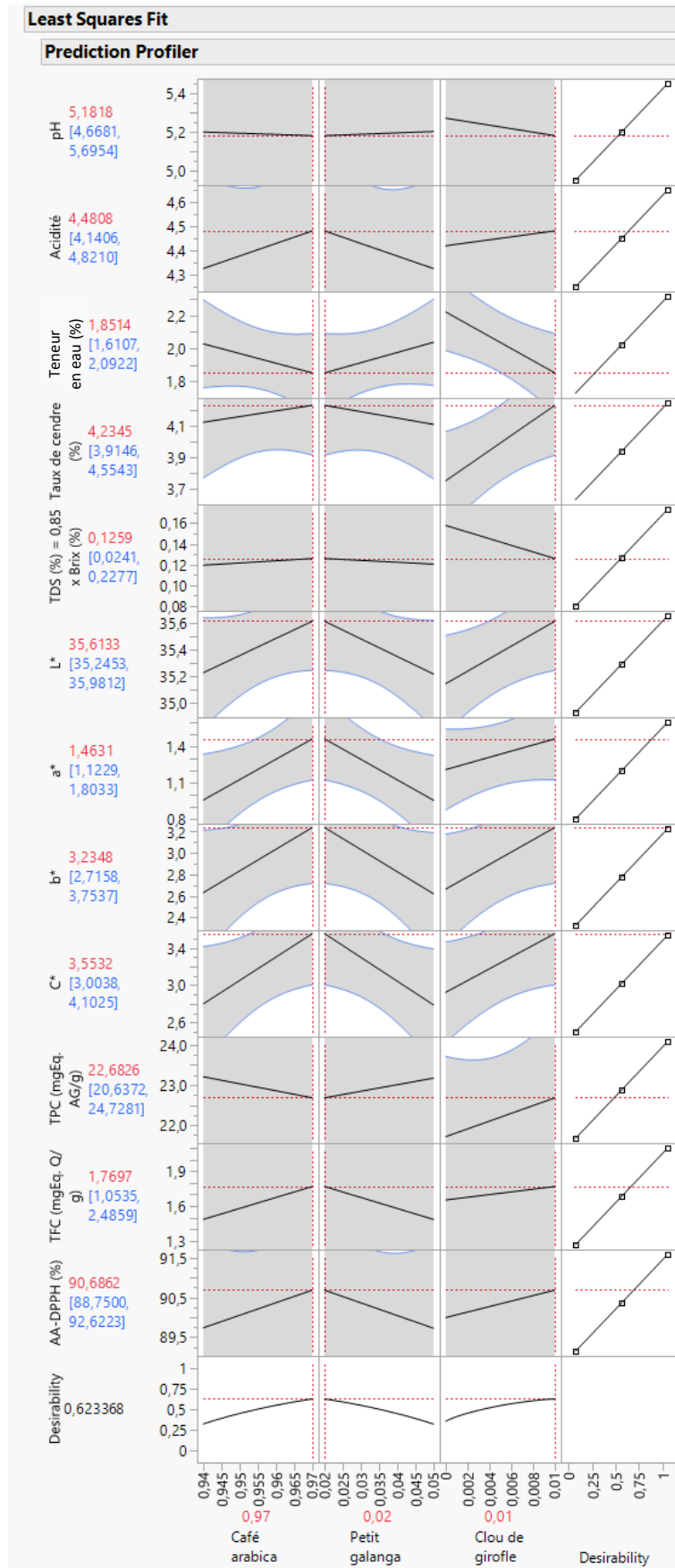


Figure 14 : le profil de prédiction pour la formulation optimale de ‘café arabica épice’.

**Tableau 11** : les résultats expérimentaux et prédictifs de pH, d'acidité titrable, de teneur en eau, de taux de cendre, de TPC, de TFC, d'activité antioxydante, de colorimétrie et de taux de TDS ; de la formulation optimale.

Formulations	Paramètres											
	pH	Acidité titrable (°D)	Teneur en eau (%)	Taux de Cendre (%)	TPC (mg Eq. AG/g)	TFC (mg Eq. Q/g)	AA-(DPPH) (%)	Colorimétrie				TDS (%)
								L*	a*	b*	C*	
<b>Valeurs prédictives</b>	5,18	4,48	1,85	4,23	22,68	1,77	90,68	35,61	1,46	3,23	3,55	0,12
<b>Valeurs expérimentales</b>	5,33 ± 0,04	4,32 ± 0,00	1,75 ± 0,01	4,22 ± 0,08	23,03 ± 0,65	2,05 ± 0,04	91,49 ± 0,43	35,56 ± 0,006	1,55 ± 0,01	3,13 ± 0,01	3,50 ± 0,01	0,17 ± 0,00
<b>Erreur de prédiction (%)</b>	2,89	3,57	5,40	0,23	1,54	15,82	0,89	0,14	6,16	3,09	1,41	41,66

pH : potentiel d'hydrogène,

TPC (mg Eq. AG/g) : taux des polyphénols totaux en mg équivalent d'acide gallique par g,

TFC (mg Eq. Q/g) : taux des flavonoïdes totaux en mg équivalent de quercétine par g,

AA-DPPH (%) : activité antioxydante par test de DPPH,

L\* : indice de la luminance ou de la clarté,

a\* : indice de la couleur rouge allant de la couleur verte,

b\* : indice de la couleur jaune allant de la couleur bleue,

C\* : indice de la saturation ou chroma,

TDS (%) : taux des solides totaux dissous.

