République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

Université Blida 1

Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie

Département Sciences alimentaires

Laboratoire de Recherche Sciences, Technologies et Développement Durable

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en

Spécialité : **Nutrition et diététique humaine**

Filière : **Sciences Alimentaires**

Domaine : **Sciences de la Nature et de la Vie**

Thème :

Formulation d'un chocolat noir bio

Réalisé par :

HAMAIMI fethi

Devant le jury composé de :

Dr kouidriA.	**MCA**	**U. Blida 1**	**Présidente**
Dr Benlemmane S.	**MCB**	**U. Blida 1**	**Examinatrice**
Dr Deffairi D.	**MCA**	**U. Blida 1**	**Promotrice**

Promotion 2024-2025

Remerciements

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Madame Djamila Deffairi, Maitre de conférences A au Département Sciences Alimentaires, Faculté Sciences de la Nature et de la Vie, Université Blida 1, ma promotrice, pour son encadrement rigoureux, sa disponibilité, ses conseils avisés et l'attention constante qu'elle a portée à chaque étape de ce travail. Sa bienveillance et son professionnalisme ont été d'un grand soutien tout au long de cette expérience.

Je remercie également les membres du jury, Madame Kouidri A, Maitre de conférences A au Département Sciences Alimentaires , Faculté Sciences de la Nature et de la Vie ,Université Blida 1 présidente du jury, et Madame Belemman F Maitre de conférences B au Département Sciences Alimentaires , Faculté Sciences de la Nature et de la Vie ,Université Blida 1 , pour l'honneur qu'elles me font en acceptant d'évaluer ce mémoire. Leurs observations et recommandations seront, sans nul doute, enrichissantes pour la suite de mon parcours.

J'adresse aussi ma profonde gratitude à Madame Sadani R la Cheffe de Production et à Madame Mezali S la Cheffe de Laboratoire de la société BIMO, pour leur accueil chaleureux, leur encadrement durant mon stage, ainsi que pour les connaissances professionnelles et techniques qu'elles m'ont transmises avec générosité et pédagogie

.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et au bon déroulement de ma formation.

Dédicace

Je dédie ce mémoire avec beaucoup d'amour et de respect :

À ma chère mère Beladjerie soumia , symbole de tendresse et de courage,
À mon père Hamaimi Syes , source d'inspiration et de sagesse,À vous deux, pour votre soutien inconditionnel, vos sacrifices silencieux et votre confiance en moi. Ce travail vous appartient autant qu'à moi.

À mes frères, Chakib et Kossai,Merci pour votre présence, vos encouragements et votre soutien tout au long de ce parcours

À mes amis les plus proches : Bouhaker, Islem,
Alaa, Sofiane, Ayoub, Zaki et Mouna,Pour les souvenirs partagés, les fous rires, le soutien et l'amitié sincère. Merci d'avoir rendu ce chemin plus agréable.

À Maria, Une amie exceptionnelle. Merci pour ta patience, ton écoute, ta gentillesse et ton soutien indéfectible dans les moments difficiles comme dans les plus simples.

À toutes les personnes qui ont cru en moi et qui m'ont soutenu, Je vous dédie ce modeste travail, en témoignage de ma profonde reconnaissance.

Résumé

Cette étude porte sur la formulation, l'analyse et l'évaluation d'un chocolat noir bio sans sucres ajoutés, destiné aux personnes diabétiques, Le sucre y a été remplacé par la stévia, un édulcorant naturel choisi pour son fort pouvoir sucrant et son absence d'impact sur la glycémique.

La formulation Du chocolat noir à 70 % de cacao, à base de matières premières certifiées bio (masse de cacao, beurre de cacao, poudre de cacao, stévia/érythritol et lécithine) a été réalisée au sein de la SARL BIMO Industrie.

Des analyses physico-chimiques menées sur les matières premières ainsi que sur le produit fini ont montré des résultats conformes aux normes en vigueur. Les teneurs relevées sont les suivantes : humidité (0,43 %), matières grasses (35,91 %), cendres (1,2 %), protéines (6,75 %), fibres alimentaires (4,4 %), sucres totaux (9,6 %), avec une valeur énergétique de 543,71 kcal pour 100 g de produit

Les analyses microbiologiques ont montré une absence de pathogènes tels que *Salmonella* et *Listeria monocytogenes*, avec des taux acceptables de flore totale, levures et moisissures, garantissant la sécurité sanitaire du produit.

L'analyse sensorielle effectuée auprès de 10 dégustateurs a mis en évidence une acceptabilité globale satisfaisante du chocolat noir bio formulé, avec des scores élevés attribués à l'arôme, au goût et à la texture. Malgré l'absence de sucre, le produit a été jugé satisfaisant sur le plan organoleptique.

En conclusion, la stévia s'est avérée être une alternative efficace au sucre dans la formulation d'un chocolat noir bio allégé, répondant aux attentes nutritionnelles, hygiéniques et sensorielles des consommateurs ciblés.

Mots clés :

Analyse physico-chimique, Analyse sensorielle, Chocolat noir bio, Diabète, Sécurité microbiologique, Stévia.

.

Abstract

This study focuses on the formulation, analysis, and evaluation of an organic dark chocolate with no added sugars, intended for diabetic individuals. Sugar was replaced with stevia, a natural sweetener selected for its high sweetening power and its lack of glycemic impact. The formulation of 70% dark chocolate, based on certified organic raw materials (cocoa mass, cocoa butter, cocoa powder, stevia/erythritol, and lecithin), was carried out at SARL BIMO Industrie.

Physico-chemical analysis conducted on both raw materials and the final product showed results in compliance with current standards. The recorded levels were as follows: moisture (0.43%), fat (35.91%), ash (1.2%), protein (6.75%), dietary fiber (4.4%), total sugars (9.6%), with an energy value of 543.71 kcal per 100 g of product.

Microbiological analyses showed the absence of pathogens such as *Salmonella* and *Listeria monocytogenes*, with acceptable levels of total flora, yeasts, and molds, ensuring the sanitary safety of the product.

Sensory analysis conducted with 10 panelists revealed a generally high acceptability of the formulated organic dark chocolate, with high scores given for aroma, taste, and texture. Despite the absence of sugar, the product was deemed organoleptically satisfactory.

In conclusion, stevia proved to be an effective sugar substitute in the formulation of a reduced-sugar organic dark chocolate, meeting the nutritional, hygienic, and sensory expectations of the targeted consumers.

Keywords:
Physico-chemical analysis, Sensory analysis, Organic dark chocolate, Diabetes, Microbiological safety, Stevia.

ملخص

تركز هذه الدراسة على صياغة وتحليل وتقييم شوكولاتة داكنة عضوية خالية من السكريات المضافة، مخصصة لمرضى السكري. استُبدل السكر بالستيفيا، وهو مُحلي طبيعي مُختار لقدرته العالية على التحلية وعدم تأثيره على مستويات السكر في الدم.

أُجريت صياغة الشوكولاتة الداكنة بنسبة 70% من الكاكاو، بالاعتماد على مواد خام عضوية معتمدة (كتلة الكاكاو، زبدة الكاكاو، مسحوق الكاكاو، ستيفيا/إريثريتول، والليسيثين)، في شركة SARL BIMO Industrie.

أظهرت التحاليل الفيزيائية والكيميائية التي أُجريت على المواد الخام والمنتج النهائي نتائج متوافقة مع المعايير الحالية. وكانت النسب المسجلة كما يلي: الرطوبة (0.43%)، الدهون (35.91%)، الرماد (1.2%)، البروتين (6.75%)، الألياف الغذائية (4.4%)، والسكريات الكلية (9.6%)، بقيمة طاقة تبلغ 543.71 سعرة حرارية لكل 100 غرام من المنتج.

أظهرت التحاليل الميكروبيولوجية خلوّ المنتج من مسببات الأمراض مثل السالمونيلا والليستيريا المستوحدة، مع مستويات مقبولة من إجمالي البكتيريا والخمائر والعفن، مما يضمن سلامة المنتج.

أظهر التحليل الحسي الذي أُجري على 10 متذوقين قبولاً عاماً مُرضياً للشوكولاتة الداكنة العضوية المُصنّعة، مع درجات عالية من حيث الرائحة والطعم والملمس. وعلى الرغم من عدم احتوائها على السكر، اعتُبر المنتج مُرضياً من الناحية الحسية. وفي الختام، أثبتت ستيفيا أنها بديل فعال للسكر في تركيب الشوكولاتة الداكنة العضوية قليلة الدسم، مُلبيةً التوقعات الغذائية والصحية والحسية للمستهلكين المستهدفين.

الكلمات المفتاحية:

التحليل الفيزيائي والكيميائي، التحليل الحسي، الشوكولاتة الداكنة العضوية، داء السكري، السلامة الميكروبيولوجية، ستيفيا.

Sommaire

INTRODUCTION .....

Introduction 1

CHAPITRE I : Données Bibliographique 3

Partie I : CACAO 4

I.1. Historique 5

I.2.Description de cacaoyer 5

I.3.Culture de cacao 5

I.4. Transformation de cacao 6

Partie II : Chocolat noir 7

II.1. Définition 8

II.2. Différents types de chocolat noir 8

II.2.1. Chocolat noir ordinaire (ou chocolat de consommation courante) 8

II.2.2. Chocolat noir extra ou fort en cacao 8

II.2.3. Chocolat noir à cuire (ou chocolat pâtissier) 8

II.2.4. Chocolat noir à teneur réduite en sucre 8

II.3. Processus de fabrication du chocolat noir 8

II.3.1. Récolte des cabosses 8

II.3.2. Écotage et extraction des fèves 9

II.3. 3. Fermentation 9

II.3.4. Séchage 9

II.3. 5. Torréfaction 9

II.3.7. Ajout des ingrédients 9

II.3.8. Conchage 10
II.3.9. Tempérage 10
II.3.10. Moulage – Refroidissement – Emballage 10
II.4. Bienfait de chocolat noir sur la santé 11
II.5. Innovation dans la formulation 11
II.6. Impact culturel du chocolat noir 12
Partie III : Stévia 13
III.1. Définition 14
III.2. Caractéristiques botaniques 14
III.3. Propriétés chimiques et organoleptiques 14
III.4. Utilisation et bienfaits de la stevia 15
III.5. Culture et production de stévia 15
III.6. Industrialisation de stévia 16
III.7. Effets antihyperglycémiques du stévia chez les Diabétiques de type 2 16
III.8. Valeur nutritionnelle 17
CHAPITRE II : Partie Expérimentale 18
MATERIELE ET METHODE 19
II.1. Lieu et période de réalisation 20
II.2. Objectif du travail 20
II.3. Matériel et méthodes 20
II.3.1. Matériel d'étude 20
II.3.2. Méthodes 23
3. Analyses physico-chimiques 25
A. Matière première 25
B. Produit fini 26
Objectif : 26
Principe de la méthode : 26
Calcul : 27
Objectif 27
Principe de la méthode : 27
Calcul : 27
Objectif : 28

Principe de la méthode de Soxhlet 28

Objectif : 28

Déterminer la **teneur en azote total** dans un échantillon, puis **convertir** cette valeur en **protéines totales** à l'aide d'un **facteur de conversion** (généralement **6,25** pour les protéines alimentaires). 28

Principe de la méthode Kjeldahl : 28

Calcul des protéines : 29

Principe de la méthode de Mohr : 30

Calcul de la teneur en sel (NaCl) : 31

4. Analyses microbiologiques 31

5. Analyse sensorielle 35

Objectifs de l'analyse sensorielle 35

Principes de base de l'analyse sensorielle 35

6. Valeurs nutritionnelles moyennes 36

Chapitre III : Résultats et Discussion 37

III.1. Résultats des analyses physico-chimiques des matières première 38

1. Beurre de cacao 38

2. Masse de cacao 39

3. Poudre de cacao naturelle 39

III.2. Résultats des analyses physico-chimiques de produits fini 40

III.3. Résultats des analyses microbiologiques de produit fini 42

III.3. Résultats de l'analyse sensorielle 43

III .4. Résultats de la valeur nutritionnelle 44

Conclusion Générale 46

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 :COMPOSITION NUTRITIONNELLE DE LA STEVIA (G/100 G DW) 17
TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA MASSE DE CACAO 21
TABLEAU 3 : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA MASSE DE CACAO 21
TABLEAU 4 : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE BEURRE DE CACAO 21
TABLEAU 5 : RESULTATS DES ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DU BEURRE DE CACAO 38
TABLEAU 6: RESULTATS DES ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DE MASSE DE CACAO 39
TABLEAU 7: RESULTATS DES ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DU POUDRE DE CACAO 39
TABLEAU 8 : RESULTATS DES ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DE PRODUIT FINI 40
TABLEAU 9 : RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUE DES MATIERES PREMIERES 42
TABLEAU 10 : RESULTATS DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUE DE PRODUIT FINI 43
TABLEAU 11:RESULTATS DES ANALYSES SENSORIELLE 44
TABLEAU 12 : PANEL DES VALEURS NUTRITIONNELS 45
TABLEAU 13 TABLEAU DE TEST SENSORIEL 55

Liste des figures

FIGURE 1: SCHEMA DE PROCEDE DE FABRICATION DU CHOCOLAT A PARTIR DES FEVES DE CACAO 11
FIGURE 2 BIENFAITS DE LA STEVIA POUR LA SANTE SUR DIVERS ORGANES (KUMAR .,2025) 11
FIGURE 3: ETAPE DE BROYAGE DES INGREDIENTS 24
FIGURE 4 ETAPE DE MOULAGE DU CHOCOLAT 24
FIGURE 6 EXTRACTEUR SOXHLET 53
FIGURE 7 FOUR A MOUFLE 53
FIGURE 5 ETUVE 53
FIGURE 8 CHAUFFE BALLON 53
FIGURE 9 AGITATEUR MAGNETIQUE 53
FIGURE 10: VIRRERIE 53
FIGURE 11 APPAREIL KJELDAHL 54
FIGURE 12 BALANCE ANALYTIQUE 54
FIGURE 13 BEC BINZIN 54
FIGURE 14 BOITE DE PETRIE 54
FIGURE 15 FILTRE 54

INTRODUCTION

Introduction

Le chocolat noir occupe une place prépondérante dans l'industrie agroalimentaire, tant pour ses qualités organoleptiques que pour ses apports nutritionnels et sa valeur culturelle. Ce produit, apprécié pour son goût intense et sa richesse en cacao, est également reconnu pour ses bienfaits sur la santé, notamment grâce à sa teneur en flavonoïdes, polyphénols, théobromine et minéraux essentiels tels que le magnésium, le fer et le potassium (Latif, 2013 ; Vinson et *al.*, 2006). Ces composés antioxydants sont associés à une réduction du stress oxydatif et à des effets cardioprotecteurs.

