



**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE UNIVERSITE AKLI MOHAND
OULHAD –BOUIRA- FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET DES SCIENCES DE LA TERRE**

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2022

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Présenté par :

ACHIT Linda&TAIBAOUI Ouassila

Thème

***Maitrise de la qualité du chocolat : les nouvelles techniques
analytiques de contrôle et mise en place du système HACCP
dans le procédé de fabrication.***

Soutenu le : 13/09/2022

Devant le jury composé de :

Mr. TIGHRINE Abderrahmane	MCB	Univ. de Bouira	Président
Mr. CHERGUI Achour	MCB	Univ. de Bouira	Promoteur
Mr. ADRAR Nassim Salem	MAA	Univ. de Bouira	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022.

Remerciements



Nous Tenons à Remercier tout d'abord **ALLAH**, le très Miséricordieux, qui nous a donné la santé, le courage, la patience et la volonté pour poursuivre nos études et pouvoir accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nos profonds remerciements et notre gratitude s'adressent à notre encadreur **Mr. CHERGUI. A** de nous avoir donné l'honneur de nous encadrer, pour ses précieux conseils, ses remarques pertinentes ainsi que son encouragement et son orientation. Nous le remercions également pour sa compréhension, sa responsabilité et surtout pour sa patience dans la correction de ce manuscrit, pour son savoir qui nous a bien transmis durant son enseignement. Veuillez trouver ici, monsieur, notre reconnaissance et tout notre respect.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et notre respect **aux membres du jury**

« **Mr. TIGHRINE Abderrahmane** » et « **Mr. ADRAR Nassim Salem** »

Qui ont pris sur leur temps et ont bien voulu accepté de juger ce mémoire.

Enfin, nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants de notre département pour le savoir qui nous ont transmis durant notre cursus universitaire. Et à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Merci



Dédicace



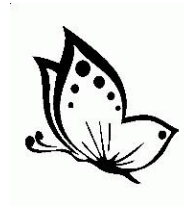
Grâce à **Allah** et avec sa faveur, j'ai pu réaliser ce modeste travail que je dédie :

- ❖ A mes très chers parents **maman** et **papa**, ma source de vie, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude pour leur amour, leur sacrifice, leur encouragement et leur soutien tout au long de mes études, que DIEU les bénisse.
- ❖ À l'énergie Universelle, mon frère « **Mahfoud** » éternelle d'inspiration, ma fierté, qui a toujours su respecter mes décisions et qui m'a soutenu aux moments de faiblesse. Les mots ne suffisent pas pour exprimer l'amour et l'affection que je porte pour toi, merci pour ta générosité et pour tout le sacrifice que tu as donné pour moi. Sans toi je ne puisse arriver à ce que je suis.
- ❖ A mes chères sœurs : **Nora, Zola** et **Saida**. je vous remercie d'être toujours à mes côtés de me soutenir, aimer et protéger et pour tout ce que vous avez fait pour moi
Je vous aime infiniment.
- ❖ A toute ma famille de côté paternelle et maternelle et les personnes qui me sont chères.
- ❖ A mon promoteur **Mr. CHERGUI Achour**, qui est toujours prêt pour assumer sa responsabilité scientifique. Son savoir-faire m'a permis d'avoir conscience des objectifs à atteindre lors de la réalisation de mémoire.
- ❖ Un spécial dédicace à mon magnifique binôme « **Ouassila** ».
- ❖ Sans oublier mes chères : **Ikram** et sa mère, **Iman, Manel, Samira, Khadîdja, Wissal, Wiaam, Samiha....**
- ❖ A tous mes camarades et enseignants de la promotion Master II « **biochimie appliquée** ».

Que ce travail soit un défi pour vous. Souvenez-vous que voir c'est savoir, vouloir c'est pouvoir et oser c'est avoir.

Linda





Dédicace

En tout premier lieu, je remercie le bon **DIEU**, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Je dédie ce modeste travail :

A la plus belle créature que Dieu a créé sur terre, A celle qui m'a offert la tendresse, et qui a été toujours là pour moi, à celle qui me donne l'image de la femme forte qui peut franchir tous les obstacles, **à ma mère.**

A mon père, rien au monde ne vaut les efforts fournis pour mon éducation et mon bien-être. Source de tendresse, la force de courage d'étude et de vie.

A mes précieux frères.

A mes chères sœurs.

A tous mes amis sans exception.

Mon cher binôme Linda, merci pour tous les moments qu'on a passé ensemble, merci de me soutenir pendant cette année.

A toute la promotion **Master 2 biochimie appliquée** de l'année **2021/2022.**

Sans oublier tous les professeurs de l'enseignement supérieur et surtout mon encadreur

Mr. CHERGUI Achour

Ouassila



***« Savoir où l'on veut aller, c'est très bien, mais il faut
encore montrer qu'on y va »***

ZOLA.E, L'ARGENT

Résumé

Le cacao, découvert depuis plus de 4000 ans en Amérique Centrale par les Mayas, provient d'un arbre tropicale appelé « Théobroma » qui signifie en latin « nourriture des Dieux ». Il est considéré comme le principal constituant de chocolat. Le chocolat et le cacao sont des aliments fonctionnels avec des propriétés aphrodisiaques et antidépressives.

Au cours de processus de fabrication de chocolat, une analyse des dangers a été menée pour identifier les points critiques de contrôle (CCP). Les différents dangers biologiques, physiques et chimiques identifiés à chaque étape de la transformation du cacao au chocolat ont été intégrés dans le plan HACCP qui est un système d'autocontrôle par excellence en matière de sécurité alimentaire.

De nombreuses nouvelles techniques analytiques ont été développées, qui pourraient à long terme être utilisées à plus grande échelle, elles doivent être utilisées régulièrement pour garantir au consommateur des produits sûrs et de bonne qualité.

Les mots clés

Cacao, chocolat, les points critiques de contrôle, plan HACCP, techniques analytiques.

Abstract

Cacao, discovered more than 4000 years ago in central america by the mayas, comes from a tropical tree called « theobroma » which means in latin « food of the gods ». it is considered the main constituted of chocolate. Chocolate and cocoa are functional foods with aphrodisiac and antidepressive properties.

During the chocolate manufacturing process, a hazard analysis (CCPs). the various biological, physical and chemical hazards identified at each stage of the transformation from cacao to chocolate have been integrated into the HACCP plan, which is a selft- monitoring system par excellence in terms of food safety.

Many new analytic techniques have been developed, which could in the long term be used on a larger scale, it must be used regularly to guarantee the consumer safe and good quality products.