### III.4. Les résultats de la caractérisation sensorielle

#### III.4.1. Vocabulaire sensoriel

Les formulations de “*café arabica épiché*” choisies pour une caractérisation sensorielle élargie sont sélectionnées suite à une notation de préférence établie sur une échelle hédonique pour les six formulations préparées. Pour une comparaison élargie, une septième formulation supplémentaire (F<sub>7</sub>) contenant que du “*café arabica*” a été présentée aux participants à côté des six formulations du “*café arabica épiché*”. Parmi ces sept formulations, quatre formulations (**tableau 7, Chapitre II**) ayant les notations les plus élevées ont été sélectionnées pour une caractérisation sensorielle élargie en appliquant la méthode “Check-All-That-Apply” (CATA) et la méthode “Rate-All-That-Apply” (RATA).

Les formulations de “*café arabica épiché*” sélectionnées pour une caractérisation sensorielle élargie sont les formulations nommées “F<sub>1</sub>”, “F<sub>3</sub>”, “F<sub>6</sub>” et “F<sub>7</sub>”, codées respectivement en “P187”, “P526”, “P940” et “P239”, sont présentées dans le **tableau 7**, ci-dessous, rapporté en premier dans le **chapitre II**. La formulation “F<sub>7</sub>” contient que du “café arabica”.

**Tableau 7** : les formulations de “*café arabica épiché*” sélectionnées pour une analyse sensorielle élargie.

Formulation	Codage	Les proportions de chaque facteur.		
		“ <i>Café arabica</i> ” « $x_1$ »	“ <i>Petit galanga</i> ” « $x_2$ »	“ <i>Clou de girofle</i> ” « $x_3$ »
<b>F<sub>1</sub></b>	<b>P187</b>	0,955	0,035	0,01
<b>F<sub>3</sub></b>	<b>P526</b>	0,94	0,05	0,01
<b>F<sub>6</sub></b>	<b>P940</b>	0,95	0,05	0
<b>F<sub>7</sub></b>	<b>P239</b>	1	0	0

Le **tableau 12**, ci-dessous, regroupe l’ensemble des “termes CATA” sélectionnés, décrivant les attributs sensoriels par un profilage sensoriel du “*café arabica épiché*”, dans le but de décrire la nature des perceptions sensorielles et de déterminer leurs intensités. Les attributs (caractéristiques) sensoriels étudiés étaient “la couleur”, “l’odeur”, “la saveur”, “l’arôme” et “l’arrière-goût”.

**Tableau 12** : les “termes CATA” sélectionnés pour la caractérisation sensorielle élargie du “café arabica épice”.

<b>Caractéristiques</b>	<b>Les termes CATA</b>
<b>Couleur</b>	<i>Couleur rouge</i>
	<i>Couleur brune</i>
	<i>Couleur jaune</i>
<b>Odeur</b>	<i>Odeur café</i>
	<i>Odeur épice</i>
	<i>Odeur café torréfié</i>
	<i>Odeur café brûlé</i>
	<i>Odeur piquante</i>
	<i>Odeur plaisante indéfinie</i>
<b>Saveur</b>	<i>Saveur café</i>
	<i>Saveur douce</i>
	<i>Saveur sensation en bouche agréable</i>
	<i>Saveur caramélisée</i>
	<i>Saveur noisette / chocolat</i>
	<i>Saveur épicée</i>
	<i>Saveur baies / fruité</i>
	<i>Saveur équilibrée</i>
	<i>Saveur acide</i>
	<i>Saveur astringence</i>
	<i>Saveur aigre</i>
	<i>Saveur piquante</i>
	<i>Saveur amer</i>
	<i>Saveur fade</i>
<b>Arôme</b>	<i>Arôme caramélisé</i>
	<i>Arôme épicé</i>
	<i>Arôme plaisante indéfinie</i>
	<i>Arôme floral / baies</i>
	<i>Arôme noisette / chocolat</i>
	<i>Arôme café torréfié</i>
	<i>Arôme café brûlé</i>
<b>Arrière-goût</b>	<i>Arrière-goût acide</i>
	<i>Arrière-goût aigre</i>
	<i>Arrière-goût amer</i>
	<i>Arrière-goût piquant</i>
	<i>Arrière-goût plaisante indéfinie</i>
	<i>Arrière-goût désagréable persistant</i>

### III.4.2. La méthode “Check-All-That-Apply” (CATA)

Cette méthode repose sur la présentation d'une liste de termes décrivant des caractéristiques (attributs) sensorielles aux participants qui sont sollicités de choisir les termes qui caractérisent au mieux les attributs sensoriels perçus dans les formulations “*café arabica épice*”. Ensuite, les réponses des participants ont été collectées et le nombre de fois où chaque “terme CATA” a été choisi a été indiqué. Cela aide à identifier les caractéristiques perçues et à différencier les formulations les unes des autres en fonction des “ termes CATA” caractérisant les attributs sensoriels sélectionnés. Le **tableau 13**, ci-dessous, présente l'ensemble des réponses sensorielles des quarante participants dans la caractérisation sensorielle élargie du “*café arabica épice*”.