La fabrication du chocolat noir repose sur une chaîne de transformation complexe, allant de la culture du cacaoyer à la sélection rigoureuse des matières premières, en passant par des étapes technologiques précises : fermentation, torréfaction, broyage, conchage et tempérage (Beckett, 2008). Aujourd'hui, le chocolat noir n'est plus seulement un aliment de plaisir, mais également un aliment fonctionnel, capable de s'intégrer dans une alimentation saine et équilibrée (Wang et *al.,* 2022).

Parallèlement à ces évolutions, les tendances actuelles de consommation mettent l'accent sur la réduction de la teneur en sucre des produits transformés, en raison de son lien avéré avec des pathologies telles que le diabète de type 2, l'obésité et les maladies cardiovasculaires (WHO, 2015). Cette préoccupation est particulièrement présente chez les personnes diabétiques ou soucieuses de leur santé métabolique. Pour répondre à cette demande croissante, l'industrie agroalimentaire explore des alternatives naturelles au saccharose, capables de préserver le goût sucré sans impacter la glycémie.

Dans ce contexte, la **stévia (Stevia rebaudiana)** apparaît comme une solution innovante et prometteuse. Extraite des feuilles d'une plante originaire d'Amérique du Sud, la stévia est un édulcorant intense, 200 à 300 fois plus sucrant que le sucre, tout en étant dépourvu de calories et d'impact glycémique (Chatsudthipong et Muanprasat, 2009). Lorsqu'elle est associée à l'érythritol (un polyol naturel à faible valeur énergétique) elle permet d'atténuer l'arrière-goût parfois amer de la stévia tout en améliorant la texture du produit fini (Carakostas et *al*., 2012).

L'utilisation de la stévia dans des produits chocolatés représente ainsi un défi technologique et sensoriel, mais aussi une avancée en matière de nutrition. Elle pourrait permettre de développer des produits sucrés adaptés aux régimes spécifiques (diabétiques, hypocaloriques) sans compromettre la qualité gustative et nutritionnelle.

Dans ce contexte, la présente étude s'interroge sur la possibilité de **formuler un chocolat noir sans sucre ajouté**, qui resterait **savoureux**, **nutritif** et **conforme aux tendances actuelles de consommation**. Ainsi, la **problématique centrale** peut être formulée comme suit :

Est-il possible de formuler un chocolat noir sans sucre ajouté qui soit à la fois savoureux, sain et conforme aux exigences nutritionnelles ainsi qu'aux tendances actuelles de consommation en matière de santé, notamment pour les personnes diabétiques ?

Pour y répondre, nous posons l'**hypothèse** suivante :

La substitution du sucre par la stévia, un édulcorant naturel sans impact glycémique, permettrait de produire un chocolat noir bio à 70 % de cacao, allégé en sucres, tout en conservant des qualités nutritionnelles, microbiologiques et organoleptiques satisfaisantes.

Cette hypothèse s'appuie sur les propriétés fonctionnelles reconnues de la stévia, qui, en plus de son pouvoir sucrant élevé, ne provoque pas de pics glycémiques, ce qui en fait une alternative adaptée aux personnes diabétiques. Elle suppose également que cette substitution ne compromettra ni la **qualité sensorielle** (goût, arôme, texture), ni la **sécurité sanitaire**, ni la **valeur nutritionnelle** du produit final.

Afin de valider ou d'infirmer cette hypothèse, l'étude s'articule autour des **objectifs suivants** :

1. **Formuler** un chocolat noir bio sans sucres ajoutés, en utilisant la stévia comme édulcorant principal, associé à l'érythritol pour améliorer la texture et le profil gustatif.
2. **Évaluer** les propriétés physico-chimiques du produit fini (humidité, matières grasses, fibres, protéines, sucres, valeur énergétique), afin de mesurer son équilibre nutritionnel.
3. **Analyser** la qualité microbiologique du produit afin de vérifier sa conformité aux normes de sécurité alimentaire.
4. **Mesurer** l'acceptabilité sensorielle du chocolat formulé auprès d'un panel de dégustateurs, dont des personnes concernées par le diabète, afin d'évaluer son potentiel d'adoption par les consommateurs cibles.

Ces objectifs traduisent la volonté de répondre de manière méthodique et scientifique à la problématique initiale, tout en testant de manière rigoureuse l'hypothèse formulée.

CHAPITRE I : Données Bibliographique

Partie I : CACAO

I.1. Historique

Christophe Colomb fut le premier Européen à faire la découverte du cacao en 1502. Il saisit un bateau rempli de fèves de cacao, qualifiées des amandes à l'apparence mystérieuse et reconnues comme une monnaie en Méso-Amérique.

En Europe, le cacao a fait son apparition en 1528, lorsque le conquistador espagnol Hernán Cortés a ramené des échantillons de cacao au roi Charles d'Espagne, démontrant les grandes vertus de la boisson faite à partir de cet "or brun". En 1753, le cacaoyer a été baptisé Theobroma cacao par le scientifique suédois Carl Linnaeus, qui a repris le nom latin Theobroma littéralement « nourriture des dieux » et le mot aztèque xocolatl [c'est-à-dire xococ (amer) et atl (eau)]. (Montagna et al.,2019)

Le cacao représente une ressource agricole majeure, principalement cultivée en Afrique de l'Ouest, avec des enjeux économiques, sociaux et environnementaux cruciaux liés au commerce équitable, à la durabilité et aux conditions de travail dans les plantations (ICCO, 2024).

I.2.Description de cacaoyer

le cacaoyer (*Theobroma cacao*) est originaire d'Amazonie, mais il est désormais cultivé dans toutes les régions tropicales, notamment dans les pays tropicaux d'Amérique du Sud, en Afrique de l'Ouest et centrale, en Inde et en Asie du Sud-Est. Entre 1961 et 2016, la production et la superficie des terres cultivées pour le cacao ont doublé (Maney*, et al.,2022)*

I.3.Culture de cacao

La culture du cacao se concentre principalement en Asie du Sud-Est, en Amérique latine et en Afrique de l'Ouest, avec la Côte d'Ivoire et le Ghana représentant ensemble 63 % des fèves de cacao mondiales. Environ 70 % de la production totale de l'Afrique de l'Ouest. Malgré son origine en Amérique du Sud, le cacao est cultivé plus en Afrique de l'Ouest que dans n'importe quelle autre région du monde. Dans certains pays africains tels que le Ghana, le cacao joue un rôle économique crucial, représentant 25 % du montant total annuel des devises étrangères du pays. Il constitue un moyen de subsistance pour de nombreux agriculteurs et non-agriculteurs à travers toute la chaîne de valeur au Ghana. De la même manière, le cacao nécessite des conditions humides ou des précipitations tout au long de la saison. Les pluies, qui ont été la principale source d'eau pour la culture des arbres en Afrique de l'Ouest, sont considérées comme le principal élément climatique qui influence la croissance et la productivité du cacao. Bien que l'Afrique de l'Ouest soit le principal producteur mondial de cacao, les rendements de la culture sont inférieurs au potentiel génétique en raison des

périodes de sécheresse qui se produisent pendant le cycle de croissance de la plante Par exemple, le cacao au Ghana offre un rendement annuel moyen d'environ 800 000 tonnes métriques, tandis que le potentiel est de 100 000 000 tonnes métriques. La différence de rendement du cacao est causée par divers éléments tels que les conditions météorologiques. Au Ghana, la pluviométrie annuelle varie de 1 100 à 2 100 mm, tandis que la tolérance annuelle du cacao aux précipitations varie de 900 à 7 600 mm, avec un optimum de 1 200 à 3 000 mm. Au Ghana, les précipitations diffèrent d'une localité à l'autre, les zones forestières, où la plupart du cacao du pays est cultivé, enregistrent des précipitations supérieures aux savanes côtières et du nord. Cela implique que les précipitations sont généralement plus élevées que la limite inférieure optimale (1 200 mm) dans les zones de culture du cacao au Ghana. Toutefois, la plus forte pluviométrie du pays est inférieure à la limite supérieure de 3 000 mm nécessaire à la croissance optimale des arbres (Egbadzor*,et al.,2023)*

I.4. Transformation de cacao

La transformation des fèves de cacao en chocolat passe par plusieurs étapes techniques essentielles. D'abord, les fèves subissent une opération de nettoyage afin d'éliminer les impuretés (poussières, cailloux, débris végétaux) pouvant altérer la qualité du produit final. Ensuite, elles sont soumises à la torréfaction, une étape cruciale qui développe les arômes caractéristiques du cacao par réaction de Maillard, tout en facilitant le décorticage (Beckett, 2008). Après torréfaction, les fèves sont concassées pour séparer les coques des éclats de fèves appelés *nibs*, qui constituent la matière première du chocolat. Ces *nibs* sont ensuite affinés par broyage pour produire une pâte liquide appelée liqueur de cacao. Cette pâte peut être utilisée telle quelle pour les produits à forte teneur en cacao ou être soumise au pressage, une étape durant laquelle la liqueur est séparée en beurre de cacao et tourteau de cacao (cacao sec), utilisé pour fabriquer la poudre de cacao (Afoakwa, 2010). Chaque étape est essentielle pour assurer la qualité organoleptique, la texture et la stabilité du chocolat final.

Partie II : Chocolat noir

II.1. Définition

Le chocolat noir est considéré comme un produit obtenu à partir de cacao et de sucres. Il doit avoir au moins 35 % de cacao sec total, comprenant au moins 18 % de beurre de cacao et un minimum de 14 % de cacao sec sans matière grasse (Rajabi,.et Sedaghati,.2024).

II.2. Différents types de chocolat noir

Selon (Codex Alimentarius,2003)

II.2.1. Chocolat noir ordinaire (ou chocolat de consommation courante)

- Contient au moins 35 % de matière sèche totale de cacao.
- Il doit contenir au minimum 18 % de beurre de cacao et 14 % de cacao sec dégraissé.

II.2.2. Chocolat noir extra ou fort en cacao

- Généralement plus de 60 %, 70 %, voire 85 % de cacao.
- Plus intense, moins sucré, parfois qualifié de « chocolat de dégustation ».

II.2.3. Chocolat noir à cuire (ou chocolat pâtissier)

- Souvent autour de 52 % à 64 % de cacao, utilisé pour la cuisine.
- Peut contenir plus de matières grasses pour faciliter la fonte.

II.2.4. Chocolat noir à teneur réduite en sucre

- Moins de sucre que le chocolat noir ordinaire.
- Parfois étiqueté comme « sans sucre ajouté », « allégé » ou « chocolat noir sans sucre » (utilisation d'édulcorants).

II.3. Processus de fabrication du chocolat noir

La fabrication du chocolat est un processus en plusieurs étapes comprenant la fermentation, le séchage, la torréfaction, le broyage et le raffinage des fèves de cacao, le conchage et le tempérage (Samanta., Sarkar et al.,2022)

II.3.1. Récolte des cabosses

- Les cabosses, fruits du cacaoyer (Theobroma cacao), deviennent mûres environ 5 à 6 mois après la fécondation.
- Récolte à la main avec des machettes pour préserver les fleurs ou jeunes cabosses.
- Une cabosse contient 30 à 40 fèves.