Keywords

Cocoa, chocolate, properties hazards, HACCP plan, analytic techniques.

ملخص

تم اكتشاف الكاكاو منذ أكثر من 4000 عام في أمريكا الوسطى من قبل شعب المايا 7، ويأتي من شجرة استوائية تسمى "ثيوبروما" والتي تعني في اللاتينية "طعام الآلهة". يعتبر المكون الرئيسي للشوكولاتة. الشوكولاتة والكاكاو هي الأطعمة الوظيفية مع خصائص مثير للدمج ومضاد للاكتئاب

أثناء عملية تصنيع الشوكولاتة ، تم إجراء تحليل للمخاطر لتحديد نقاط التحكم الحرجة . (CCPs) تم دمج مختلف المخاطر البيولوجية والفيزيائية والكيميائية التي تم تحديدها في كل مرحلة من مراحل التحول من الكاكاو إلى الشوكولاتة في خطة HACCP ، وهو نظام مراقبة ذاتي بامتياز من حيث سلامة الأغذية.

تم تطوير العديد من التقنيات التحليلية الجديدة، والتي يمكن استخدامها على المدى الطويل على نطاق أوسع، ويجب استخدامها بانتظام لضمان منتجات آمنة وذات جودة عالية للمستهلك.

الكلمات المفتاحية

الكاكاو، الشوكولاتة، النقاط الحرجة، خطة تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة، التقنيات التحليلية.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abbreviations

Introduction Générale

Chapitre 01

Généralités sur le cacao et le chocolat

1.1. Historique.....	04
1.2. Généralités sur le cacao.....	05
1.2.1. Culture de cacaoyer.....	05
1.2.2. Les variétés de cacaoyer.....	06
1.2.2. A. La variété « criollos»	06
1.2.2. B. La variété « forasteros»	06
1.2.2. C. La variété « trinitarios»	07
1.2.2. D. La variété « Nacional »	07
1.2.3. La composition chimique.....	08
1.2.4. Qualités et défauts.....	08
1.3. Généralités sur le chocolat.....	09
1.3.1. Définition.....	09
1.3.2. Types	10
1.3.2. A. Chocolat noir.....	10
1.3.2. B. Chocolat Gianduja.....	10
1.3.2. C. Chocolat au lait.....	10

1.3.2. D. Chocolat blanc.....	10
1.3.2. E. Chocolat de couverture.....	12
1.3.3. Formes.....	11
1.3.3. A. Les tablettes de chocolat.....	11
1.3.3. B. Les friandises chocolatées	12
1.3.3. C. La poudre de cacao.....	12
1.3.3. D. La pâte à tartiner	12
1.3.4. Composition.....	12
1.3.4. A. Les constituants de base	13
1.3.4. B. Les constituants complémentaires	14
1.3.5. Valeur nutritionnelle et énergétique de chocolat.....	16
1.3.6. Effets du chocolat sur la santé.....	17
1.3.7. Stockage et conservation du chocolat.....	18

Chapitre 02

Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

2.1 .1 Malaxage.....	20
2.1.2.Broyage-affinage.....	20
2.1.3.Etuvage.....	21
2.1.4.Couchage.....	21
2.1.5.Tempérage.....	22
2.1.6.Moulage-enrobage.....	23
2.2. L'application de système HACCP dans la fabrication du chocolat.....	25

2.2.1. Définition du système HACCP.....	25
2.2.2.Objectifs du système HACCP.....	25
2.2.3.Principes dusystème HACCP	26
2.2.4.Les éléments d'un système HACCP.....	27
2.2.4.A.Programmespréalables.....	27
2.2.4.B.Plans HACCP.....	28
2.2.5. Les différents dangers qui peuvent être détectés par le système HACCP.....	28
2.2.5.A. Les dangers physiques	28
2.2.5.B. Les dangers chimiques.....	28
2.2.5.C. Les dangers microbiologiques.....	29
2.2.5.D. Dangers liés aux allergènes.....	30
2.2.6.Les étapes du système HACCP.....	30
2.2.7.Amélioration du système HACCP.....	31

Chapitre 03

Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

3.1.Les analyses physico-chimiques.....	33
3.1.1.L'ultrason.....	33
3.1.1.A. principe.....	33
3.1.1.B. Avantages des ultrasons.....	34
3.1.2. Application de la méthode AAS pour l'analyse des contaminants dans le chocolat..	34
3.1.2.A. Principe de spectrométrie d'absorption atomique (AAS).....	34
3.1.3. Analyse par spectroscopie proche infrarouge.....	36
3.1.4.Chromatographie Liquide Haute Performance (CLHP).....	36
3.1.5. La spectrométrie de masse	37

3.1.6. La spectroscopie RMN.....	37
3.1.7.L'imagerie hyperspectrale couplée à la méthode MCR (la résolution de courbe multivariée)	38
3.1.8. La colorimétrie.....	38
3.2. Analyses microbiologiques.....	39
3.3.L'analyse thermique de chocolat.....	39
3.3.1. Structure cristalline de chocolat.....	39
3.4.L'analyse sensorielle pour la mesure de la qualité des fèves de caca.....	40
3.4.1.Procédure d'évaluation sensorielle.....	40
3.4.2. Les instructions à respecter lors de dégustation.....	41
3.5.Les tests de l'analyse de qualité de fèves de cacao.....	41
3.5.1.L'épreuve à la coupe (Le test de coupe).....	41
3.5.2. Grainage ou poids spécifique.....	42
3.5.3.Les paramètres de qualité de cacao et de fèves de cacao	42
Conclusion et perspectives.....	44

Références bibliographiques

Les annexes

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
01	Image illustrant les différentes parties du cacaoyer	06
02	Les différentes variétés de cacao	07
03	Image montrant le chocolat noir, blanc ou au lait	10
04	Image montrant le chocolat de couverture	11
05	Image montrant les tablettes de chocolat	12
06	Image montrant le beurre de cacao	13
07	Image montrant la poudre de cacao	14
08	La Formule générale de la lécithine.	15
09	La structure chimique de la vanilline	15
10	Image illustrant l'opération de conchage	21
11	Image montrant un mini-tempéreuse	23
12	Image illustrant le moulage du chocolat en grosses tablettes	24
13	Schéma du processus de fabrication du chocolat	24
14	Les étapes du système HACCP	31
15	Schéma illustrant le fonctionnement de l'HPLC	36
16	Schéma simplifié d'un spectromètre de masse	37
17	Image illustrant un dispositif de RMN	38