**Tableau 13** : nombre total d'attributs CATA “Check-All-That-Apply” indiqués pour chaque produit.

Attributs		Produits			
		P526	P239	P940	P187
Couleur	<i>Couleur rouge</i>	14	12	12	15
	<i>Couleur brune</i>	34	34	34	30
	<i>Couleur jaune</i>	7	5	3	6
Odeur	<i>Odeur café</i>	19	32	29	18
	<i>Odeur épice</i>	22	11	16	19
	<i>Odeur café torréfié</i>	18	18	16	10
	<i>Odeur café brûlé</i>	6	7	5	4
	<i>Odeur piquante</i>	22	3	6	22
	<i>Odeur plaisante indéfinie</i>	13	12	14	11
	Saveur	<i>Saveur café</i>	25	32	27
<i>Saveur douce</i>		9	13	8	9
<i>Saveur sensation en bouche agréable</i>		11	12	13	8
<i>Saveur caramélisée</i>		4	4	0	1
<i>Saveur noisette/chocolat</i>		2	3	2	3
<i>Saveur épicée</i>		20	6	15	23
<i>Saveur baies/fruité</i>		3	0	0	2
<i>Saveur équilibrée</i>		10	11	12	7
<i>Saveur acide</i>		4	4	4	6
<i>Saveur astringence</i>		13	11	15	13
<i>Saveur aigre</i>		4	3	3	5
<i>Saveur piquante</i>		19	0	11	10
<i>Saveur amer</i>		25	25	21	26
<i>Saveur fade</i>		6	5	7	6
Arôme	<i>Arôme caramélisé</i>	10	4	3	2
	<i>Arôme épice</i>	28	10	18	22
	<i>Arôme plaisante indéfinie</i>	10	10	7	8
	<i>Arôme floral/baies</i>	4	1	2	2
	<i>Arôme noisette/chocolat</i>	3	3	3	3
	<i>Arôme café torréfié</i>	22	31	27	17
	<i>Arôme café brûlé</i>	8	8	8	10
Arrière-goût	<i>Arrière-goût acide</i>	3	6	4	6
	<i>Arrière-goût aigre</i>	2	2	3	5
	<i>Arrière-goût amer</i>	26	27	26	31
	<i>Arrière-goût piquant</i>	15	3	12	11
	<i>Arrière-goût plaisante indéfinie</i>	7	16	10	8
	<i>Arrière-goût désagréable persistant</i>	9	8	9	13

Parmi les “termes CATA” proposés aux participants pour la caractérisation sensorielle de l’attribut “couleur”, le terme “couleur brune” a été le plus indiqué par les participants et cela pour les quatre formulations étudiées (**tableau 13**).

Pour l’attribut “odeur”, le terme “odeur café” a été le terme le plus indiqué par les participants (**tableau 13**), car le “café arabica” était l’ingrédient majoritaire, avec des proportions allant de 0,94 à 1 pour les formulations étudiées (**tableau 7, chapitre II**).

Pour l’attribut “saveur”, le terme “saveur café” et le terme “saveur amer” ont été les termes les plus indiqués par les participants (**tableau 13**).

Pour l’attribut “arôme”, le terme “arôme café torréfié” et le terme “arôme épicé” étaient les plus indiqués par les participants (**tableau 13**).

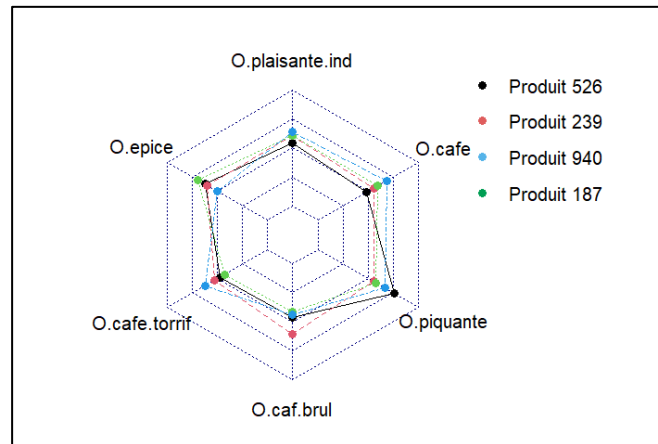
Pour l’attribut “arrière-goût”, le terme “arrière-goût amer” était le plus indiqué par les participants (**tableau 13**).

#### III.4.3. La méthode “Rate-All-That-Apply” (RATA)

La méthode “RATA” est une méthode utilisée dans l’analyse sensorielle des produits alimentaires, dans laquelle une évaluation de l’intensité des attributs perçus est exigée. À la différence de la méthode “CATA”, il ne s’agit pas seulement de choisir les termes qui décrivent aux mieux les attributs sensoriels perçus en utilisant les sens, cependant il faudrait noter l’intensité de l’attribut évalué à l’aide d’une échelle allant de “un” à “trois”.