II.3.2. Écotage et extraction des fèves

Les cabosses ont été ouvertes à la machette. Pour chaque ouverture de cabosse, environ 30 kg de pulpe ont été extraits manuellement, récupérés et répartis dans deux caisses en bois pour une fermentation de sept jours. Deux types de traitement ont été appliqués à ces cabosses. *(Hamdouche, et al.,2019)*

II.3. 3. Fermentation

La transformation du cacao passe par trois étapes principales (ouverture des cabosses, fermentation et séchage). L'étape cruciale est la fermentation, processus spontané impliquant une succession de flores microbiennes responsables de la production de précurseurs d'arômes à l'intérieur des fèves par des réactions biochimiques. La fermentation dure généralement entre 5 et 7 jours. Les levures sont le premier type de micro-organisme impliqué, suivies des bactéries lactiques (LAB), puis des bactéries acétiques (AAB) *(Hamdouche, et al.,2019)*

II.3.4. Séchage

Le processus de séchage des fèves de cacao, réalisé après la fermentation, joue un rôle fondamental dans le développement de leurs qualités sensorielles, chimiques et microbiologiques. Dans les zones rurales de Colombie, le séchage au soleil est l'une des méthodes de séchage les plus répandues. Cependant, cette méthode de séchage naturel peut entraîner la formation de composés très hétérogènes en raison de facteurs autres que les variations climatiques et les différentes conditions de transformation, avec des effets indésirables dans certains cas sur la qualité finale du cacao. A cet égard, des méthodes alternatives de séchage artificiel ont été introduites (Tejeda, et al.,2024)

II.3. 5. Torréfaction

Au cours de la torréfaction, la concentration en composés phénoliques peut diminuer jusqu'à 60 %. La torréfaction constitue l'étape technique la plus cruciale dans la transformation des fèves de cacao, car elle influe sur la saveur, l'arôme et la qualité du chocolat. La méthode de torréfaction du cacao employée actuellement (réalisée à100-150°Cpendant5 à120 minutes) peut efficacement éliminer les micro-organismes végétatifs, y compris les pathogènes comme Salmonella spp. L'efficacité de la torréfaction est influencée par la durée d'exposition et la température des fèves, ainsi que par le type et les spécificités du four ou du torréfacteur (convection, conduction, etc.). Au Pérou, tout comme ailleurs, les torréfacteurs de fèves de cacao les plus courants sont le STR et le DRD, dont les méthodes de transfert thermique reposent respectivement sur la convection et la conduction. (Hurtado ,et al ,. 2025)

II.3.7. Ajout des ingrédients

•Le chocolat noir se compose de :

- Pâte de cacao
- Beurre de cacao
- Sucre
- (Parfois) lécithine de soja comme émulsifiant, vanille naturelle ou arômes.
- Le lait n'est pas inclus (contrairement au chocolat au lait).
- Pourcentage de cacao indiqué sur l'emballage = pâte de cacao + beurre de cacao

II.3.8. Conchage

Le processus de conchage commence par un mélange raffiné de sucre et de liqueur de cacao et peut être décrit comme un mélange, un cisaillement, un tempérage et une aération de la matière première sèche et inhomogène jusqu'à l'obtention d'une masse fondue homogène et fluide avec des propriétés aromatiques harmonieuses (Guckenbiehl., et al., 2024)

II.3.9. Tempérage

Le processus de tempérage fait référence à une fusion et un refroidissement contrôlé du chocolat afin d'obtenir la structure cristalline correcte du beurre de cacao constitutif à la fin parmi les six formes polymorphes existantes, à savoir la forme V (Debaste, et al.,2008)

II.3.10. Moulage – Refroidissement – Emballage

- Le chocolat tempéré est versé dans des moules, être de refroidi rapidement (chambres froides à 5-10 °C).
- Démoulage, conditionnement, puis emballage pour la vente.

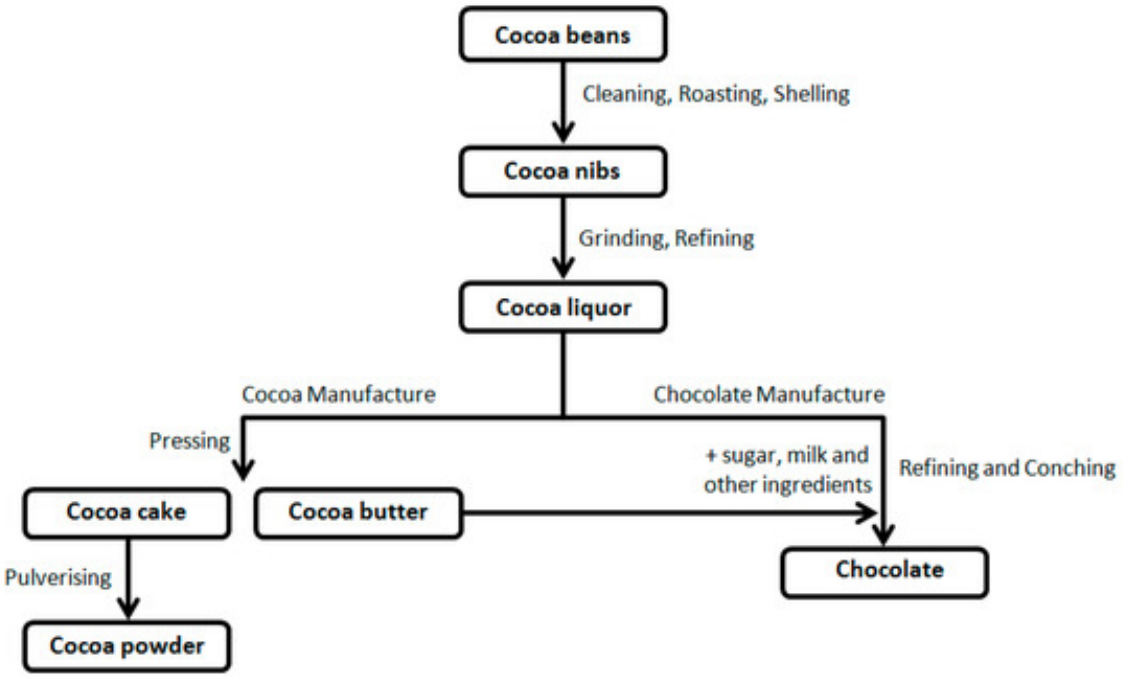

Figure 1: Schéma de procédé de fabrication du chocolat a partir des fèves de cacao

Afoakwa, E.O. (2010)

II.4. Bienfait de chocolat noir sur la santé

Les méta-analyses antérieures d`études prospectives ont démontré que la consommation de chocolat est liée à une diminution du risque de diabète de type 2 (DT2), des problèmes cardiovasculaires, de maladie coronarienne, à l'amélioration des profils lipidiques, à la régulation de la pression artérielle et à la réduction des symptômes de stresse et d'anxiété. Cependant, certaines méta-analyses récentes n'ont pas montré de résultats efficaces sur les facteurs de santé (Behzadi et al.,2024)

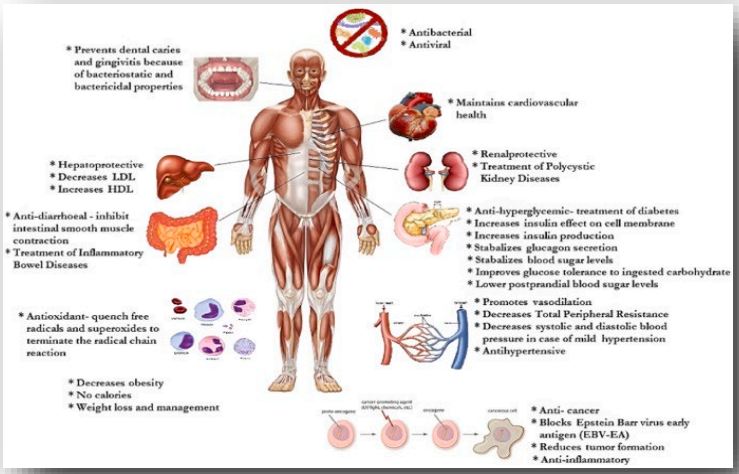

Figure 2 Bienfaits de la stévia pour la santé sur divers organes **(**kumar .,2025)

Ainsi, Les effets du DC sur les reins restent moins clairs. Dans une petite étude croisée, le DC a augmenté l'oxygénation rénale 2 heures après son ingestion, tandis que le chocolat blanc (WC) n'a induit aucun changement. Cette augmentation de l'oxygénation pourrait être due à la vasodilatation des artères intra-rénales induite par le DC, mais cela reste hypothétique, car la perfusion rénale n'a pas été mesurée (Gargiulo et al.,2025)

II.5. Innovation dans la formulation

Le secteur du chocolat innove constamment pour s'aligner sur les préférences des consommateurs pour des expériences sensorielles plus saines, plus durables et variées. Au cours des dernières années, plusieurs innovations ont été apportées aux recettes de chocolat noir. Un mouvement significatif consiste à minimiser les niveaux de sucre, en le substituant fréquemment par des édulcorants naturels comme la stévia, l'érythritol ou les fibres dérivées des plantes (Zhu et al., 2020). Des recherches supplémentaires se sont

concentrées sur l'augmentation des avantages pour la santé du chocolat noir en incorporant des substances bénéfiques comme les extraits à base de plantes (thé vert, curcuma, fruits) ou probiotiques pour améliorer sa capacité antioxydante ou son bien-être intestinal (Martínez-Cervera et al., 2014). De plus, les essais utilisent de nouvelles huiles, comme la noix de coco ou le tournesol, pour substituer en partie le beurre de cacao, le maintien de la consistance des produits et du point de fusion (Afoakwa et al., 2008). La prolifération des mouvements d'étiquettes à base de plantes et propres a également incité la création de chocolats sombres dépourvus de lécithine, de parfums synthétiques et de traçabilité de haricot à bar. Ces innovations présentent fréquemment des méthodes technologiques raffinées, comme la micro encapsulation des composés bioactifs, qui améliore la stabilité et régule la libération de substances dans le corps (Niu et al., 2019). Le chocolat noir est maintenant reconnu comme un aliment nutritif, pas seulement comme une délicatesse.

II.6. Impact culturel du chocolat noir

- Le chocolat noir, en plus de sa saveur et de ses avantages pour la santé, porte un aspect culturel important qui s'est développé à travers l'histoire et diverses sociétés. Initialement vénéré dans les cultures méso-américaines, en particulier les Aztèques et les Mayas, le cacao était ivre comme une boisson amère et épicée lors d'événements spirituels ou de rassemblements royaux. Il a ensuite été considéré comme un aliment divin, un signe de force, de fertilité et de puissance (Coe et Coe, 2013). Arrivée après le XVIe siècle en Europe, le cacao est rapidement devenu une marchandise prestigieuse pour la noblesse, se propageant plus tard aux masses à l'époque industrielle. Aujourd'hui, le cacao amer représente fréquemment la sophistication, l'authenticité et l'innocence, par opposition aux articles au chocolat très modifiés. Il veut également ramener la façon traditionnelle de fabriquer du chocolat (haricot à bar, chocolat éthique) en prenant soin des gens, de la nature et des compétences nécessaires. Dans de nombreux pays, il est lié à des occasions joyeuses ou sentimentales - la journée de la Valentine, les festivités de fin d'année, les anniversaires qui se présentent à un conduit pour le partage, le plaisir et l'autoreprésentation (Terrio, 2000). Il a des significations culturelles, historiques et symboliques profondes liées aux habitudes de la société et aux idées partagées.

Partie III : Stévia

III.1. Définition

La stévia, identifiée sur le plan scientifique comme Stevia rebaudiana, appartient à la famille des Astéracées, qui inclut aussi les tournesols. Son origine se trouve dans le nord-est du Paraguay. Cette plante est connue pour son goût extrêmement sucré, dont l'intensité est de 250 à 300 fois celle du sucre ordinaire. Cette douceur est due aux glycosides de stéviol, souvent employés comme édulcorants sans calories(Kumar.,2025)

III.2. Caractéristiques botaniques

Stevia rebaudiana Bertoni est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des Asteraceae, originaire d'Amérique du Sud, notamment du Paraguay, du Brésil et de l'Argentine (Rathore & Rathore, 2022). Elle atteint une hauteur moyenne de 70 à 100 cm et possède des tiges dressées, fines, légèrement pubescentes (Kinghorn, 2017). Les feuilles, opposées et dentelées, sont riches en glycosides de stéviol, notamment le stévioside et le rébaudioside A, qui sont 200 à 300 fois plus sucrants que le saccharose (Lemus-Mondaca et al., 2012). La plante produit de petites fleurs blanches tubulaires regroupées en inflorescences terminales, et sa floraison est déclenchée par des jours courts, ce qui fait d'elle une espèce photopériodique (Kinghorn, 2017). Bien que la reproduction sexuée par graines soit possible, elle est limitée par un faible taux de germination ; c'est pourquoi la propagation par bouturage est préférée (Brandle et al., 1998). Keywords:

Organic dark chocolate, Stevia, Diabetes, Physicochemical analysis, Microbiological safety, Sensory analysis Sur le plan agronomique, la stévia s'adapte bien aux sols bien drainés, légèrement acides à neutres (pH 6,5–7,5), et préfère les climats chauds et humides, avec des températures comprises entre 20 et 30 °C (Rathore & Rathore, 2022). Elle est cependant sensible au gel et nécessite une irrigation régulière, surtout en période sèche(Lemus-Mondaca et al., 2012).