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
01	Valeurs nutritionnelles pour 100 g de cacao et deux types de chocolat	16
02	Les autres méthodes utilisées pour l'analyse des contaminants métalliques	35

Liste des abréviations

Abréviations	Signification
AVC	Accident vasculaire cérébral
UV	Ultraviolet
HACCP	Hazardanalysis control critical point « analyse des dangers et contrôle des points critiques »
PCC	Point critique de contrôle
ISO	Organisation internationale de normalisation
BPF	bonne pratique de fabrication
AAS	Spectromètre d'absorption atomique
F	Fahrenheit
NIR	Spectroscope proche infrarouge
DSC	Differential scanning calorimetry« calorimétrie différentielle à balayage »
CLHP	Chromatographie liquide haute performance
RMN	Résonance magnétique nucléaire
MCR	Résolution de courbe multivariée

Les annexes

Annexes	Titres
Annexe I	diagramme de procédé de fabrication de chocolat
Annexe II	pratiques de transport et d'expédition de cacao.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le chocolat éveille en nous toute une série d'émotions et de souvenirs (plaisir des fêtes, cadeaux, moments privilégiés,...). Il est l'un des aliments et produits de confiserie les plus connues dans le monde. Sa fabrication se fait à partir de la masse de cacao, du beurre de cacao et du sucre (**Parker et al., 2006**). En plus, le chocolat est un aliment d'une grande valeur nutritionnelle. Il est aussi très intéressant par ses propriétés énergétique, antidépressive et antioxydante (**Daverio, 2005**).

Le cacaoyer, *Theobroma cacao* L. est un petit arbre que l'on retrouve uniquement dans une zone appelée « ceinture du cacao ». Il fournit la graine à partir de laquelle sera fabriqué le chocolat distribué dans le monde entier. Pour cela de nombreuses étapes sont nécessaires, notamment le malaxage, le broyage, le conchage, le Tempérage et le moulage (**Daverio, 2005**).

Le contrôle de la qualité est une préoccupation majeure et permanente dans les industries agroalimentaires afin de répondre aux exigences du consommateur. Les méthodes traditionnelles d'assurance de la qualité, qui consistent simplement à inspecter les produits finis, ne peuvent plus satisfaire les besoins des consommateurs. Donc, la mise en œuvre du système HACCP est utile pour gagner la confiance des consommateurs et établir une bonne image d'entreprise (**Lu et al., 2014**). Le système HACCP est une approche systématique internationale et scientifique de l'identification, de l'évaluation et de la maîtrise des risques liés à la sécurité alimentaire, il exige donc un suivi minutieux et efficace du processus afin de maîtriser tous les dangers éventuels. (**Beckett, 2009**).

Le système HACCP est difficile à mettre en œuvre dans certaines usines de fabrication en raison d'obstacles techniques et financiers (**Lu et al., 2014**). D'où de nombreuses nouvelles techniques analytiques sont en cours de développement, tant pour la fabrication que pour l'utilisation de chocolat. Plusieurs d'entre elles sont basées sur des idées anciennes qui sont devenues plus pratiques grâce aux technologies modernes d'ingénierie et de contrôle. L'objectif principal est la réduction du temps de traitement en conservant les mêmes caractéristiques gustatives du produit final (**Beckett, 2009**).

C'est -à-dire que, l'état de produit fini est le plus important et doit être déterminé conformément aux directives internes et à la sécurité alimentaire (**Beckett, 2009**).

Introduction générale

Ce mémoire se compose de trois chapitres :

Chapitre I : culture du cacaoyer, variétés du cacao, composition chimique du cacao , qualités et défauts du cacao, types et formes du chocolat, constituant du chocolat, valeur nutritionnelle et énergétique du chocolat , impact du chocolat sur la santé , stockage et conservation du chocolat.

Chapitre II : Différentes étapes de la fabrication du chocolat et application du système HACCP.

Chapitre III : Nouvelles techniques analytique du contrôle de la qualité du chocolat depuis la matière première jusqu'au produit fini (principal objectif du travail).

CHAPITRE 01:

Généralités sur le cacao et le chocolat

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

Dans les temps anciens, le cacao était appelé la nourriture des dieux (**Montagna et al., 2019**). De plus, il est considéré comme un complément alimentaire parce qu'il contient plus de trois cents nutriments et substances actives dans ce super fruit (**Girard, 1984**).

Selon **JohnTullius** «neuf personnes sur dix aiment le chocolat ». Le chocolat était considéré comme un luxe exotique réservé aux rois, à la noblesse et aux classes religieuses supérieures. Il est un produit de grande valeur nutritionnelle en raison de ses propriétés énergétiques et toniques, sa richesse en sels minéraux et son apport en vitamines (**Daverio, 2005**).

Le cacao et le chocolat ont des bienfaits sur la santé, car ils contiennent des substances actives. Par exemple, les flavonoïdes (qui ont des effets antioxydants, antithrombotiques, antihypertenseurs et neuroprotecteurs.) les méthylxantines et les amines biogéniques (qui ont une action psychoactive) (**Bianchi-Demicheli et al., 2013**).

1.1. Historique

La découverte du cacao remonte à l'archéologie pré-classique, où certains peuples d'Amérique centrale ont inventé la boisson au cacao (dont les Aztèques mayas), et le cacao était utilisé à des fins médicinales et rituelles. Le chocolat était considéré comme un produit de luxe. Les fèves de cacao étaient utilisées comme monnaie pour payer les impôts et acheter des esclaves (**Bianchi -Demicheli et al., 2013**).

En 1502, lors du voyage de Christophe Colomb, le cacao a été découvert par les Espagnols, où l'empereur Moctezuma l'a présenté lors d'une réception comme une boisson que Cortes a d'abord goûtée puis présentée à Charles Quint en 1524. Bientôt, le chocolat a commencé (**Brayet, 2019**).

La première expédition commerciale des fèves de cacao en provenance de Vera Cruz (Mexique) pour Séville a lieu en 1585. La fabrication de chocolat a été évoluée, qui devient produit à partir de fèves écrasées, de sucre et parfois de la cannelle qui sont fondus dans l'eau bouillante (**Brayet, 2019**).

En 1568, les Espagnols produisaient leurs propres fèves de cacao en Amérique du Sud, et les premiers fabricants de chocolat furent les moines, puis il se répandit en France puis dans le reste de l'Europe à travers les monastères. En 1657, les premières chocolateries anglaises

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

sont ouvertes (**Brayet, 2019**). En 1753, le scientifique suédois Carl Linnaeus nomma le cacaoyer *Theobroma cacao* qui signifie « nourriture des dieux » (**Montagna et al., 2019**).