Les résultats obtenus sont représentés par un diagramme radar, qui est utilisé pour afficher des données multidimensionnelles. Les axes représentent les différents termes représentant les attributs étudiés et dont la moyenne d’intensité, attribuée par l’ensemble de participants. Les formulations de “café arabica épicé” étudiées sont les formulations nommées “F<sub>1</sub>”, “F<sub>3</sub>”, “F<sub>6</sub>” et “F<sub>7</sub>”, codées respectivement en “P187”, “P526”, “P940” et “P239” (**tableau 7, chapitre II**).

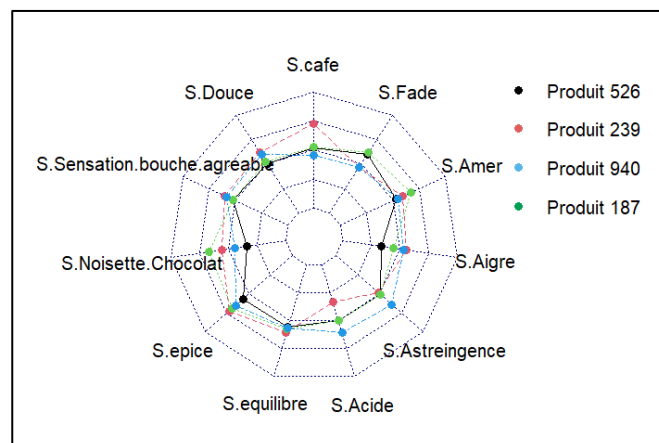
Les résultats RATA concernant l'attribut "odeur" ont été représentés à l'aide d'un diagramme radar, présenté dans la **figure 15** ci-dessous.



**Figure 15** : le diagramme radar regroupant les termes décrivant l'attribut "odeur", pour les quatre produits étudiés codés en "P187", "P526", "P940" et "P239" du "café arabica épice".

La formulation nommée "F<sub>7</sub>", codée en "239", avait la valeur de l'intensité la plus élevée qui est 2,06 pour le terme "odeur café". Cela est expliqué par le fait que cette formulation ne contient que du "café arabica". Quant au terme "odeur épice", la formulation nommée "F<sub>1</sub>", codée en "187", avait la notation d'intensité la plus élevée qui est de 2,11 (**figure 15**).

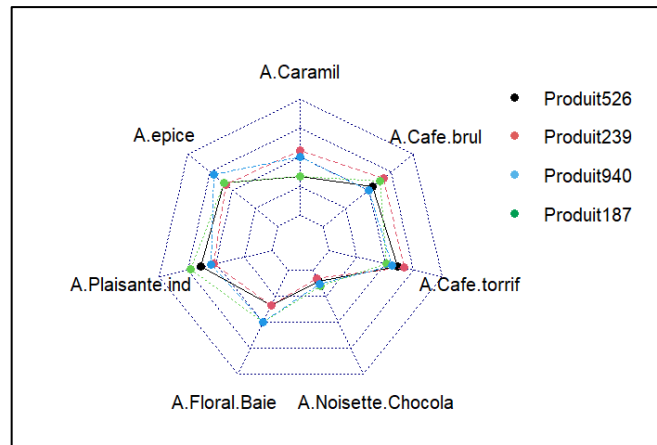
Pour l'attribut "saveur", les résultats RATA ont été représentés à l'aide d'un diagramme radar, présenté dans la **figure 16** ci-dessous.



**Figure 16** : le diagramme radar regroupant les termes décrivant l'attribut "saveur", pour les quatre produits étudiés codés en "P187", "P526", "P940" et "P239" du "café arabica épice".

La formulation nommée "F<sub>6</sub>", codée en "940", avait la notation d'intensité la plus élevée qui est 2, et cela pour le terme "saveur amer" (**figure 16**).

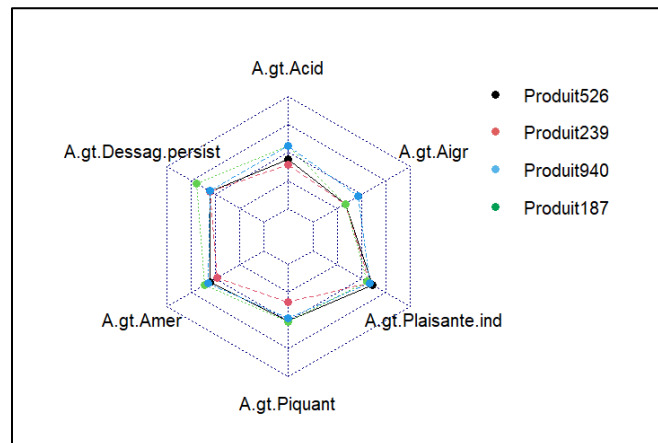
Pour l'attribut 'arôme', les résultats RATA ont été représentés à l'aide d'un diagramme radar, présenté dans la **figure 17** ci-dessous.