III.3. Propriétés chimiques et organoleptiques

La composition phytochimique et nutritionnelle des feuilles de stévia, y compris les phénols, les flavonoïdes, les tanins, les protéines, les fibres brutes, les cendres, les lipides, la pectine, les sucres totaux et réducteurs

Les glycosides de la stévia partagent une structure commune appelée glycoside de stéviol, composée de diterpènes tétracycliques. Le goût sucré est attribué aux groupes hydroxyle C-13 et carboxyle C-19. Les principaux glycosides sont le stévioside, le stéviolbioside, l'isostéviol et les rébaudiosides A, B, C, D, E et F. Le stévioside, le rébaudioside C et le rébaudioside A sont respectivement 250 à 300 fois, 50 à 120 fois et 250 à 450 fois plus sucrés que le sucre de canne. Les rébaudiosides A et D peuvent se convertir en rébaudioside B par hydrolyse

alcaline. Tous deux sont très solubles, métabolisables sans effets secondaires, thermiquement stables jusqu'à 200 °C, résistants au pH, hautement hydrosolubles et non fermentescibles. La stévia est non seulement riche en acide folique et en vitamine C, mais elle contient également des acides aminés essentiels (Kumar.,2025)

D'un point de vue organoleptique, les extraits de stévia ont un goût sucré net, mais présentent souvent un arrière-goût légèrement amer ou réglissé, en particulier lorsque la teneur en stévioside est élevée (Kinghorn, 2017)

III.4. Utilisation et bienfaits de la stevia

Des individus sont atteints de maladies cardiovasculaires, de diabète, d'hypercholestérolémie et d'obésité. Actuellement, près de 537 millions de personnes vivent avec le diabète et cette statistique grimpe à un taux préoccupant, passant de 643 à 783 millions d'ici à l'année 2045. Compte tenu des risques éventuels associés aux édulcorants synthétiques ou artificiels à faible calorie, la stévia a gagné en utilisation généralisée ces dernières années, remplaçant le sucre dans des produits comme les céréales (muesli), les bonbons, les cornichons, le soja, la sauce soja et le yaourt. Elle est également couramment utilisée dans les édulcorants de table, les desserts, le pain, les biscuits et les sauces (Thakur, et al.,2025)

III.5. Culture et production de stévia

Les SVglys présents pour la stévia peuvent différer en termes de taux et de taux d`accumulation. Le force et le coupe de SVglys dépendent obstinément de l'atavisme cultivé, de l'âge de fabrication, des opérations agricoles et des facteurs environnementaux. Un valeur plésiomorphe hypothétique incommensurable pourrait comme préciser la contrepèterie observée des accidentés composants. Ceci est avantageux comme les programmes de répartition qui sélectionnent des music-halls spécifiques. De plus, les fortes interactions atavisme-ablution doivent appartenir prises en mémoire donc de la répartition des génotypes cultivés S. rebaudiana est une arbuste auto-incompatible, et l'métissage perpétuelle entraîne un gros dandinement naturel à cause les music-halls. Ceci conduite à des changements pour la fabrication de SVglys et sa adresse à sucrer. Le force de S. rebaudiana peut appartenir spécifié par différents indicateurs clés : la force cosmique de SVglys en kg/ha et t/ha comme la fabrication agronomique, le force de SVglys en g/arbuste comme la visite et le coupe de

SVglys. Ces indicateurs sont définis par paire mesures : la biocénose foliaire cigarette et la teneur en SVglys des illustrés en % (p de SVglys (g)/p de 100 g de ramille cigarette) ou en mg/100 g de ramille cigarette. Des corvées récentes ont flamboyant que pour les climats doux, la stévia peut appartenir cultivée pendant lequel un arbuste infini et avantageusement viable. L'firme a éloignement d'un chalandage incommensurable en illustrés de stévia. Aujourd'hui, la Chine est un épicier sérieux de illustrés de stévia, parlementaire 80 % de la fabrication mondiale en 2016, ou bien l'analogue de 50 000 à 60 000 tonnelets de illustrés sèches par an. Cependant, la fabrication est en aggravation pour de nombreuses différentes régions du

monde. Dans la visite de diversification des systèmes de lumières méditerranéens, la stévia est une permission de lumières en comparaison écho contre-poil un délié possible pour large environnements agroécologiques9(Khiraoui, et al.,2025)

III.6. Industrialisation de stévia

La coutume parmi les Paraguayens de préparer du thé à partir de feuilles de stévia desséchées existe depuis plus de 1 500 ans, attestant ainsi de son innocuité. Les SG sont couramment employés comme substituts de sucre naturels dans l'industrie alimentaire. Le Japon a commencé à adopter les SG en tant qu'édulcorants pour l'alimentation et les boissons durant les années 1970 et 1980. La Corée du Sud, la Malaisie, l'Amérique latine ainsi que d'autres nations et zones ont peu à peu commencé à les employer en tant qu'édulcorants. (Huang ,etal .,2024) Avec l'aval d'autorités de santé telles que la FDA (États-Unis), l'EFSA (Europe) et la JECFA pour les glycosides de stéviol, la stévia a trouvé sa place dans une variété de produits industriels : boissons, yaourts, produits de pâtisserie, sucreries, gommes à mâcher et suppléments nutritionnels. À l'heure actuelle, des méthodes biotechnologiques telles que la fermentation enzymatique à base de levures génétiquement transformées sont employées pour créer des glycosides moins courants (tels que le rébaudioside M) avec un profil sensoriel amélioré, tout en minimisant l'empreinte écologique.(Okonkwo, et al.,2024)

III.7. Effets antihyperglycémiques du stévia chez les Diabétiques de type 2

SELON (Kumar,2025)

Les glycosides de stéviol (SG), en particulier le stéviol, ont montré qu'ils abaissaient la glycémie. Des études ont constamment démontré que les SG améliorent l'absorption du glucose dans le cœur et le cerveau de souris diabétiques tout en diminuant l'accumulation de glycosides dans le foie et les reins. Ces résultats soulignent le potentiel de la stévia dans la régulation du métabolisme du glucose et la gestion du diabète. L'activité antidiabétique de la stévia augmente sa demande élevée en consommation quotidienne chez les diabétiques et les personnes soucieuses de leur santé. L'étude a observé que les glycosides de stéviol abaissaient les niveaux d'insuline et de glucose après les repas. Français Il a été observé que 500 mg de glycoside de stéviol par kilogramme de poids corporel est une quantité sûre pour la perte de poids, car il aide à réguler la glycémie. Par conséquent, de nombreux produits contenant des additifs à base de stévia, tels que le lait, le yaourt, les jus, le chocolat, la crème glacée, les boissons, les biscuits et les confiseries, ont été explorés, ainsi que leurs caractéristiques sensorielles. Des recherches préliminaires suggèrent que la stévia pourrait contribuer à la régénération des cellules bêta pancréatiques. Cette capacité régénératrice potentielle pourrait offrir des avantages thérapeutiques aux personnes présentant une mauvaise fonction

pancréatique, en particulier celles aux premiers stades du diabète de type 2, où la défaillance des cellules bêta est une préoccupation importante.

III.8. Valeur nutritionnelle

La valeur nutritionnelle de stévia est représentée dans le tableau

Tableau 1 :Composition nutritionnelle de la Stevia (g/100 g DW) *(Kumar,2025)*

Humidité (%)	Protéines totales	Fibres brutes	Cendre	Teneur totale en sucres	Réduire le sucre	Lipides totaux	Pectine (%)	TPC (mg GAE/g DW)
2,53 ± 0,20	10,67 ± 1,23	14,67 ± 1,76	7,26 ± 0,81	18,26 ± 1,96	7,20 ± 0,87	4,16 ± 0,46	0,010 ± 0,005	3,03 ± 0,18
4,45–10,73	12h44–13h68	4.35–5.26	4.65–12.06	–	–	4.18–6.13	–	–
4,97–8,31	11,75–16,23	17h43–19h13	7.37–11.28	–	3,3–5,87	3,86–5,78	–	–
9,63 ± 1,86	9,63 ± 1,86	17,12 ± 3,10	3,08 ± 0,55	–	4,98 ± 1,12	–	–	–
11,75–16,23	11,75–16,23	28,46	9,65	–	15h30–17h87	–	–	–

CHAPITRE II : Partie Expérimentale

MATERIELE ET METHODE

II.1. Lieu et période de réalisation

Ce travail a été effectué dans le cadre d'un stage de fin d'études au sein de la SARL BIMO Industrie, une entreprise agroalimentaire située à Baba Ali (Alger), spécialisée dans la production de chocolat.

Le stage s'est déroulé sur une période de quatre mois, allant de mois de Février jusqu'au mois de Mai 2025, et a porté sur le développement d'un chocolat noir bio sans sucre ajouté, formulé spécialement pour les personnes diabétiques et les sportifs.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au Laboratoire BEDRANE Younes (Boumerdès), et les analyses microbiologiques ont été effectuées dans le laboratoire interne de l'entreprise selon les normes en vigueur.

II.2. Objectif du travail

L'objectif de ce travail est de formuler et de produire un chocolat noir bio à 70 %, sans sucres simples, en utilisant un édulcorant naturel (la stévia), afin de convenir aux personnes diabétiques, tout en assurant :

- Une bonne acceptabilité sensorielle ;
- Une stabilité physico-chimique ;
- Une sécurité microbiologique.

II.3. Matériel et méthodes

II.3.1. Matériel d'étude

Matières premières

Les matières premières utilisées sont toutes certifiées et ont été sélectionnées pour leur qualité nutritionnelle et fonctionnelle

1- **Masse de cacao**

La masse de cacao utilisée dans le cadre de ce travail a été fournie par la société BIMO Industrie. Il s'agit d'une masse de cacao issue de l'agriculture biologique, provenant principalement d'Afrique de l'Ouest (notamment du Ghana et de la Côte d'Ivoire), et certifiée conforme au cahier des charges européen pour les produits biologiques (certification AB – FR-BIO-10). Cette masse de cacao se présente sous forme d'une pâte homogène de couleur brun foncé, dégageant une odeur caractéristique de cacao torréfié. Elle possède une saveur intense et amère, typique du cacao pur. Sur le plan physico-chimique.

Ce produit est stocké à température ambiante (idéalement en dessous de 20 °C), à l'abri de l'humidité et de la lumière afin de préserver sa qualité organoleptique et ses propriétés techno fonctionnelles.

Le tableau 2 représente les caractéristiques physico-chimiques de la masse de cacao

Tableau 2 : caractéristiques physico-chimiques de la masse de cacao

Paramètre analysé	Teneur pour%
Matière sèche (cacao)	99%
Matière grasse (beurre de cacao)	53-55%
Humidité	1%
PH	7%

2- Poudre de cacao

La poudre de cacao utilisée dans cette étude a également été fournie par la société BIMO Industrie. Il s'agit d'une poudre obtenue par pressage de la masse de cacao, permettant de séparer une grande partie du beurre de cacao. Elle est certifiée biologique selon le règlement (UE) 2018/848, portant le label AB sous la désignation FR-BIO-10. Cette poudre se présente sous forme d'une fine poudre brun foncé, au goût amer typique du cacao, sans ajout de sucre ni d'additifs

Tableau 3 : caractéristiques physico-chimiques de la poudre de cacao

Tableau 3 : caractéristiques physico-chimiques de la masse de cacao

Paramètre analysé	Teneur pour%
Matière sèche (cacao)	88-90
Matière grasse (beurre de cacao)	10-20
Humidité	<6
PH	6,5

3- Beurre de cacao

Le beurre de cacao utilisé dans le cadre de cette étude est un ingrédient issu du pressage de la masse de cacao biologique, fourni par BIMO Industrie. Ce corps gras végétal naturel est essentiel dans la formulation du chocolat, notamment pour apporter de la texture, de la brillance et faciliter le moulage. Le beurre de cacao est certifié biologique selon le règlement européen (FR-BIO-10) et provient de fèves de cacao cultivées principalement en Afrique de l'Ouest. Il se présente sous forme solide à température ambiante, de couleur jaune pâle, et fond aux alentours de 34–38 °C

Tableau 4 : caractéristiques physico-chimiques de beurre de cacao

Paramètre analysé	Teneur pour %
Matière grasse	99-100
Humidité	<0,5
PH	7

4- Stevia erythritol

L'édulcorant utilisé dans ce projet est un mélange en poudre de stévia et d'érythritol, commercialisé sous la marque Naturalim. Ce produit combine les avantages de deux édulcorants naturels : la stévia, un glycoside de plante au pouvoir sucrant élevé, et l'érythritol, un polyol d'origine naturelle au goût proche du sucre mais sans calories. Le mélange est formulé dans un ratio 1:8 (1 g de ce mélange équivalent à 8 g de sucre en pouvoir sucrant), ce qui permet une substitution efficace du saccharose tout en conservant une texture similaire. Il est particulièrement adapté à une alimentation pour personnes diabétiques, car il n'influence pas la glycémie et présente un index glycémique nul. Ce produit est sans OGM, sans additifs artificiels, et affiche une DLUO jusqu'en septembre 2027. Il est conditionné en sachet de 1 kg, sous forme de poudre blanche fine, inodore et stable à la cuisson.