Jusqu'au XIX^e siècle, le chocolat va devenir un produit populaire en Europe grâce à l'industrialisation mais surtout le passage d'une boisson à un aliment à croquer (**Paradis, 1979**).

Jusqu'au XX^e siècle, qui a vu le chocolat rocheux, qui est devenu un produit de consommation courant en Europe, et ainsi son histoire est devenue plus globale et ouzbéenne (**Brayet, 2019**).

1.2. Généralités sur le cacao

1.2.1. Culture de cacaoyer

Le cacaoyer (*Theobroma cacao*) appartient à la famille des malvacées (sterculiacées) (**Kokou et Ngo-Samnack, 2014**). On trouve cet arbre dans les forêts tropicales humides au climat chaud, avec une température annuelle moyenne de 27 °C, des précipitations entre 1 150 et 2 500 mm et une altitude d'environ 500 mètres au-dessus du niveau de la mer, bien qu'il pousse mieux à des altitudes plus basses (de préférence entre 100 et 160 mètres). Il pousse sur les berges des rivières et dans des fossés de sol humide, ou sous d'autres arbres feuillus ou "d'ombre" pour le protéger du soleil (**Waizel et al., 2012**). C'est un petit arbre de 4 à 8 m de hauteur, pouvant atteindre 10 mètres de hauteur. Il pousse avec un bon ombrage ses fruits (ovoïdes) qui sont des baies oblongues jaune rougeâtre, allongées de sillons, atteignant 20 cm de long, contenant 30 à 40 graines brun rougeâtre à l'extérieur, recouvertes d'une pulpe blanche sucrée et comestible. L'embryon est constitué de deux gros cotylédons (**Waizel et al., 2012**) (figure 01).

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

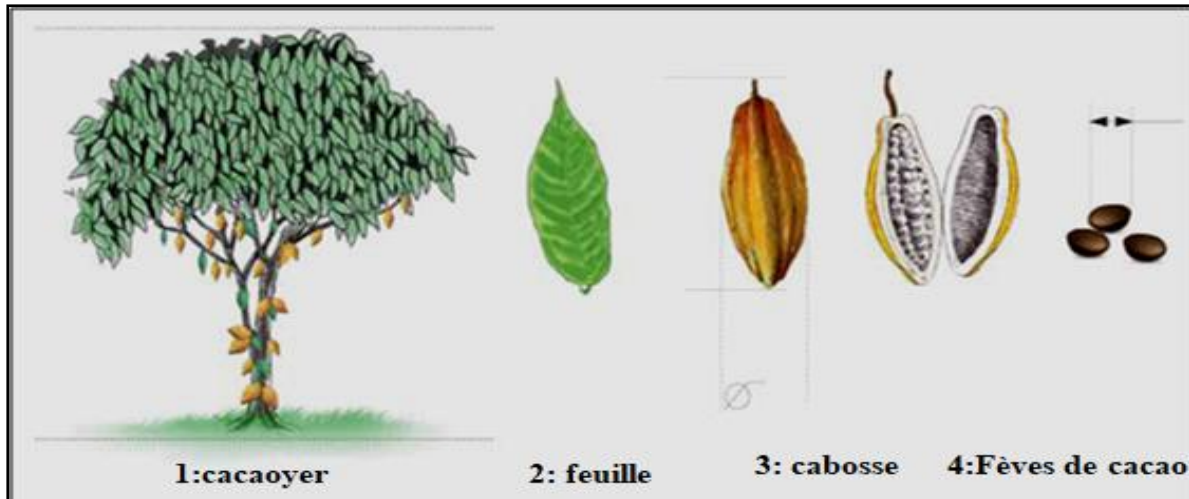


Figure 01 : image illustrant les différentes parties du cacaoyer (Kokou et Ngo-Samnack, 2014).

1. arbre de cacaoyer : 4 à 8 mètres de hauteur ; 2 : feuilles : feuilles alternées suivent une distribution radiale qui apparaissent au bout de la quatrième année ; 3 : cabosse : Il arrive à maturité 5 à 7 mois après la floraison. Il peut peser au moyen 400-500grammes. Ce fruit renferme une cavité contenant 30à 40 graines ovoïdes (fèves) ; 4 : graine ou fève de cacao : a une forme d'amande (forme amygdaloïde) et pèse 2 à 3 grammes à l'état frais. Elle mesure 20 à 30 millimètres de long sur 10 à 15 millimètres de large et 7 à 15 millimètres d'épaisseur(Daverio, 2005).

1.2.2. Les variétés de cacao

Tous les cacaoyers appartiennent au genre *Theobroma* (Daverio, 2005). On peut distinguer selon la morphologie, les caractéristiques génétiques et les origines géographiques quatre groupes qui sont :

1.2.2.A. La variété « Criollo »

Il produit des fruits (cosses) avec des graines denses blanches ou roses, qui nous donnent au final un chocolat luxueux avec une saveur merveilleuse, car il est peu cultivé dans le monde en raison de la rapidité avec laquelle il devient infecté par des maladies. Il est largement cultivé en Amérique centrale et du sud (De Almeida et al., 2007).

1.2.2.B. La variété « Forastero »

L'une de ses caractéristiques est qu'il est largement cultivé en raison de ses rendements de haute qualité et de sa résistance aux maladies. Il est génétiquement diversifié et souvent utilisé dans les programmes de sol en raison de sa force. Sa culture est répandue à la fois en Amazonie, au Brésil et Venezuela (De Almeida et al., 2007).

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

1. 2.2.C. La variété « Trinitario »

Il s'agit d'une variété hybride issue du croisement des génotypes de criollo et forastero (**De Almeida et al, 2007**). Parmi ses propriétés, sa productivité et sa résistance aux maladies par rapport aux autres variétés (**Motamayor et al., 2003**).

1.2.2.D. La variété « Nacional »

Seule cette variété de cacao qui est implantée dans l'équateur. Ainsi, elle est probablement originaire de la région amazonienne de l'Équateur. Le cacao nacional produit des fèves à partir de farine "areba" pure. Et les farines aphor en Equateur sont des hybrides entre Nacional et Trinitario (**Beckett, 2009**) (Figure 2).



Figure 02 : les différentes variétés de cacao (Afoakaw, 2010).

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

1.2.3. La composition chimique

Les composants chimiques des fèves de cacao sont légèrement réduits après fermentation, allant de 0,2% d'eau, 2,8% de protéines, 1,8% d'acides gras. Tandis que les glucides augmentent de 5,5 % (**Afoakwa et al., 2013**).