**Figure 17** : le diagramme radar regroupant les termes décrivant l'attribut 'arôme', pour les quatre produits étudiés codés en 'P187', 'P526', 'P940' et 'P239' du 'café arabica épicié'.

La formulation nommée 'F<sub>6</sub>', codée en '940', et la formulation nommée 'F<sub>1</sub>', codée en '187', avaient la notation d'intensité les plus élevées (1,5), et cela pour le terme 'arôme floral / baies' (figure 17).

Pour l'attribut 'arrière-goût', les résultats RATA ont été représentés à l'aide d'un diagramme radar, présenté dans la **figure 18** ci-dessous.



**Figure 18** : le diagramme radar regroupant les termes décrivant l'attribut 'arrière-goût', pour les quatre produits étudiés codés en 'P187', 'P526', 'P940' et 'P239' du 'café arabica épicié'.

Le terme 'arrière-goût piquant' avait enregistré la valeur d'intensité la plus élevée qui est 2,11 pour la formulation nommée 'F<sub>6</sub>', codée en '940' (figure 18).

# *Conclusion*

### Conclusion

Ce présent travail consiste à préparer un “*café arabica épicé*” à partir de trois ingrédients qui sont “*café arabica*”, “*petit galanga*” et “*clou de girofle*”, en suivant un plan de mélange. Une étude de l’effet d’incorporation de ces ingrédients sur les propriétés physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles du “*café arabica épicé*” produit, a été réalisée. Ces ingrédients ont été incorporés dans la préparation de “*café arabica épicé*” à des différentes proportions proposées par le plan de mélange, ainsi six formulations nommées de “F<sub>1</sub>” à “F<sub>6</sub>” ont été préparées.

L’étude statistique des résultats obtenus suite aux analyses physico-chimiques a montré une différence significative ( $p < 0.05$ ) entre certaines formulations pour certains paramètres, comme la teneur en flavonoïdes et les valeurs de la colorimétrie. Une différence non significative ( $p > 0.05$ ) est observée entre les six formulations, pour la teneur en polyphénols totaux TPC, le pH, ainsi que pour le taux des solides totaux dissous TDS. Les six formulations de “*café arabica épicé*” se caractérisent par une teneur élevée en polyphénols et en flavonoïdes, avec une activité antioxydante très importante.

Les résultats de l’analyse microbiologique des six produits de “*café arabica épicé*” montrent leur parfaite conformité aux normes d’hygiène concernant la manipulation des aliments et leur conservation, ce qui offre un produit d’une qualité hygiénique acceptable.

L’effet des différentes proportions des composants utilisées dans la préparation de “*café arabica épicé*”, sur les caractéristiques physico-chimiques des formulations, avait montré que la formulation ayant les propriétés physico-chimiques les plus optimales c’était la formulation nommée “F<sub>4</sub>”.

Afin de choisir les formulations à étudier en analyse sensorielle, un test de préférence a été réalisé, ainsi les quatre formulations les mieux notées, ont été sélectionnées pour une analyse sensorielle élargie par la méthode “Check-All-That-Apply” (CATA), et le “Rate-All-That-Apply” (RATA) méthode.

Les propriétés sensorielles étudiées sont “la couleur”, “l’odeur”, “l’arôme”, “la saveur”, et “l’arrière-goût”.

*Références*  
*bibliographiques*

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- Aloe, R. M. (2020). Affordable coffee solubility tools (TDS) for Espresso: Brix vs Atago.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists.
- Aung, T., Kim, B. R., & Kim, M. J. (2024). Check-all-that-apply (CATA)- and rate-all-that-apply (RATA)-based sensometric assessment of germinated-wheat beverages.
- Babova, O., Occhipinti, A., & Maffei, M. E. (2016). Chemical partitioning and antioxidant capacity of green coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*) of different geographical origin.
- Batiha, G. E., Alkazmi, L. M., Wasef, L. G., Beshbishy, A. M., Nadwa, E. H., & Rashwan, E. K. (2020). *Syzygium aromaticum* L. (*Myrtaceae*) : Traditional uses, bioactive chemical constituents, pharmacological and toxicological activities.
- Bertrand, B., Montagnon, C., Georget, F., Charmetant, P., & Etienne, H. (2012). Création et diffusion de variétés de caféiers Arabica : quelles innovations variétales ?
- Bicho, N., Lidon, F., Ramalho, J., & Leitão, A. (2013). Quality assessment of arabica and robusta green and roasted coffees.
- Bitari, A., Oualdi, I., Touzani, R., Elachouri, M., & Legssyer, A. (2023). *Alpinia officinarum* Hance : A mini review.
- Boizot, N., & Charpentier, J.-P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier.
- Buitrago-Osorio, J., Tinoco, H. A., Perdomo-Hurtado, L., Rincon-Jimenez, A., Ocampo, O., Berrio, L. V., Lopez-Guzman, J. (2022). Physical-mechanical characterization of coffee fruits *Coffea arabica* L. var. Castillo classified by a colorimetry approach.
- Burn-Berthet, J., & Laville, F. (2000). Validation d'une méthode de plans d'expérience appliquée aux choix des modèles acoustiques.
- Callejo, M. J. (2011). Present situation on the descriptive sensory analysis of bread.
- Cannon, R., Trinnaman, L., Grainger, B., & Trail, A. (2010). The key odorants of coffee from various geographical locations.
- Cardoso, W. S., Dias, S. R., Coelho, V. S., Pereira, L. L., Fioresi, D. B., & Pinheiro, F. d. A. (2023). Maillard reaction precursors and arabica coffee (*Coffea arabica* L.) beverage quality.
- Cheong, M. W., Tong, K. H., Ong, J. J. M., Liu, S. Q., Curran, P., & Yu, B. (2013). Volatile composition and antioxidant capacity of arabica coffee.
- Cirad. (2010). Guide de bonnes pratiques d'hygiène de la filière de production et de transformation des clous de girofle.
- Clifford, M. N. (1999). Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence and dietary burden.
- Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M., & Stoffelen, P. (2006). An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae).