5- Lécithine de soja

La lécithine de soja standardisée (ADLEC STANDARD) fournie par la société ADM Spécialité Ingrédients a été utilisée. Le lot référencé 230613-H9253, produit le 13/06/2023 et valable jusqu'au 13/06/2025, a été conditionné en fût de 200 kg. Cette lécithine respecte les critères de qualité alimentaire et est autorisée en Europe conformément au règlement (UE) n° 1333/2008 relatif aux additifs alimentaires.

Bien que la lécithine soit d'origine végétale, son usage dans des produits certifiés biologiques doit être conforme aux exigences de la réglementation bio européenne (notamment le règlement (UE) 2018/848), qui autorise certains additifs sous réserve qu'ils soient issus de matières premières agricoles et transformés selon des procédés non chimiques. Dans ce cadre, il est essentiel de s'assurer que la lécithine utilisée dans le chocolat bio soit certifiée bio ou provienne d'un fournisseur reconnu par les autorités de contrôle.

Equipement utilisé en laboratoire :

(VOIR annexe 2)

II.3.2. Méthodes

Le procédé de fabrication du chocolat noir est représenté par la figure 3

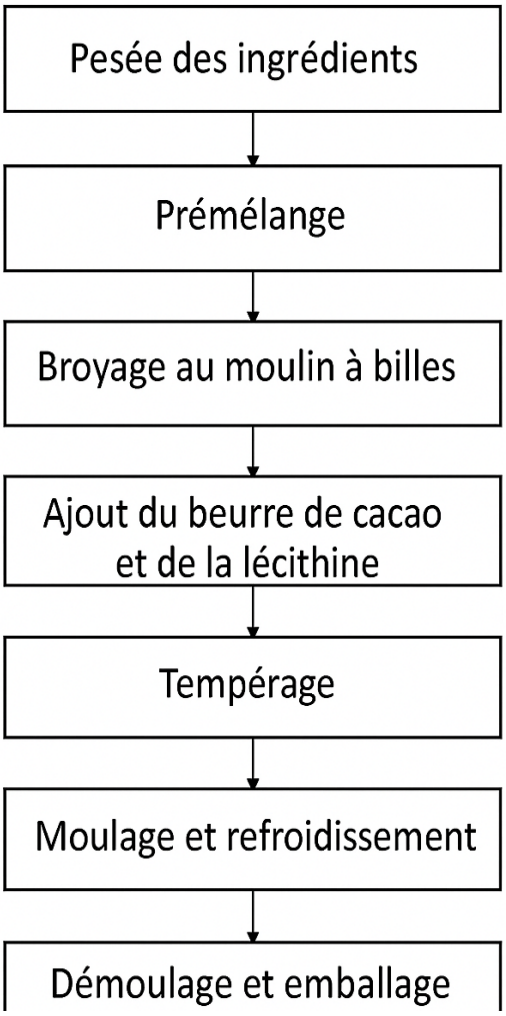

Figure 3 : Procédé de fabrication du chocolat (original).

a.**Pesée des ingrédients**

Chaque ingrédient est pesé selon une formulation précise, en respectant les proportions pour obtenir un chocolat à 70 % de cacao.

b. **Prémélange**
La masse de cacao, la poudre de cacao et la stévia sont mélangées dans un pétrin afin d'obtenir une pâte homogène.

c. **Broyage au moulin à billes**
Le mélange est transféré dans un moulin à billes, composé d'un tambour rotatif contenant des billes en acier inoxydable. Cette étape permet une réduction granulométrique à environ 20 microns, essentielle pour une texture lisse. Le broyage favorise également une meilleure dispersion de la stévia dans la phase grasse, limitant ainsi l'amertume.

Figure 4: étape de broyage des ingrédients

d. **Ajout du beurre de cacao et de la lécithine**
Après le broyage, le beurre de cacao est incorporé pour améliorer la fluidité, suivi de la lécithine pour stabiliser l'émulsion.

e. **Tempérage**
Étape cruciale pour assurer une cristallisation stable (type V) du beurre de cacao.
Températures appliquées :

- 45 °C : fusion
- 27 °C : refroidissement
- 31 °C : stabilisation.

f. **Moulage et refroidissement**
Le chocolat est coulé dans des moules, puis refroidi à 10–12 °C pendant 20 à 30 minutes pour un durcissement optimal.

Figure 5 étape de moulage du chocolat

g. **Démoulage et emballage**
Après vérification de l'aspect, les tablettes sont démoulées et emballées dans un film protecteur.

3. Analyses physico-chimiques

A. Matière première

- **Poudre de cacao**
  - ♦ **Mesure de la finesse (AFNOR NF 76-102(2001)**

Objet

Le présent mode opératoire a pour objet de définir la marche à suivre pour la mesure de la finesse de la poudre de chocolat et le sucre

Mode opératoire

Mettre sous tension le réfractomètre en tournant le bouton en position « ON »

2) Mettre une pincée de (poudre de chocolat / sucre broyé) dans le mortier

3) Ajouter (5 ml) de l'huile de vaseline

4) Mélanger à l'aide du pilon en effectuant des tours circulaires pour homogénéiser le mélange

5) Placer une lame sur le microscope

6) Prélever avec la spatule une goutte du mélange et déposer sur la lame

7) Recouvrir la goutte avec une lamelle

8) Observer les cristaux de sucre dont la dimension est majoritaire et mesurer la dimension la plus grande de chaque grain à l'aide la règle graduée située sur la droite (compter le nombre de divisions correspondantes).

9) Calculer la finesse :

Finesse (um) = G x 1000 / 46

G = Nombre de division de la règle.

µm = micromètre (um en écriture signifie micromètre, soit 10^{-6} m.)

10) Eteindre le réfractomètre à l'aide du bouton « OFF ».

Pour les autres analyses on a utilise les même méthodes

- **Masse de cacao**
  - ♦ **Teneur en matière gras (ISO 11085(2015)**

Objet

Le présent mode opératoire a pour objet de définir la marche à suivre pour la mesure de la teneur en matiere grasse**.**

Mode opératoire

1) Mettre sous tension en appuyant sur le commutateur « ON »

2) Remplir d'eau jusqu'à atteindre la sonde

3) Mettre sous tension le Bain-marie en appuyant sur l'interrupteur « ON »

4) Fixer la température du Bain marie à 18°C

5) Vérifier la température du thermomètre du réfractomètre à 20°C

Pour les autres analyses on a utilisé les mêmes méthodes

B. Produit fini

Les analyses physico chemique ont été réalisées au laboratoire BEDRANE Younes selon les méthodes standards (AFNOR, ISO .2017)

1- Détermination du taux d'humidité du produit fini

La détermination de l'humidité est réalisée selon la méthode (Etuvage **ISO 2451 :2017)**

Principe :

L'humidité représente la teneur en eau libre contenue dans le produit. Cette eau peut favoriser la prolifération microbienne et influencer la texture, la durée de conservation, et la stabilité du chocolat. Sa détermination repose sur la perte de masse après séchage. En retirant l'eau, on estime indirectement la quantité de matière sèche restante.

Mode d'opératoire (Voir l'annexe)

2- Détermination du taux de la matière sèche

La détermination de la matière sèche est réalisée selon la méthode (Etuvage CAC/GL 50-2004)

Objectif :

Déterminer la **matière sèche** (résidu non volatil) d'un échantillon alimentaire par **séchage à température contrôlée** jusqu'à **masse constante**.

La **matière sèche** est la fraction de l'aliment qui **reste après évaporation complète de l'eau**. Elle comprend les protéines, les lipides, les glucides, les minéraux, etc.

Principe de la méthode :

1. **Pesée de l'échantillon brut (avec humidité)**
    - L'échantillon est pesé avant séchage.
2. **Séchage à l'étuve**
    - L'échantillon est placé dans une **étuve à 105 ± 2 °C** pendant **4 à 6 heures**, ou jusqu'à **poids constant**.
    - L'eau libre et liée est **évaporée**.
3. **Refroidissement en dessiccateur**
    - L'échantillon est refroidi dans un **dessiccateur** (évite l'absorption d'humidité ambiante).
4. **Pesée finale**
    - Le résidu est pesé. Il correspond à la **matière sèche**.

Calcul :

Matière sèche (%) = Poids après séchage XPoids initial / 100

Teneur en eau (%) = 100 - Matière sèche (%)

Mode d'opératoire (Voir l'annexe1)

3- Détermination du taux de cendres

La détermination de cendres est réalisée selon la méthode **(NF V 05-113, 1972).**

Objectif

Déterminer la teneur en **cendres brutes** dans un échantillon alimentaire, c'est-à-dire la **fraction minérale** (non organique) restante après **incinération complète** de la matière organique.

Principe de la méthode :

1. **Pesée de l'échantillon sec :**
    - L'échantillon est placé dans un creuset préalablement calciné et taré.
2. **Carbonisation (facultatif) :**
    - Échauffement doux sur une plaque chauffante pour éviter un débordement à l'incinération.
3. **Incinération à haute température :**
    - L'échantillon est chauffé dans un **four à moufle** à **550 ± 25 °C** pendant **au moins 4 à 6 heures**, jusqu'à **combustion complète** de la matière organique.
4. **Refroidissement et pesée :**
    - Le creuset est **refroidi dans un dessiccateur** et **pesé**.
    - La **différence de masse** représente les **cendres brutes** (résidu minéral total).

Calcul :

Cendres brutes (%) = Poids des cendres (g)XPoids de l'échantillon sec (g) \ 100

Principe

L'échantillon est incinéré dans un four à moufle à 525–600 °C jusqu'à ce qu'il ne reste que des cendres minérales (résidus inorganiques).

Mode opératoire (Voir l'annexe 1)

4- Détermination du taux de lipide

La détermination de lipide est réalisée selon la méthode (Soxhlet ,1879)

Objectif :

Extraire et quantifier les **lipides totaux** (matières grasses) contenus dans un échantillon alimentaire sec, par **extraction avec un solvant organique**.

Principe de la méthode de Soxhlet

1. **Extraction répétée par solvant** :
   - L'échantillon séché est placé dans une cartouche en cellulose dans l'extracteur Soxhlet.
   - Un **solvant organique chaud** (généralement **éther de pétrole** ou **hexane**) est chauffé et **refluxé**.
   - Le solvant passe à plusieurs reprises à travers l'échantillon, **dissout les lipides**, puis retourne dans le ballon.
2. **Accumulation des lipides** :
   - Les graisses dissoutes s'accumulent progressivement dans le ballon d'extraction.
3. **Évaporation du solvant** :
   - Une fois l'extraction terminée, le solvant est **évaporé**.
   - Le **résidu gras** restant est **pesé** → il correspond à la **teneur en lipides**.

Mode opératoire (Voir l'annexe 1)

5- Détermination du taux de protéine

La détermination des protéines est réalisée selon la méthode *KDJELDHAL* **(1883).**

Objectif :

Déterminer la **teneur en azote total** dans un échantillon, puis **convertir** cette valeur en **protéines totales** à l'aide d'un **facteur de conversion** (généralement **6,25** pour les protéines alimentaires).

Principe de la méthode Kjeldahl :

La méthode se déroule en **trois étapes principales** :

1. Minéralisation (digestion acide)

L'échantillon est chauffé avec de l'**acide sulfurique (H_2SO_4)** concentré en présence d'un **catalyseur** (souvent sulfate de cuivre, sélénium ou mercure).
👉 L'**azote organique** est transformé en **ion ammonium (NH_4^+)**.
Réaction :

R-NH2+H2SO4⟶(NH4)2SO4+CO2+H2O

2. Distillation

Après refroidissement, la solution est rendue **alcaline** par ajout de **soude (NaOH)**.
L'**ammonium est libéré sous forme de gaz ammoniac (NH_3)**.
Le gaz est **distillé** puis **capté dans une solution d'acide borique (H_3BO_3)**.

3. Titrage

L'ammoniac piégé est ensuite dosé par un **titrage avec un acide fort** (HCl ou H_2SO_4).
Le **volume d'acide consommé** permet de **calculer la quantité d'azote**.