La pulpe de cacao contient entre 82 et 87% d'eau, 10 à 15% de sucres (60% de saccharose et 39% du mélange de glucose et fructose), 1 à 1,5% de pectine et 1 à 3% d'acide citrique. Les protéines, les acides aminés, les vitamines (principalement la vitamine C), et sels minéraux constituent également la pulpe de cabosse mûre (**Dias et al ., 2003**).

1.2.4. Qualités et Défauts

1.2.4. A. Qualités

Seules certaines propriétés des fèves de cacao peuvent donner lieu à une appréciation par des méthodes objectives:

- ❖ évaluation de la teneur en eau ;
- ❖ mesure de la richesse en beurre de cacao ;
- ❖ recherche de résidus de pesticides (**Barel, 2013**).

D'autres caractéristiques existent. On a entre autres :

- ❖ Uniformité : les fabricants visent à produire des chocolats de bonne qualité. Ils préfèrent les origines aptes à garantir un approvisionnement régulier en fèves.
- ❖ Pureté : les autorités de santé publique nationales et internationales se préoccupent de la pureté de l'alimentation et de ses ingrédients. Pour le cacao marchand, les principales sources d'impuretés sont les résidus de pesticides, les éventuelles bactéries, plusieurs espèces d'insectes et les corps étrangers.
- ❖ Le Rendement en substance comestible : influence de façon directe sur sa valeur pour le fabricant, alors sur le prix d'achat. Quelques facteurs affectent la quantité de matière comestible, c'est-à-dire la quantité d'amandes de cacao (fèves décortiquées), ainsi que le beurre de cacao. Que l'on peut extraire d'un lot de cacao (**Barel, 2013**).

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

Ces facteurs sont :

- ❖ la dimension et l'uniformité des fèves: une fève doit peser au minimum 1 g et dans un même lot ;
- ❖ la teneur en eau, moins de 8 % ;
- ❖ le pourcentage en matières grasses, de 50 à 58 % ;
- ❖ la présence de corps étrangers. Celle de fèves plates ou de fèves endommagées par les insectes (**Barel, 2013**).

1.2.4. B. Défauts

Les fèves de cacao peuvent présenter plusieurs défauts comme :

- ❖ Fèves moisies (défaut majeur) : la présence de gout de moisi dans le produit fini et de mycotoxines.
- ❖ Fèves mitées ou charançonnées: contiennent dans les parties internes des insectes à un stade développé (**Mossu, 1990**). Ou qui ont été attaquées par des insectes ayant causés des dégâts visibles à l'œil nu
- ❖ Fèves ardoisées : elles présentent une couleur ardoisée sur la moitié ou plus de la surface de la coupe longitudinale.
- ❖ Fèves germées : fèves de cacao dont la coque a été percée, fondue ou rompue par la croissance du germe.
- ❖ Brisures : ce sont les fragments de fèves de cacao égal ou inférieur à la moitié de la fève.
- ❖ Fève plate : fève de cacao dont les deux cotylédons sont atrophiés au point qu'il ne soit pas possible d'obtenir une surface de cotylédons par la coque (**Lézou, 2012**).
- ❖ Fèves violettes.
- ❖ Chocolat de pauvre qualité : très astringent, amer et n'a pas d'arômes de chocolat.
- ❖ Fèves brunes très foncées avec taches noires : goûts étrangers très désagréables.
- ❖ Fèves à odeur de fumée (**Mossu, 1990**).

1.3. Généralités sur le chocolat

1.3.1. Définition

Le chocolat est fabriqué à partir de la transformation du cacao (qui est le produit principal) du beurre de cacao (une graisse naturelle des fèves de cacao) et de l'ajout de sucre.

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

Le chocolat noir contient ces trois éléments : le lait est ajouté aux solides et à la graisse supplémentaire du lait, et le chocolat blanc est similaire au chocolat au lait sans cacao (Parker et al., 2006).

1.3.2. Types

À partir de différents processus de transformation des fèves de cacao, divers types de chocolat sont distingués avec des ingrédients et des propriétés spécifiques (Montagna et al., 2019).

1.3.2.A. Le chocolat noir

Il contient des extraits secs de fèves de cacao (jusqu'à 80 % du poids total) et du beurre de cacao, avec un arôme de cacao intense et persistant, il fond dans la bouche, laissant un arrière-goût amer et agréable (Montagna et al., 2019).

1.3.2.B. Le chocolat Gianduja

Il est un mélange de noisettes, de cacao et de sucre. Il est brun (Montagna et al., 2019).

1.3.2.C. Le chocolat au lait

Il contient du beurre de cacao, du sucre, du lait en poudre, de la lécithine et du cacao (ce dernier n'est pas moins de 20-25 %). Avec son aspect brillant, il a un arôme intense et persistant et un goût sucré (Montagna et al., 2019).

1.3.2.D. Le chocolat blanc

Contient du beurre de cacao, du lait et du sucre sans solide decacao. Il se caractérise par un bon goût (Montagna et al., 2019) (figure 03).



Figure 03: image montrant le chocolat noir, blanc ou au lait.

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

Remarque : La composition n'est pas la même que la chocolat blanc et ses vertus viennent du cacao, ingrédient-clé dont le chocolat blanc est dépourvu (**Barel, 2010**).

1.3.2.E. Le chocolat de couverture

Il est un chocolat de très bonne qualité utilisé par les chocolatiers et les pâtisseries comme matière première. Il peut être noir ou au lait, mais contient au moins 32 % de beurre de cacao, ce qui le rend très fluide pour réaliser un enrobage plus fin qu'un enrobage classique (**Barel, 2010**) (Figure 04).



Figure 04 : image montrant le chocolat de couverture (**Beckett, 2009**).

1.3.3. Formes

Il existe plusieurs formes de chocolat et chacune a ses propres usages que ce soit dans la pâtisserie ou au quotidien.

1.3.3.A. Les tablettes de chocolat

Cette forme est la plus connue du chocolat. Elle est sous forme de petits carrés à croquer. Elle possède une utilisation différente par exemple : ingrédient dans une recette de cuisine ou un simple repas délicieux. Elle se caractérise par une variété de saveurs (le chocolat à la menthe ou à l'orange,...) (figure 05)

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat



Figure 05 :Image montrant les tablettes de chocolat (Afoakaw, 2010).

1.3.3.B. Les friandises chocolatées

Ces friandises se présentent sous de nombreuses formes (des boules ou des moulages spécifiques...). Elles ont été inventées par les artisans en pâtisserie. Elles se caractérisent par différentes ganaches ou saveurs comme des épices, de la pâte de pistache ou du caramel (Anonyme, 2016).