## Références bibliographiques

---

- Ding, P., Yang, L., Feng, C., & Xian, J.-c. (2019). Research and application of *Alpinia officinarum* in medicinal field.
- Duangjai, A., Suphrom, N., Wungrath, J., Ontawong, A., Nuengchamnon, N., & Yosboonruang, A. (2016). Comparison of antioxidant, antimicrobial activities and chemical profiles of three coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extracts.
- Ferreira, B., Silva, J., Bettani, S., Silva, P., & Verruma-Bernardi, M. (2022). AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E SENSORIAL DE CAFÉS TORRADO E MOÍDO TRADICIONAL E EXTRAFORTE.
- Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2019). Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products : Chapter 17 – Coffee.
- Freitas, V. V., Borges, L. L. R., Vidigal, M. C. T. R., dos Santos, M. H., & Stringheta, P. C. (2024). Coffee: A comprehensive overview of origin, market, and the quality process.
- Furtuna, N. (2012). L'analyse sensorielle du vin : approches methodologiques.
- Giraud, A., Grassi, S., Savorani, F., Gavoci, G., Casiraghi, E., & Geobaldo, F. (2019). Determination of the geographical origin of green coffee beans using NIR spectroscopy and multivariate data analysis.
- Gómez, O. S. (2019). Converting Brix to TDS - An Independent Study.
- Goupy, J. (1990). Étude comparative de divers plans d'expériences.
- Goupy, J. (2006). Plans d'expériences.
- Guang, W., Baraldo, M., & Furlanut, M. (1995). Calculating percentage prediction error : A user's note.
- Haddoudi, M., Mellok, H., Bejjany, B., Dani, A., & Rigua, A. (2014). Valorisation du marc du café : extraction de l'huile et évaluation de son activité antioxydante.
- Haler, P. N. G. (2013). Le café : les effets bénéfiques et néfastes sur la santé. Thèse en vue de l'obtention du diplôme d'Etat de docteur en pharmacie.
- Hébert, A., & Ammar-Khodja, P. (2003). Le café, des terroirs et des hommes.
- Herman, A., & Herman, A. P. (2012). Caffeine's mechanisms of action and its cosmetic use.
- Hernandez Perez, J. A. (2002). Etude de la torréfaction : modélisation et détermination du degré de torréfaction du café en temps réel.
- Houessou, J. (2007). Polycyclic aromatic hydrocarbons in coffee : development of analytical methods and study of the roasting process.
- Indrayan, A. K., Garg, S. N., Rathi, A. K., & Sharma, V. (2007). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Alpinia officinarum* rhizome.
- Jalbă, R. (2023). Analyse sensorielle des produits de confiserie.
- Kim, D. O., Chun, O. K., Kim, Y. J., Moon, H. Y., & Lee, C. Y. (2003). Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums.
- Kress, WJ, Prince, LM, Williams, KJ, 2002. La phylogénie et une nouvelle classification des gingembres. (Zingiberaceae) : preuves issues de données moléculaires. Suis. J. Bot.89, 1682-1696.