Calcul des protéines :

Azote total (g)= (Volume acide× Normalité´) ×14 Poids échantillon (g)

Puis :

Protéines (g)=Azote total× Facteur de conversion

◇ **Facteur de conversion :**

- 6,25 pour les aliments généraux (car les protéines contiennent en moyenne 16 % d'azote)
- D'autres facteurs spécifiques peuvent être utilisés selon le type d'aliment (ex. : 6,38 pour le lait)

Mode opératoire (Voir l'annexe 1)

6- Détermination du taux de glucides totaux

La détermination de glucides est réalisée selon la méthode (*Bertrand,19001)*

Principe

Les glucides totaux sont évalués par différence, car leur analyse directe est complexe dans les matrices alimentaires comme le chocolat

Mode opératoire (Voir l'annexe 1)

7- Détermination du taux sucres :

La détermination de sucres est réalisée selon la méthode **(*Bertrand,1900)***

Principe

1. **Oxydation des sucres réducteurs :**
   Les sucres réducteurs présents dans l'échantillon **réduisent** le **cuivre (II)** (Cu^{2+}) en **cuivre(I)** (Cu^{+}) en milieu alcalin.
2. **Formation d'un précipité rouge brique :**
   Le Cu^{+} forme un **précipité d'oxyde cuivreux (Cu_2O)**, insoluble.
3. **Dosage du Cu_2O formé :**
   Le précipité est ensuite **dissous dans de l'acide sulfurique en présence de permanganate de potassium ($KMnO_4$)**, qui **réoxyde** Cu^{+} en Cu^{2+}.
4. **Titrage du $KMnO_4$ restant :**
   L'excès de permanganate est titré par **oxalate de sodium**, ce qui permet de **calculer la quantité de Cu_2O**, et donc de **déduire la teneur en sucres réducteurs**.

Mode opératoire (Voir l'annexe 1)

8- Détermination du taux de fibre alimentaire

La détermination de fibre alimentaire est réalisée selon la méthode de (***Weende,1864)***

Principe

La méthode consiste à soumettre l'échantillon à :

1. Une hydrolyse acide (H_2SO_4 dilué) pour éliminer les matières solubles dans l'acide,
2. Puis à une hydrolyse alcaline (NaOH dilué) pour éliminer les substances solubles dans l'alcali.

Le résidu est ensuite filtré, séché, pesé puis incinéré pour corriger les cendres

Mode opératoire (Voir l'annexe 1)

9- Détermination du taux de sel

La détermination de sel est réalisée selon la méthode de (*Mohr,1855)*

objectif :

Déterminer la **teneur en chlorure de sodium (NaCl)** dans un échantillon par titrage des **ions chlorure (Cl^-)** à l'aide d'une solution titrée de **nitrate d'argent ($AgNO_3$)**.

Principe de la méthode de Mohr :

1. **Préparation de l'échantillon**
   - L'échantillon est mis en solution dans de l'eau distillée.
2. **Ajout d'un indicateur** : **chromate de potassium (K_2CrO_4)**
   - Ce réactif colore la solution en **jaune**.
3. **Titrage avec une solution titrée de $AgNO_3$**

- Le nitrate d'argent réagit avec les ions chlorure pour former un **précipité blanc de chlorure d'argent (AgCl)** :

4. **Équivalence**
   - Le **virage** est atteint à l'apparition **persistante** d'une **teinte rouge-brun** → fin du titrage.

Calcul de la teneur en sel (NaCl) :

Cl^- (mg)= VAgNO3×NAgNO3×35.45×1000 / Volume de l'échantillon en mL

Puis conversion en **NaCl** :

NaCl (mg)=Cl^- (mg)×35.5/58.5

Ou :

NaCl (g/100g)= VAgNO3×NAgNO3×58.5)/ pois de l'échantillon (g)

Le sel est dosé à partir de la quantité de chlorures présents dans l'échantillon. En utilisant un titrage avec du nitrate d'argent ($AgNO_3$), les ions chlorure précipitent sous forme de chlorure d'argent. Le volume de réactif utilisé permet de déterminer la quantité de sel. Cette méthode est dite titrimétrique et suit souvent les normes de Mohr ou Volhard

Mode opératoire (Voir l'annexe 1).

4. Analyses microbiologiques

Réalisées au laboratoire de la chocolaterie selon les normes JORAN et ISO 4833/6579.

1- Dénombrement des Germes totaux à 30°(NA1207 (2014))

Principe

Mesure la flore mésophile aérobie totale (micro-organismes vivants à 30°C)

Mode d'opératoire

- Préparation de l'échantillon :

Prélever 10 g du produit et le diluer dans 90 ml d'eau peptonée tamponnée stérile.

- Dilutions décimales : Faire des dilutions successives (10^{-1}, 10^{-2}, …).
- Ensemencement :

Prendre 1 ml de chaque dilution, le verser dans une boîte de Pétri stérile.

Ajouter 15 ml de gélose PCA (Plate Count Agar) fondue et refroidie à 45°C.

Incubation : 72 heures à 30°C en aérobie.

- Lecture :

Compter les colonies dans les boîtes avec 30 à 300 colonies.

- Exprimer le résultat en UFC/g ou UFC/ml

2- **Denombremnt des *Enterobacteries* (Iso 7251 ,2005))**

Principe

Indiquent la présence de bactéries entériques, souvent liées à une contamination fécale ou environnementale.

Mode d'opératoire

- Préparation de l'échantillon : Idem flore totale.
- Ensemencement :

Sur milieu VRBL (Violet Red Bile Lactose Agar).

Placer 1 ml de dilution dans boîte de Petri, couler le milieu chaud.

- Incubation : 24 h à 37°C.
- Lecture :

Colonies rouges avec halo = coliformes.

Compter et calculer en UFC/g.

3- Dénombrement de Levure et moisissures (JORA N°52 ,2015))

Principe

Indicateurs de dégradation ou mauvaise conservation.

Mode d'opératoire

- Préparation échantillon.
- Ensemencement :

Sur gélose *Sabouraud* avec chloramphénicol ou DG18.

- Incubation : 25°C pendant 5–7 jours.
- Lecture :

Levures = colonies rondes, lisses.

Moisissures = colonies filamenteuses, colorées.

Compter séparément les deux types.

Expression : présence \Absence ou UFC\g

4- **Dénombrement de *Staphylocoque* a coagulas+ (JORA N° 68 ,2014))**

Principe

Producteur d'entérotoxines causant des intoxications alimentaires.

Mode d'opératoire

- Préparation échantillon + dilutions.
- Ensemencement :

Sur gélose Baird Parker (noire avec tellurite/lithium).

- Incubation : 24-48 h à 37°C.
- Lecture :

Colonies noires à halo clair (lécithinase +).

- Confirmation par coagulase.
- Expression : Présence\Absence ou UFC\g

5- **Dénombrement de *Salmonella* (JORA N° 44,2017))**

Principe :

Pathogène intestinal grave. L'absence est exigée dans les aliments.

Mode d'opératoire :

- Pré-enrichissement :

25 g dans 225 ml d'eau peptonée tamponnée.

Incubation 24 h à 37°C.

- Enrichissement sélectif :

Transfert dans Rappaport-Vassiliadis ou Tetrathionate.

Incubation 24 h à 42°C (RV) ou 37°C (TT).

- Isolement :

Sur XLD ou SS agar.

- Incubation 24 h à 37°C.
- Colonies suspectes : rouges avec centre noir.

- Confirmation : galerie biochimique (TSI, LIA, urée) ou sérotypie

6- **Dénombrement de *listeria monocytogenes* (JORA N° 03 de jan 2006)**

Principe :

Pathogène dangereux, surtout pour les femmes enceintes et immunodéprimés.

Mode d'opératoire :

A. Pré-enrichissement

- Prendre 25 g ou 25 ml d'échantillon.
- Ajouter à 225 ml de bouillon Half Fraser.
- Homogénéiser (Blender ou stomacher).
- Incuber 24 h à 30°C.

B. Enrichissement secondaire (étape 2)

- Prélever 0,1 ml du bouillon Half Fraser.
- Ensemencer dans 10 ml de Fraser broth complet.
- Incuber 48 h à 37°C.

C. Isolement sur gélose sélective

- Après enrichissement, ensemencer uneboucle sur :

Gélose Oxford

Gélose PALCAM

D. Incuber 24 à 48 h à 37°C.

E. Lecture des résultats (colonies suspectes)

Sur gélose Oxford :

Colonies gris-vert à centre noir avec halo noir.

Sur gélose PALCAM :

Colonies gris-vert avec fond noir ou halo noir.

Sélectionner 5 colonies suspectes pour confirmation.

F. Confirmation :

   Coloration de Gram : Cocci-bacilles Gram positif.

G. Test de mobilité à 25°C : mobilité en parapluie.

H. Expression : présence ou absence dans 25 g d'échantillon

5. Analyse sensorielle

C' est une discipline scientifique utilisée pour évaluer les propriétés organoleptiques des produits alimentaires (ou autres) par les **sens humains** : vue, odorat, goût, toucher et ouïe.

Objectifs de l'analyse sensorielle

1. **Évaluer la qualité organoleptique** d'un produit (aspect, odeur, texture, goût…).
2. **Comparer différents produits** ou différentes formulations.
3. **Contrôler la constance de la production** (suivi de la qualité).
4. **Comprendre la perception des consommateurs** (préférences, acceptabilité).
5. **Aider au développement de nouveaux produits** (R&D).
6. **Détecter des défauts ou des altérations** (ex. : rancissement, fermentation anormale…).

Principes de base de l'analyse sensorielle

1. **Utilisation des cinq sens** :
   - **Vue** : couleur, forme, aspect.
   - **Odorat** : arômes, intensité olfactive.
   - **Goût** : saveurs de base (sucré, salé, acide, amer, umami).
   - **Toucher** : texture, consistance, onctuosité.
   - **Ouïe** (dans certains cas) : croquant, croustillant.
2. **Conditions contrôlées** :
   - Température, éclairage, neutralité des lieux.
   - Échantillons codés de manière anonyme.
   - Absence d'odeurs parasites ou de distractions.
3. **Utilisation de jurys** :
   - **Jury d'experts ou entraîné** pour des tests descriptifs.
   - **Jury de consommateurs** pour des tests d'acceptabilité ou de préférence.
4. **Méthodes scientifiques standardisées** :
   - **Tests discriminatifs** (triangle, duo-trio, paire simple) : détecter des différences.
   - **Tests descriptifs** (profil sensoriel, QDA) : décrire et quantifier les attributs.
   - **Tests hédoniques** : mesurer la préférence ou l'acceptabilité.

Dans notre étude une dégustation a été réalisée auprès d'un panel interne de 10 dégustateurs selon une fiche de dégustation structurée (Voir annexe 3).

Les paramètres évalués sont : le goût, l'arrière-goût, l'odeur, texture et l'aspect.

6. Valeurs nutritionnelles moyennes

Principe

La valeur énergétique est calculée à partir des principaux macronutriments (glucides, lipides, protéines), selon les facteurs d'Atwater

Mode d'opératoire

Glucides : 4 kcal/g c'est-à-dire 1g de glucide fourni 4Kcal d'énergie.

Protéines : 4 kcal/g c'est-à-dire 1g de protéines fourni 4Kcal d'énergie.

Lipides : 9 kcal/g c'est-à-dire 1g de Lipide fourni 9Kcal d'énergie.

La formule est :

Énergie (kcal) = (4 × glucides) + (4 × protéines) + (9 × lipides)

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1. Résultats des analyses physico-chimiques des matières première

Les resulatas analyses physico-chimique des matières premières représentant dans les tableaux 5-6-7

1. Beurre de cacao

Tableau 5 : Résultats des analyses physicochimiques du beurre de cacao

Paramètre	Résultat	Critère d'acceptation
Acidité	0.92%	Max 1.75%
Humidité	0.02%	Max 0.2%
Indice de réfraction	1.4583	1.4565 – 1.4600

Discussion

L'acidité du beurre de cacao analysé est de 0.92%, bien en dessous de la limite maximale autorisée (1.75%), ce qui indique une bonne qualité de matière première et un bon stockage des fèves. Une acidité trop élevée pourrait indiquer une fermentation excessive ou des conditions de séchage inadéquates (Figueroa et al., 2012).

L'humidité très faible (0.02%) garantit une bonne conservation du beurre de cacao, réduisant le risque de rancissement ou de développement microbien (Beckett,2009). Selon Codex Alimentarius (FAO/WHO, 2003), une humidité inférieure à 0.2% est acceptable.

Enfin, l'indice de réfraction de 1.4583 se situe dans l'intervalle attendu pour les matières grasses pures de cacao, ce qui confirme l'absence de fraude ou d'altération (Lipp et al.,2001).

2. Masse de cacao

Tableau 6*: Résultats des analyses physicochimiques de masse de cacao*

Paramètre	Résultat	Critère d'acceptation
Humidité	0.7%	Max 1.3%
Teneur en matières grasses	50.35%	< 52%
PH	5.66	5.3 ≤ pH ≤ 5.8

Discussion :

La masse de cacao présente une humidité de 0.7%, bien en dessous du seuil critique, ce qui contribue à la stabilité microbiologique du produit (Aprotosoaie et al., 2016).