1.3.3.C. La poudre de cacao

Cette poudre est obtenue lorsqu'on enlève une partie des matières grasses de la pâte de cacao. Elle entre dans la composition des préparations industrielles telles que les céréales ou bien pour préparer des boissons chocolatées. Elle peut contenir des produits comme : le sucre, la poudre de lait déshydraté (Anonyme, 2016).

1.3.3.D. La pâte à tartiner

Elle est fabriquée à partir de mélange de la pâte de cacao avec d'autres ingrédients comme les noisettes ou du caramel et surtout avec du sucre. Et par l'ajout de matières grasses pour lui donner une texture légèrement liquide. La pâte à tartiner reste un délice gourmand à déguster car elle a multiples usages telles que : recouvrir une tranche de pain ou de brioche, ajouter une touche de gourmandise à des glaces, des fruits ou des gâteaux (Anonyme, 2016).

1.3.4. Composition

Pour fabriquer le chocolat, il faut suivre une série d'opérations délicates. La qualité d'un chocolat dépend aussi de la proportion de sucre et d'ingrédients ajoutés comme le lait ou la vanilline (Daverio, 2005).

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

1.3.5.A. Les constituants de base

❖ La pâte de cacao

Au moyen d'un procédé mécanique se transforment les grains de cacao en pâte. Cette dernière est un produit semi-fini important, qui est obtenue par broyage des fèves de cacao nettoyées, torréfiées et concassées. Elle entre dans la composition du chocolat. Soumise à la pression, elle fournit d'une part le beurre de cacao et d'autre part les tourteaux servant à la fabrication de la poudre de cacao (Daverio, 2005).

❖ Le beurre de cacao

Il est obtenu par l'application de fortes pressions hydrauliques sur la pâte de cacao chauffée (température 100°C) (Daverio, 2005). Le beurre de cacao est une substance liquide avec une odeur visible. Il est filtré pour devenir limpide. Ensuite, les odeurs désagréables sont exclues. Puis il doit être refroidi et moulé, pour permettre une cristallisation dans une forme stable, On effectue le Tempérage. Il est alors entreposé dans des locaux climatisés en attendant le moment d'être refondu (Gillet, 1996). Le beurre de cacao il est utilisé pour la préparation de couvertures de chocolat, l'industrie des cosmétiques et de la bonbonnerie (Daverio, 2005) (Figure 06).



Figure 06: image montrant le beurre de cacao (Daverio, 2005).

❖ La poudre de cacao

Elle est un produit de la pulvérisation (après ou sans dégraissage.) de la pâte de cacao (Daverio, 2005). Sa production s'effectue par la séparation du beurre

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

de la pâte de cacao, en laissant une masse solide appelée tourteau, qui contraste avec une aération intense. La poudre conserve sa légèreté et sa couleur brune, qui est prétraitée par l'alcalinité. Pour obtenir du cacao sucré ou du chocolat en poudre, on ajoute du sucre, des arômes, du lait en poudre et de la farine. Enfin, on obtient du cacao et du chocolat en poudre qui sert à préparer des boissons chaudes et froides et divers petits déjeuners (Gillet, 1996) (figure 07).



Figure 07 : image montrant la poudre de cacao (afoakaw, 2010).

❖ Le sucre

Le sucre est extrait de la betterave sucrière ou de la canne à sucre. Il est important que le sucre réponde à des caractères stricts pour obtenir un chocolat de bonne qualité. Parmi ces caractéristiques : la pureté et la granulométrie (Beckett, 2009).

❖ Le lait en poudre

Le lait en poudre est un ingrédient déterminant du chocolat, car il donne le goût recherché par les consommateurs. En plus, il a un effet significatif sur certaines propriétés sensorielles du chocolat (Beckett, 2009).

1.3.5.B. Les constituants complémentaires

❖ La lécithine

La réglementation officielle autorise l'ajout, à très faible dose, d'émulsifiants, parmi eux, la lécithine (extraite le plus souvent de l'huile de soja) (Aboiron et al., 2004 ; Daverio, 2005). Cette dernière permet de dissoudre et de mélanger les particules solides du beurre de cacao (sucre, lait en poudre et matière sèche de la pâte de cacao). Elle stabilise les systèmes alimentaires complexes en mettant en jeu des phases non-miscibles. La teneur autorisée de la

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

lécithine se situe entre 0,3 et 0,5 % pour réduire la viscosité par mouillage et dispersion (Aboiron et al., 2004) (Figure 08).

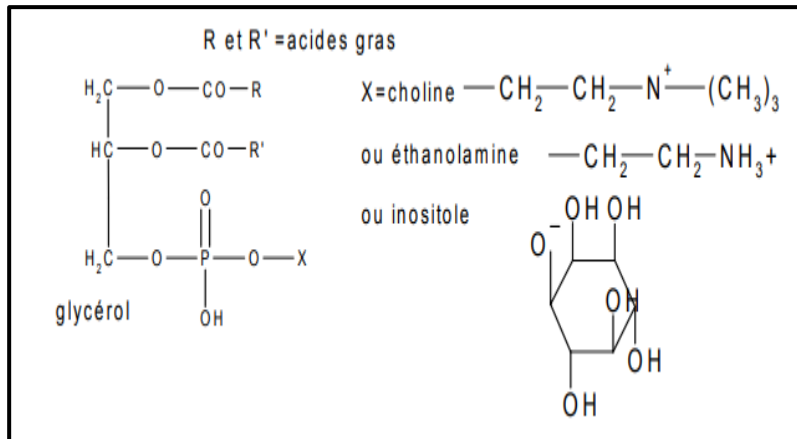


Figure 08: la Formule générale de la lécithine.

Remarque : La figure 08 montre que les lécithines sont des lipides contenant du glycérol et de l'acide phosphorique. Elles sont présentes dans tous les tissus animaux et végétaux (Aboiron et al., 2004).

❖ Les aromatisants (la vanilline ou vanille synthétisée)

Dans les chocolateries, l'aromatisant le plus populaire c'est la vanilline, qui confère au cacao un goût agréable. Elle est synthétisée chimiquement pour obtenir un arôme identique à la nature (Bryselbouy et Fabry, 2007) voir la figure 09.