## Références bibliographiques

---

- Lefebvre, A., & Bassereau, J.-F. (2003). L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception : ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration.
- Li, J. W., Fan, L. P., Ding, S. D., & Ding, X. L. (2007). Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube.
- Liu, C., Yang, Q., Linforth, R., Fisk, I. D., & Yang, N. (2019). Modifying Robusta coffee aroma by green bean chemical pre-treatment.
- Lobstein, A., Couic-Marinier, F., & Barbelet, S. (2017). Huile essentielle de Clou de girofle.
- Ly, B., Dyer, E., Feig, J., Chien, A., & Bino, S. (2020). Research Techniques Made Simple : Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement.
- Magnus, H. (1878). Histoire de l'évolution du sens des couleurs.
- Meyners, M., Jaeger, S. R., & Ares, G. (2016). On the analysis of Rate-All-That-Apply (RATA) data.
- Moreno, F. L., Raventós, M., Hernández, E., Santamaría, N., Acosta, J., Pirachican, O., Ruiz, Y. (2015). Rheological behaviour, freezing curve, and density of coffee solutions at temperatures close to freezing.
- Perriot, J.-J. (2003). Devenez expert café : training to learn more about coffees.
- Raoux, R. (1998). Méthodologie et spécificités de l'analyse sensorielle dans le domaine des corps gras.
- Rincon-Jimenez, A., Tinoco, H. A., Buitrago-Osorio, J., Ocampo, O., Berrio, L. V., Rodriguez-Sotelo, J. L., & Arizmendi, C. (2021). Ripeness stage characterization of coffee fruits (*coffea arabica* L. var. Castillo) applying chromaticity maps obtained from digital images.
- Risso, É. M., Péres, R. G., & Amaya-Farfan, J. (2007). Determination of phenolic acids in coffee by micellar electrokinetic chromatography.
- Singletary, K. (2014). Clove: Overview of potential health benefits.
- Statista. (2023). Volume de production de café arabica dans le monde 2022/2023.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property.
- Thomas, A. (2016). Analyse sensorielle temporelle descriptive et hédonique.
- Tinsson, W. (2010). Critères d'optimalité. Plans d'expérience : constructions et analyses statistiques.
- Todaro, M., Gannuscio, R., Mancuso, I., Ducato, B., & Scatassa, M. L. (2024). The use of Brix refractometer as a simple and economic device to estimate the protein content of sheep milk.
- Vega, F. E., Rosenquist, E., & Collins, W. (2003). Global project needed to tackle coffee crisis.
- Vidal. (2014). Le galanga (*Alpinia officinarum*).
- Vidal, L., Ares, G., Hedderley, D. I., Meyners, M., & Jaeger, S. R. (2018). Comparison of rate-all-that-apply (RATA) and check-all-that-apply (CATA) questions across seven consumer studies.

## Références bibliographiques

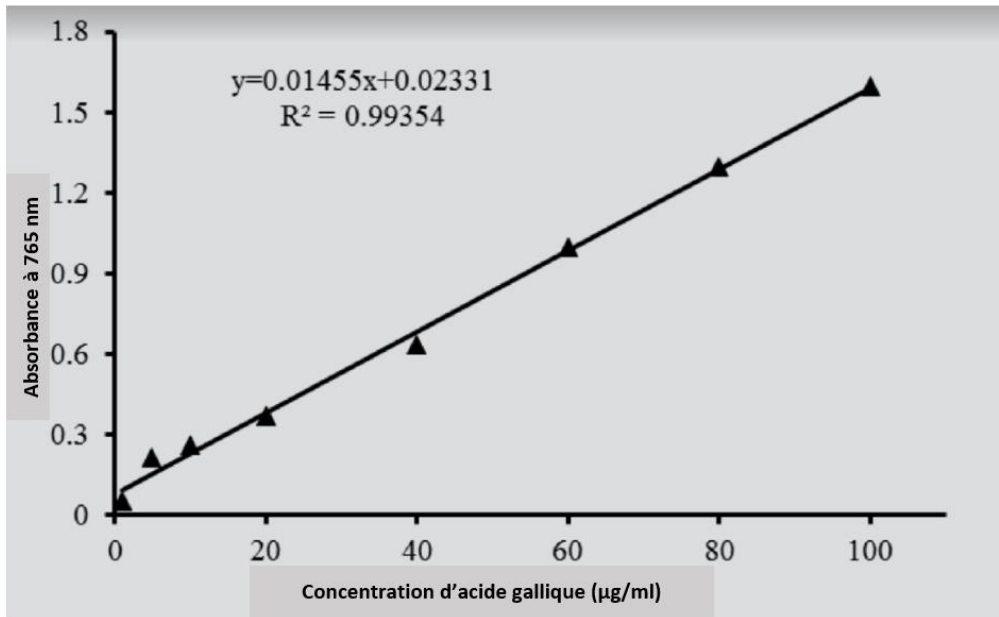
---

- Walston, J. D., Short, D. L., & Badar, M. A. (2022). An experimental design on coffee extraction factors impacting the measurable percent of total dissolved solids in solution.
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Chapter 10 - Chemical changes in the components of coffee beans during roasting.
- Yao, A. K., Koffi, D. M., Blei, S. H., Irié, Z. B., & Niamke, S. L. (2015). Propriétés biochimiques et organoleptiques de trois mets traditionnels ivoiriens (attiéké, placali, attoukpou) à base de granulés de manioc natifs.
- Zagórska, J., Pietrzak, K., Kukula-Koch, W., Czop, M., Wojtysiak, K., & Koch, W. (2024). Influence of thermal treatment on the composition of *Alpinia officinarum* rhizome.
- Zhang, L., Pan, C., Ou, Z., Liang, X., Shi, Y., Chi, L., Xiang, H. (2020). Chemical profiling and bioactivity of essential oils from *Alpinia officinarum* Hance from ten localities in China.
- Zhang, S., Liu, X., Li, R., Wang, X., Cheng, J., Yang, Q., & Kong, H. (2021). AHP-GIS and MaxEnt for delineation of potential distribution of arabica coffee plantation under future climate in Yunnan, China.
- Zhou, Y.-Q., Liu, H., He, M.-X., Wang, R., Zeng, Q.-Q., Wang, Y., Zhang, Q.-W. (2018). Natural and artificial flavoring agents and food dyes : A Review of the botany, phytochemical, and pharmacological properties of galangal.
- Zhu, M., Long, Y., Ma, Y., Chen, Y., Yu, Q., Xie, J., Tian, J. (2021). Comparison of chemical and fatty acid composition of green coffee bean (*Coffea arabica* L.) from different geographical origins.