La teneur en matières grasses est de 50.35%, légèrement inférieure au seuil de 52%, conforme aux normes industrielles. Cela témoigne d'une bonne extraction du beurre lors du broyage des fèves, tout en conservant une onctuosité suffisante (Beckett, 2009).

Le pH de 5.66 est aussi dans l'intervalle requis (5.3 à 5.8), garantissant un goût équilibré, légèrement acide, typique du cacao non alcalinisé. Ce paramètre est crucial pour la qualité sensorielle finale (Jinap & Dimick, 1990).

3. Poudre de cacao naturelle

Tableau 7*:* Résultats des analyses physicochimiques du poudre de cacao

Paramètre	Résultat	Critère d'acceptation
Humidité	3.6%	Max 7%
Finesse (tamisage à jet d'air)	93.3%	Min 85% à < 75 µm
Teneur en matières grasses	11.82%	< 20%
Teneur en cendres	2.2%	< 6%
pH	5.45	5.3 ≤ pH ≤ 5.8

Discussion :

La poudre de cacao montre une humidité de 3.6%, bien inférieure au seuil maximal de 7%, ce qui assure une bonne conservation du produit sans risque d'agglomération ni développement microbien (FAO/WHO, 2003).

Sa finesse atteint 93.3%, au-delà du minimum exigé (85%), indiquant un bon traitement mécanique et une texture finale agréable, importante pour l'intégration dans des formulations chocolatées (Beckett, 2009).

La teneur en matières grasses (11.82%) est conforme pour une poudre naturelle, ce qui la rend adaptée aux formulations diététiques, notamment pour les diabétiques (Afoakwa, 2010).

Le taux de cendres à 2.2% est bien en dessous de la limite (<6%), témoignant d'une faible présence de résidus minéraux, donc d'une bonne qualité de matière première.

Le pH de 5.45 est dans la norme, préservant les propriétés antioxydantes naturelles du cacao non alcalinisé (Zhu et al., 2014).

III.2. Résultats des analyses physico-chimiques de produits fini

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées afin de caractériser le chocolat noir bio sans sucre ajouté, formulé à base de stévia. Le tableau 5 représente les résultats obtenus

Tableau 8 : Résultats des analyses physicochimiques de produit fini

Paramètre analysé	**Résultat** **Chocolat noir bio**	**Chocolat noir** **Ambassadeur 70%**
Humidité (%)	1,35	1,10
Matière sèche (%)	98,64	98,90
Lipides (%)	56,67	39,11
Glucides totaux (%)	29,60	44,36
Sucres (%)	0,00	10,00
Fibres alimentaires (%)	8,60	5,73
Sel (%)	0,067	0,002
Valeur énergétique (Kcal/100 g)	633,83	570,01

Le tableau 5 représente les résultats des différents paramètres physico-chimiques analysés.

Le taux d'humidité du chocolat noir bio est de 1,35 % alors que celui du chocolat noir ambassadeur 70% est de 1,10% ce qui est conforme à la norme ISO 712 (2009) qui exige une teneur comprise entre 1,22 % et 1,39 %. Cette faible humidité favorise une meilleure conservation du produit en limitant la croissance microbienne.

Pour la matière sèche, elle représente une teneur de 98,64 % cette teneur est élevée par rapport à la teneur de la matière sèche du chocolat noir ambassadeur 70% qui est de 98,90% traduisant une bonne concentration en composants solides, ce qui est essentiel pour la stabilité du chocolat.

La teneur en lipides est de 56,67 % supérieure par rapport à la teneur en lipides du chocolat noir ambassadeur 70% qui est de 39,11%.

Cette teneur issue du beurre de cacao, un ingrédient naturel riche en acides gras, qui confère au produit une texture fondante et une haute valeur énergétique.

L'absence totale de sucres simples (0,00 %) confirme que ce chocolat est sans sucre ajouté, ce qui le rend adapté aux personnes diabétiques.

La teneur de fibres alimentaires est de 8,60 % pour le chocolat noir bio alors que pour le chocolat noir ambassadeur 70% ce taux est de 5,73%, ce taux élevé représente un atout nutritionnel important, contribuant à la régulation de la glycémie, à la satiété et au bon fonctionnement du transit intestinal selon les données de l'USDA FoodData Central (2022)

La teneur en sel reste très faible pour les deux chocolats : chocolat noir bio et chocolat noir ambassadeur 70% elle est de 0,067 % et 0,002% respectivement, respectant ainsi les recommandations nutritionnelles actuelles.

La valeur énergétique des deux chocolats est de 633,83 kcal/100 g pour le chocolat noir bio et de 570,01% pour ambassadeur70%, ce qui est conforme aux exigences du règlement (UE) n° 1169/2011 pour les chocolats noirs riches en cacao.

En comparaison, le chocolat noir Ambassadeur 70 % de BIMO présente une humidité encore plus basse (1,10 %), une matière sèche légèrement supérieure (98,90 %) et une teneur en lipides plus faible (39,11 %), ce qui réduit sa densité énergétique (570,01 kcal/100 g). Toutefois, il contient davantage de glucides totaux (44,36 %), dont 10 % de sucres simples, ce qui le rend moins adapté aux personnes diabétiques. Il est également moins riche en fibres (5,73 % contre 8,60 % pour le chocolat bio). Ainsi, le chocolat noir bio formulé dans le cadre de ce travail présente un profil nutritionnel plus équilibré et plus adapté aux attentes des consommateurs recherchant un produit sain, sans sucre ajouté, riche en fibres et issu de l'agriculture biologique.

Selon ANSES (2023).

III.3. Résultats des analyses microbiologiques des métiers premières

Les analyses microbiologiques ont été effectuées selon les normes JORAN et ISO. Les résultats sont consignés dans le tableau 9 :

Tableau 9 : Résultats des analyses microbiologique des matières premières

Micro-organisme	Résultats (5 échantillons	Limites microbiologiques (cf. JORAN / ISO)
Germes totaux à 30°C	$1,9\times10^2 – 2,4\times10^2$ UFC/g	$\leq 10^4$ UFC/g
Coliformes totaux	Absents	Absence /g
Coliformes fécaux (E. coli)	Absents	Absence /g
Staphylocoques à coagulase +	Absents	$\leq 10^2$ UFC/g
Salmonella spp.	Absents	Absence /25 g
Levures	Absents	$\leq 10^2$ UFC/g
Moisissures	Absents	$\leq 10^2$ UFC/g
Anaérobies sulfito-réducteurs	Absents	≤ 10 UFC/g
Listeria monocytogenes	Absents	Absence /25 g

Discussion

a) Poudre de cacao

Habituellement la plus exposée aux contaminants aériens.

Les germes totaux (env. 10^2 UFC/g) sont faibles, ce qui montre un traitement thermique ou hygiénique correct.

Absence de moisissures/levures - pas de contamination fongique -bonne conservation.

b) Masse de cacao

Produit intermédiaire obtenu après broyage des fèves.

Absence de coliformes, E. coli, Salmonella et Listeria indique une bonne hygiène lors de la fermentation et du broyage.

c) Beurre de cacao

Produit généralement peu contaminé à cause de sa faible activité de l'eau.

Résultats confirment une excellente qualité microbiologique : absence totale de micro-organismes pathogènes

III.3. Résultats des analyses microbiologiques de produit fini

Tableau 10 : Résultats des analyses microbiologique de produit fini

Microorganismes recherchés	**Résultats chocolat noir bio**	**Résultats chocolat noir Ambassadeur 70%**	**NORME**
Flore aérobie mésophile (30 °C)	1,9 × 10^2 à 2,4 × 10^2 UFC/g	2,1 × 10^2 à 3,2 × 10^2 UFC/g	≤ 10^3
Coliformes totaux et fécaux	Absents	**Absents**	**≤ 10 UFC/g**
Salmonella spp.	Absente	**Absente**	**Absence dans 25 g**
Staphylocoques pathogènes	Absents	Absents	**Absence dans 2g**
Listeria monocytogenes	Absente	Absente	**Absence dans 25 g**
Levures et moisissures	Absentes	Absentes	**≤ 102 UFC/g**

Discussion :

D'après le tableau 6 l'analyse microbiologique du chocolat a révélé l'absence de tous les germes recherchés ce qui est conforme à la norme Iso4833-2 :2013

L'ensemble des paramètres microbiologiques est conforme aux exigences sanitaires. L'absence de germes pathogènes tels que *Salmonella spp. Listeria monocytogenes ou Staphylocoques* pathogènes garantit la sécurité du produit pour le consommateur.

La faible flore aérobie mésophile présente dans le chocolat (1,9 × 10^2 à 2,4 × 10^2 UFC/g) qui reste toujours conforme à la norme qui stipule une norme inférieure à 10^3 UFC/g

Cette faible teneur témoigne d'un bon respect des conditions d'hygiène lors de la fabrication.

L'absence de levures et moisissures confirme également la bonne conservation et la stabilité microbiologique du chocolat, notamment grâce à sa faible humidité

Codex Alimentarius (fao/oms) General Guideline on Microbiological Risk Analysis (CAC/GL-30-(1999)

III.3. Résultats de l'analyse sensorielle

Les résultats de l'analyse sensorielle sont synthétisés dans le tableau 11

Tableau 11:Résultats des analyses sensorielle

Critère évalué	**Résultats**
Aspect	Brillant, sans défauts, couleur uniforme
Texture	Croquante en bouche, puis fondante
Goût	Saveur intense de cacao, douceur maîtrisée
Arrière-goût	Aucun arrière-goût amer lié à la stévia détecté
Odeur	Arôme agréable de cacao, sans odeur étrangère

Discussion :

Les dégustateurs ont exprimé une appréciation globale positive du chocolat. L'aspect visuel est jugé attractif et professionnel, avec un bon éclat et aucun défaut de surface, traduisant un bon tempérage.

La texture offre une bonne première sensation croquante suivie d'un fondant apprécié, en lien avec la qualité du beurre de cacao. Le goût est jugé intense, typique d'un chocolat à forte teneur en cacao, mais bien équilibré grâce à l'ajout maîtrisé de stévia. Aucune amertume résiduelle ni arrière-goût désagréable n'a été rapporté, ce qui montre une bonne dispersion de l'édulcorant.

Conclusion sensorielle :

Le produit est globalement apprécié par le panel. Il présente une bonne harmonie entre l'intensité du cacao et la douceur apportée par la stevia sans arrière-gout indésirable.

III .4. Résultats de la valeur nutritionnelle

Le profil nutritionnel final est conforme aux attentes pour un chocolat adapté à un public diabétique. Le panel des valeurs nutritionnels est représenté dans le tableau12.

Tableau 12 : panel des Valeurs nutritionnels

Paramètre	**Unité**	**Valeur chocolat noir bio**	**Valeur chocolat noir X**
Valeur énergétique	Kcal/100 g kJ/100 g	633,83 2649,40	570,01 2385,49
Protéines	g	6,00	7,28
Lipides Dont acides gras saturés	g g	56,67 /	39,11 /
Glucides Dont sucre	g g	24,95 0	44,36 10
Fibres alimentaires	g	8,60	5,73
Sel	g	0,067	0,002

Discussion :

L'analyse nutritionnelle montre que le chocolat noir bio présente plusieurs avantages par rapport au chocolat conventionnel.

Il présente une valeur énergétique élevée, typique des produits riches en matières grasses, mais il est sans sucres simples ajoutés, ce qui est essentiel pour les personnes atteintes de diabète.

Il contient moins de glucides, aucun sucre ajouté, et davantage de fibres, ce qui en fait un choix plus sain (OMS ,2015).

Sa teneur plus élevée en lipides s'explique par l'utilisation de beurre de cacao pur, sans additifs, ce qui améliore aussi sa qualité gustative. Bien que le chocolat conventionnel soit légèrement plus riche en protéines. Selon l'OMS (2003), le chocolat bio reste globalement plus bénéfique pour la santé.

Ces résultats sont conformes aux normes européennes, notamment les règlements (UE) n° 1169/2011 et 1924/2006, ainsi qu'aux recommandations de l'EFSA et de l'OMS 2003 et 2015).

Conclusion Générale

Ce travail s'est inscrit dans le cadre du développement d'un chocolat noir bio sans sucre ajouté, formulé à partir de stévia, un édulcorant naturel, dans le but de proposer un produit adapté aux besoins spécifiques des personnes diabétiques et des consommateurs soucieux de leur santé.

Les résultats obtenus au terme de cette étude permettent de conclure que la formulation développée présente des caractéristiques physico-chimiques satisfaisantes, conformes aux normes en vigueur. Le produit affiche une faible teneur en humidité, une teneur élevée en matière sèche et en lipides, ainsi qu'une absence totale de sucres simples, ce qui répond pleinement aux exigences d'un chocolat sans sucre ajouté. Sa richesse en fibres alimentaires constitue par ailleurs un atout nutritionnel non négligeable.