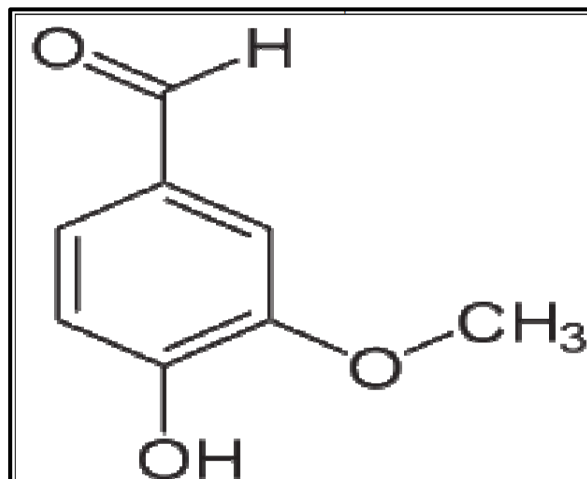


Figure 09: la structure chimique de la vanilline (Eric, 2010).

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

1.3.5. Valeur nutritionnelle et énergétique du chocolat

Le chocolat est un aliment très énergétique, car il est riche en glucides et lipides par exemple, 100 g de chocolat noir fournissent en moyenne 520 kcals. Nous en avons besoin au quotidien pour toute activité. (Travailler, faire du sport, réfléchir. .). De plus, il donne un sentiment de satiété. Mais, sa valeur nutritionnelle varie en fonction de trois facteurs : origine des fèves choisies, le traitement industriel et la quantité de sucre ajouté (**Daverio, 2005**) (Tableau 01).

Tableau 01 : Valeurs nutritionnelles pour 100g de cacao et deux types de chocolat (**Montagna et al., 2019**).

Composition chimique	Cacao	Chocolat noir	Chocolat au lait
Eau (g)	2.5	0.5	0.8
Protéine (g)	20.4	6.6	7.3
Lipide (g)	25.6	33.6	36.3
Glucides (g)	11.5	49.7	50.5
Sucre (g)	Traces	49.7	50.5
Fibres totales (g)	-	8	3.2
Sodium (mg)	-	11	120
Potassium (mg)	-	300	420
Fer (mg)	14.3	5	3
Calcium (mg)	51	51	262
Phosphore (mg)	685	186	207
Thiamine (mg)	0.08	0.07	0.09
Riboflavine (mg)	0.3	0.07	0.39
Niacine (mg)	1.7	0.6	0.6
Vitamine A (µg)	7	9	25
Phénoliques (mg)	996-3781	579	160
Flavonides (mg)	-	28	13
Théobromine (mg)	-	802	125
Énergie (Kcal)	355	515	545
Énergie (Kj)	1486	2155	2281

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

1.3.6. Effets du chocolat sur la santé

Dans le passé, le chocolat a été une source de sagesse spirituelle et d'une immense énergie. En raison de ses propriétés aphrodisiaques (**Daverio, 2005**), c'est-à-dire qu'il affecte le désir sexuel, qui est un phénomène psycho-neurovasculaire complexe contrôlée par des hormones et influencé par des facteurs culturels et sociaux. Mais, il y'a un manque d'études scientifique sur la relation entre la consommation de chocolat et la fonction sexuelle (**Bianchi-Demicheli et al, 2013**).

En plus, consommer du chocolat en quantités modérées peut avoir des effets positifs sur la santé. En effet, il est utilisé à des fins thérapeutiques pour (Migraine, constipation, crise de foie, acné, cholestérol, maladies chroniques, les affections du pylore,...).

Le chocolat est considéré comme un aliment fortifiant et antidépresseur.

- ❖ le cacao est bénéfique pour le système circulatoire, il est considéré comme stimulant ou bien comme baume apaisant, préventif de la toux ou anti diarrhéique et aussi anticancéreux ;
- ❖ le beurre de cacao est utilisé pour soigner les blessures (**Daverio, 2005**) ;
- ❖ le chocolat contient plus qu'une substance « psychoactives » comme :
 - ❖ la théobromine et la caféine qui ont un effet psychostimulant ;
 - ❖ la phényléthylamine et la tyramine agissent sur le cerveau et procurent un sentiment de satisfaction et de bien-être ;
 - ❖ la sérotonine est un neuromédiateur employé comme antidépresseur ;
 - ❖ l'anandamide, lipide du cerveau, qui produirait des effets relaxants et du salicoline, un antidépresseur (**Daverio, 2005**) ;
 - ❖ les fèves de cacao contiennent des flavonoïdes qui appartiennent à la famille de polyphénols (se sont des substances chimiques antioxydants qui luttent contre les radicaux libres)(**Daverio, 2005 ; Barel, 2010**). Ils réduisent la pression artérielle, inhibent la fonction plaquettaire, régulent la production d'oxyde nitrique, diminuant les infarctus du myocarde, les AVC et la mortalité cardiovasculaire (**Bianchi-Demicheli et al, 2013**) ;
- ❖ le chocolat contient des vitamines comme la vitamine B1 qui est nécessaire pour l'utilisation de sucre par l'organisme, et la vitamine B2, indispensable à l'utilisation des protéines, glucides et lipides par l'organisme (**Barel, 2013**).

Chapitre 01 : Généralités sur le cacao et le chocolat

La consommation excessive de chocolat augmente le risque d'obésité, parmi les constituants de chocolat qui augmentent leur contenu calorique : le beurre de cacao, le sucre, le lait (**Daverio, 2005**).

Parmi les effets secondaires du chocolat : le bavardage incessant, l'insomnie, l'irritabilité et l'hyperactivité chez les enfants (**Daverio, 2005**).

1.3.7. Stockage et conservation du chocolat

Les deux facteurs qui affectent la qualité du chocolat sont la température et l'humidité. Ces derniers peuvent être la cause de la formation d'un voile à la surface. La température optimale de la conservation du chocolat se situe entre 10°C et 15°C (pour éviter un blanchiment gras). Alors que, l'humidité optimale comprise est entre 60 et 70 % (pour éviter un blanchiment).

Vu que, l'augmentation de la chaleur provoque une altération de l'état cristallin du beurre de cacao et affecte l'aspect du chocolat. Tandis que, le voile dû à l'humidité entraîne une détérioration de la texture et du goût du chocolat (**Daverio, 2005**).

En plus, puis que le chocolat absorbe les odeurs environnantes, Il faut donc le conserver dans un récipient hermétique ou dans une pièce bien aérée à l'abri de la lumière pour éviter une oxydation aux UV et un rancissement (**Daverio, 2005**). D'autre part, la conservation du chocolat dépend aussi de son type :

- ❖ le chocolat en tablettes se conserve plusieurs mois ;
- ❖ chocolat fourré, doit être consommé dans le mois qui suit sa fabrication ;
- ❖ les chocolats au beurre ou à la crème, comme les truffes, doivent être consommés au bout de quelques jours (**Daverio, 2005**).