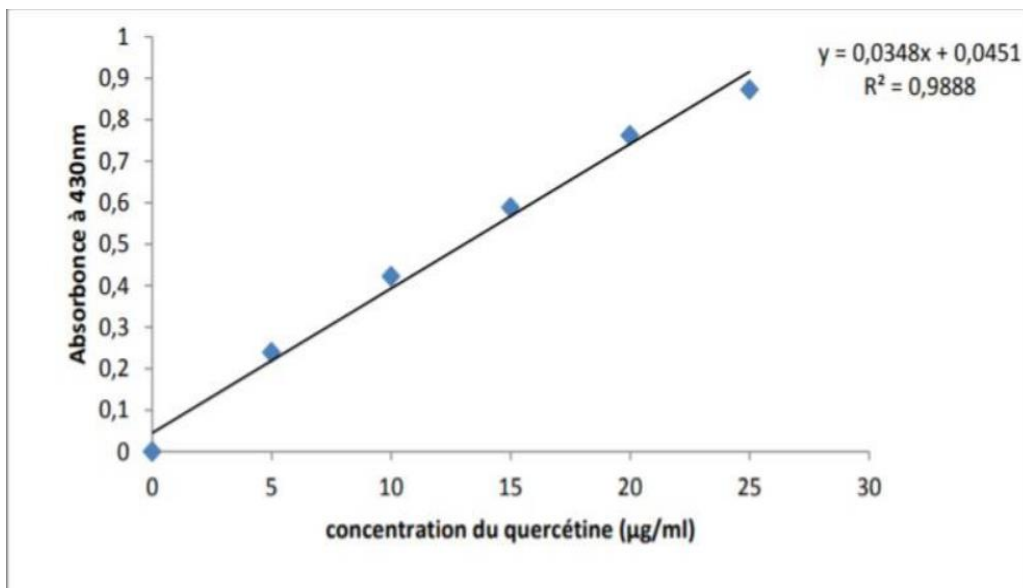
# *Annexes*

## Annexe 1

### Représentation de la gamme d'étalonnage des polyphénols totaux



### Représentation de la gamme d'étalonnage des flavonoïdes



### Annexe 2

#### Exemple de fiche du test hédonique des produits de “*café arabica épicié*”


Date : .....

Mâle :

Âge : .....

Femelle :

**Veillez cocher en fonction de votre préférence de produit :**

<p>Code de produit : <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/></p> <p><input type="checkbox"/> J'aime extrêmement</p> <p><input type="checkbox"/> J'aime beaucoup</p> <p><input type="checkbox"/> J'aime modérément</p> <p><input type="checkbox"/> J'aime légèrement</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas et je ne déteste pas</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas légèrement</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas modérément</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas beaucoup</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas extrêmement</p>		<p>Code de produit : <input style="width: 60px; height: 20px;" type="text"/></p> <p><input type="checkbox"/> J'aime extrêmement</p> <p><input type="checkbox"/> J'aime beaucoup</p> <p><input type="checkbox"/> J'aime modérément</p> <p><input type="checkbox"/> J'aime légèrement</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas et je ne déteste pas</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas légèrement</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas modérément</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas beaucoup</p> <p><input type="checkbox"/> Je n'aime pas extrêmement</p>
---	--	---

## Annexe 3

## Exemple de fiche d'évaluation sensorielle des produits de "café arabica épice"

Code :	526	Présence ou absence (0) خاصية موجودة أو غير موجودة (0)	Si présence, son intensité إذا موجودة، حدد شدتها		
			(-) 1	(+) 2	(+) 3
<b>المظهر (العين) Apparence</b>					
Couleur Rouge	لون أحمر	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Couleur brune	لون بني / أسمر	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Couleur jaune	لون أصفر	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>الرائحة (الأنف) Odeur</b>					
Café	رائحة قهوة	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Épice	رائحة توابل	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Café torréfié	رائحة قهوة محمصة	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Café Brûlée	رائحة قهوة محترقة	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Piquante	رائحة لاذعة (فرنفل) (clou de Girofle)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plaisante indéfinie	رائحة طيبة غير محددة	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>المذاق / الطعم (الفم) أثناء التذوق Saveur</b>					
Café	طعم قهوة	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Douce	طعم حلو خفيف	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sensation en bouche agréable	شعور لطيف أثناء التذوق	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Caramélisé	طعم الكراميل	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Noisette/chocolat	طعم البندق / الشوكولاتة	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Épicé	طعم توابل	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Baies/Fruité	طعم التوت / فواكه	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>