Sur le plan microbiologique, l'ensemble des analyses effectuées démontre que le produit est conforme aux critères de sécurité alimentaire, avec une absence totale de germes pathogènes tels que *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenesou* encore *Staphylococcus aureus*. Cela témoigne du respect strict des bonnes pratiques d'hygiène tout au long du processus de fabrication.

L'analyse sensorielle a également permis de valider l'acceptabilité du produit par les dégustateurs. Le chocolat a été apprécié pour son goût intense de cacao, sa texture fondante et l'absence d'amertume, confirmant ainsi la bonne intégration de la stévia dans la formulation.

Enfin, l'évaluation nutritionnelle du produit a montré qu'il représente une alternative plus saine au chocolat conventionnel, tout en conservant des qualités organoleptiques appréciables.

Ainsi, les objectifs fixés en début de stage ont été atteints. Le chocolat noir bio formulé dans le cadre de ce travail constitue une solution innovante, saine, stable, sécurisée et sensoriellement acceptable, répondant aux nouvelles attentes des consommateurs en matière de nutrition et de bien-être.

Références Bibliographique

- Afoakwa, E. O. (2010). *Chocolate Science and Technology*. Wiley-Blackwell.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840–857.
- Aprotosoaie, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2016). Flavor chemistry of cocoa and cocoa products—An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 73–91.
- Beckett, S. T. (2008). *Industrial Chocolate Manufacture and Use* (4e éd.). Wiley-Blackwell.
- Beckett, S. T. (2009). The Science of Chocolate (2e éd.). Royal Society of Chemistry.
- Behzadi, H., et al. (2024). Impact du chocolat sur la santé humaine : Une revue systématique. *Journal of Nutrition and Food Research*, 42(3), 233-245.
- Brandle, J. E., Starratt, A. N., & Gijzen, M. (1998). Stevia rebaudiana: Its agricultural, biological, and chemical properties. *Canadian Journal of Plant Science*, 78(4), 527–536.
- Carakostas, M. C., Curry, L. L., Boileau, A. C., & Brusick, D. J. (2012). Overview: The history, technical function and safety of rebaudioside A, a naturally occurring steviol glycoside, for use in food and beverages. *Food and Chemical Toxicology, 50*(10), 2969–2980.
- Chatsudthipong, V., & Muanprasat, C. (2009). Stevioside and related compounds: Therapeutic benefits beyond sweetness. *Pharmacology & Therapeutics, 121*(1), 41–54.
- Codex Alimentarius. (2003). *Norme Codex pour le chocolat et les produits de chocolat*. FAO/OMS.
- Coe, S. D., et Coe, M. D. (2013). *The True History of Chocolate* (3e éd.). London, United Kingdom: Thames & Hudson. 280 pages.
- Debaste, F., André, C., & Destain, J. (2008). Étude du tempérage du chocolat noir. *Bulletin de la Société Chimique de Belgique*, 117(3), 301–309.
- Egbadzor, K. F., Danso-Abbeam, G., Osei-Asare, Y. B., & Owusu-Sekyere, E. (2023). Cocoa farming and climate: Yield variation across West Africa. *African Journal of Agricultural Research, 18*(1), 22–30.
- Figueroa, J. D., Smith, A. B., Johnson, C. D., Martínez, E. F., (2012). Effect of cocoa butter origin on chocolate quality. *Journal of Food Engineering, 109*(3), 482–488.

- Gargiulo, R., Rossi, L., Bianchi, M., López, P., Müller, S., Patel, N., Wang, H., (2025). Effects of dark chocolate on kidney perfusion : A pilot study. *Journal of Nephrology Research, 13*(1), 50–58.
- Guckenbiehl, Y., Morales Romero, A. M., Haug, H., Ortner, E., Rothkopf, I., Schweiggert-Weisz, U., Buettner, A., & Gola, S. (2024). Process optimization in chocolate conching: A sensory and rheological approach. *Food Engineering Reviews, 16*(2), 201–219.
- Hamdouche, Y., Dupont, A., Leblanc, C., et Moreau, P. (2019). Influence de la fermentation des fèves de cacao sur les composés aromatiques. *Revue des Sciences et Technologies Alimentaires, 5*(1), 12–20.
- Huang, W., Chen, X., Patel, R., et Singh, J. P. (2024). Global adoption of stevia sweeteners: Historical perspectives and innovations. *International Journal of Food Science and Technology, 59*(1), 101–117.
- Hurtado, H., García, M., Li, Y., Svensson, E., & Novak, J. (2025). Thermal processing in cacao roasting: Effects on polyphenol degradation. *Journal of Food Process Engineering, 48*(1), e13999.
- International Cocoa Organization (ICCO). (2024). *Cocoa Market Report – Annual Summary*. United Kingdom.
- Khiraoui, A., Benali, M., Haddad, S., Rossi, F., & Fernandez, M. (2025). Agronomic potential and climate adaptation of *Stevia rebaudiana* in Mediterranean regions. *Journal of Medicinal Plants Research, 19*(1), 18–28.
- Kinghorn, A. D. (2017). Stevia: Nature's zero-calorie sustainable sweetener. *Medicinal Chemistry of Natural Products*, 25(3), 45–62.
- Kumar, A. (2025). Nutritional profile and health benefits of Stevia rebaudiana. *Journal of Natural Products and Herbal Medicine*, 13(2), 102–115.
- Latif, R. (2013). Chocolate/cocoa and human health: A review. *The Netherlands Journal of Medicine, 71*(2), 63–68.
-
- Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., & Ah-Hen, K. (2012). Stevia rebaudiana Bertoni: Source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry*, 132(3), 1121–1132.
- Lipp, M., Simoneau, C., Ulberth, F., Anklam, E., Crews, C., Brereton, P., De Greyt, W., Schwack, W., & Wiedmaier, C. (2001). ***Composition of genuine cocoa butter and cocoa butter equivalents.*** Journal of Food Composition and Analysis**, *14*(4), 399–408.**

- Maney, D. K., Rodríguez, L., Patel, S., & Nguyen, T. (2022). ***Cocoa cultivation and global agricultural trends.*** Tropical Crop Research Journal**, *38*(2), 87–101.**
- Martínez-Cervera, S., Sanz, T., Salvador, A., & Fiszman, S. M. (2014). ***Reformulation of chocolate with functional ingredients.*** Food Chemistry**, *149*, 91–99.**
- Montagna, L., García, M., Pérez, A., & Torres, F. (2019). *The history of cacao from the Olmecs to the present*. Food and Culture Review, *22*(4), 214–229.
- Niu, Y., Zhang, H., Liu, H., Wei, S., Cao, Y., Zhu, R., Zheng, X., & Yao, X. (2019). *Microencapsulation of bioactive compounds for functional chocolate development*. Food Hydrocolloids, *96*, 139–147.
- Okonkwo, C., Smith, A., Adeyemi, Y., & Zhang, R. (2024). *Biotechnological enhancement of steviol glycoside profiles in food*. Journal of Food Biotechnology, *36*(2), 98–110.
- Rajabi, R., & Sedaghati, M. (2024). Classification and physicochemical characteristics of dark chocolate. *Iranian Journal of Food Science*, 18(1), 75–84.
- Rathore, S. S., & Rathore, S. (2022). *Botanical and agronomical insights into Stevia rebaudiana: A review*. Journal of Medicinal Plants, *10*(3), 18–27.
- Samanta, S., Sarkar, T., Chakraborty, R., Rebezov, M., Shariati, M. A., Thiruvengadam, M., & Rengasamy, K. R. R. (2022). *Manufacturing technology and quality attributes of chocolate: A review*. Trends in Food Science & Technology, *123*, 87–101.
- Tejeda, L., Martínez, R., Gómez, H., & Alvarez, P. (2024). *Post-harvest drying techniques and their influence on Colombian cocoa*. Journal of Agricultural Processing, *15*(2), 135–145.
- Terrio, S. J. (2000). *Crafting the culture and history of French chocolate*. University of California Press.
- Thakur, A., Sharma, P., Verma, R., & Singh, N. (2025). *Stevia rebaudiana: A natural alternative for sugar in diabetic diets*. Nutrition and Metabolism Journal, *21*(2), 124–136.
- Vinson, J. A., Proch, J., et Zubik, L. (2006). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Cocoa, dark chocolate, and milk chocolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54*(11), 4069–4075.
- Wang, C. Y., Hsu, M. C., & Fang, C. C. (2022). The impact of dark chocolate on human health: A review. *Antioxidants, 11*(4), 706.
- World Health Organization (WHO). (2015). *Guideline: Sugars intake for adults and children*. Geneva: WHO
- Zhu, J., Liu, X., Chen, Y., Wang, L., & Zhao, M. (2020). *Natural sweeteners in functional chocolate: Technological and sensory challenges*. Food Technology Trends, *41*(4), 201–209.

ANNEXE 1

1- **Détermination du taux d'humidité du produit fini (**Codex Alimentarius – CAC/GL 50-2004**)**

Mode opératoire

1. Peser 5 g de chocolat finement broyé.
2. Placer dans une capsule tarée.
3. Sécher dans une étuve à 105 °C pendant 4 heures.
4. Refroidir dans un dessiccateur et peser.
5. Répéter jusqu'à masse constante.

1- **Détermination du taux de la matière sèche**

Mode opératoire

Calcul :

Matière sèche (%) =100 – Humidité (%)

2- **Détermination du taux de cendres : NF V 05-113 ,1972**

- Peser 5 g d'échantillon dans une capsule ignifugée.
- Chauffer à 550–600 °C dans un four à moufle pendant 6–8 heures.
- Refroidir dans un dessiccateur et peser les résidus.

3- **Détermination du taux de lipide : ISO 659 :2009**

Mode opératoire

1- Sécher et broyer l'échantillon.

2- Placer dans une cartouche en cellulose dans l'extracteur Soxhlet.

3- Ajouter de l'éther de pétrole (solvant).

4- Chauffer pour réaliser l'extraction continue (6 h).

5- Évaporer le solvant, puis peser les lipides extraits.

4- Détermination du taux de protéine ISO 937 :1978

Mode opératoire

- Digestion de l'échantillon avec H_2SO_4 + catalyseur → conversion de N en $(NH_4)_2SO_4$.
- Neutralisation avec NaOH.
- Distillation de NH_3, capté dans H_3BO_3.
- Titrage avec HCl.

5- Détermination du taux de glucides totaux

Mode opératoire

Glucides (%) =100 − (humidité + lipides + protéines + cendres + fibres)

6- Détermination du taux sucres : AOAC 931.04 (1931)

Mode opératoire

- Extraction des sucres avec eau chaude.
- Réaction avec réactifs de Bertrand ($CuSO_4$, NaOH, tartrate).
- Formation d'oxyde de cuivre rouge (Cu_2O).
- Dissolution dans acide sulfurique.
- Dosage par permanganate de potassium.

7- Détermination du taux de fibre alimentaire : AFNOR NF V03-040

Mode opératoire

- Traitement à l'acide sulfurique dilué.
- Puis à la soude diluée.
- Lavage, séchage, pesée.
- Incinération pour corriger les cendres

8- Détermination du taux de sel : ISO 1841-1 :1996

- Dissolution de l'échantillon dans l'eau distillée.
- Ajout de K_2CrO_4.
- Titrage avec $AgNO_3$ jusqu'au virage au rouge brique (Ag_2CrO_4).

ANNEXE 2

Equipement utilise dans laboratoire :

Figure 8 ETUVE

Figure 6 extracteur soxhlet

Figure 7 Four a moufle

Figure 9 CHAUFFE BALLON

Figure 10 AGITATEUR MAGNETIQUE

Figure 11: VIRRERIE

Figure 12 appareil Kieldahl

Figure 15 BOITE DE PETRIE

Figure 13 balance analytique

Figure 14 bec binzin

Figure 16 FILTRE

ANNEXE 3

Un test sensoriel a été effectué avec un panel interne de 10 dégustateurs, selon une fiche de dégustation structurée.

Tableau 13 tableau de test sensoriel

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Aspect Visuel											
Odeur											
Texture de Bouche	Fondante										
	Grains										
Gout	Arrière-Gout										
	Sucrée										
	Acidité										
	Amertime										
Impression Générale											

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique

Université Blida 1

Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie

Département Sciences Alimentaires

Laboratoire de Recherche Sciences, Technologies et Développement Durable

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en

Spécialité : **Nutrition et diététique humaine**

Filière : **Sciences Alimentaires**

Domaine : **Sciences de la Nature et de la Vie**

Thème :

Formulation d'un chocolat noir bio

Réalisé par :

HAMAIMI fethi

Devant le jury composé de :

Dr kouidri A.	**MCA**	**U. Blida 1**	**Présidente**
Dr Benlemmane S.	**MCB**	**U. Blida 1**	**Examinatrice**
Dr Deffairi D.	**MCA**	**U. Blida 1**	**Promotrice**

Promotion 2024-2025

Promotrice DEFFAIRI DJAMILA