Chapitre 02:

**Procédé de fabrication et mise en place du
système HACCP durant la fabrication du
chocolat**

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

Le chocolat est essentiellement un mélange de pâte de cacao (dégraissé ou non,) additionnée d'une quantité variable de beurre de cacao, de sucre et suivant les cas de lait et d'arômes (**Daverio, 2005**).

Chaque chocolatière préserve jalousement le dosage de ses ingrédients, en consistant à obtenir un mélange intime de la pâte de cacao et du sucre (**Daverio, 2005**). Alors, pour s'assurer de la qualité de chocolat et pour répondre aux exigences accrues des consommateurs surtout en termes de qualité sanitaire, les organismes de la santé publique et les industriels font appel à plusieurs démarches de certification d'assurance qualité. Parmi ces démarches, le système HACCP ou « Hazard Analysis Control Critical Point » constitue un système de gestion de la qualité garantissant l'innocuité et la qualité d'un produit fini issu d'une ligne de fabrication (**Bonne et al, 2005**). Vu que, le système HACCP permet de maîtriser les points critiques qui sont les étapes potentielles de la chaîne de fabrication. Il garantit une amélioration continue de la qualité de la production dans l'usine. La réussite de ce système repose sur une bonne identification et une application efficace de programme pré requis qui constitue un préalable indispensable de la démarche (**Beckett, 2009**).

2.1. Les principales étapes de la fabrication du chocolat

La fabrication du chocolat est un processus très long qui passe par des étapes très importantes et inévitables (la figure 13 résume les étapes de la fabrication) (**Daverio, 2005**). :

2.1.1. Malaxage

Dans un pétrin rond avec une base horizontale circulaire, se mettent les ingrédients suivants : la pâte de cacao (maintenue fluide par la chaleur), beurre de cacao, sucre en poudre (saccharose), le tout est mélangé très intimement pour obtenir une masse fluide et grasse. On obtient du chocolat noir. Pour fabriquer du chocolat au lait, on ajoute dans le mélangeur du lait en poudre. Le produit final est une masse homogène de texture granuleuse avec un goût agréable (**Gillet, 1996; Daverio, 2005**).

2.1.2. Broyage-affinage

Il se fait dans des broyeurs à cinq cylindres superposés de plus en plus serrés et tournant de plus en plus vite. La pression y est de 30 bars. Le but de cette opération est de réduire la taille des particules à moins de 25 μ (**Gillet, 1996; Daverio, 2005**). Pour certaines

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

chocolatières, l'affinage s'arrête là, mais le chocolat de bonne qualité qui répond aux exigences du consommateur doit subir un traitement supplémentaire, le conchage (**Daverio, 2005**).

2.1.3. Etuvage

Cette opération est nécessaire pour les chocolats peu riches en matières grasses, dont la pâte est sèche. Ils séjournent dans une étuve à 65°-70° pendant deux à plusieurs jours (**Gillet, 1996**).

2.1.4. Conchage

C'est l'opération primordiale en chocolaterie, parce qu'elle permet d'obtenir un chocolat stable. Elle s'effectue dans de grandes cuves, les conches. En brassant doucement à chaud la pâte de cacao liquide, chauffée à une température 80 à 85°C pour le chocolat noir et 55 à 60°C pour le chocolat au lait. La pâte est continuellement brassée, agitée, malaxée, étirée pendant 24 à 72 heures (**Daverio, 2005 ; Beckett, 2009**). Il vise à rendre la pâte plus malléable, à réduire son taux d'humidité et à en éliminer l'acidité restante. La texture finale est lisse, onctueuse et brillante et possède un arôme. En plus, durant cette étape les fabricants de chocolat ajoutent la lécithine pour favoriser le glissement des particules de chocolat les unes sur les autres, ainsi que des parfums (vanilline, arôme artificiel) (**Daverio, 2005**). Après le conchage, le chocolat est stocké sous forme liquide pour favoriser le transport en citerne pour subir le Tempéage (Figure 10) (**Daverio, 2005**).



Figure 10 : image illustrant l'opération de conchage (**Daverio, 2005**).

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

Le conchage prolongé transforme la pâte grumeleuse en un chocolat velouté et très onctueux (Daverio, 2005). Les effets du conchage sont à la fois mécaniques, physiques et chimiques :

2.1.4.A. Les effets mécaniques

Le frottement des particules de cacao les unes contre les autres conduits à l'abrasion des angles, ce qui diminue la dimension des particules. Ces particules polies et arrondies améliorent la plasticité de chocolat qui devient lisse, brillant et onctueux. D'autres grains peuvent libérer le beurre de cacao, ce qui a une influence sur le velouté du chocolat (Gillet, 1996).

2.1.4.B. Les effets physiques

L'ajout de beurre de cacao, en fin de conchage, affecte l'homogénéité du chocolat. Le conchage a également comme fonction d'aérer, d'émulsionner sous l'action de la température, le taux d'humidité diminue (Gillet, 1996).

2.1.4.C. Les effets chimiques

La perte d'astringence lors du conchage est attribuée à d'un des composés phénoliques et volatils comme les acides, les aldéhydes, les esters et les pyrazines. Une modification organoleptique est causée par l'intervention de saccharose en glucose et en fructose. Ajout de lécithine de soja, émulsifiant naturel, qui garantit au mélange une meilleure fluidité et une stabilisation (Gillet, 1996).

Le résultat est l'obtention d'une pâte fine, onctueuse, moelleuse, fondante, d'apparence lisse et brillante (Gillet, 1996).

2.1.5. Tempérage

Cette opération complexe assure au chocolat son aspect brillant, sa casse, sa bonne conservation, son onctuosité, ainsi que sa facilité de travail (moulage et enrobage). Il permet de passer de l'état liquide à l'état solide (Gillet, 1996; Daverio, 2005).

- ❖ en fonction de la Température le beurre de cacao peut être solidifié en différentes structures cristallines (17 à 35°C), en assurant une cristallisation homogène. il existe cinq formes cristallines de beurre de cacao qui sont : γ , α , β'' , β' , stable β (Gillet, 1996; Daverio, 2005) ;

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

- ❖ la température idéale du chocolat destiné au moulage ou à l'enrobage se situe entre 24 et 28°C (Daverio, 2005).

Le Tempérage sert à refroidir la pâte de chocolat, en assurant une meilleure répartition des cristaux de matières grasses dans la masse, puis à réchauffer celle-ci pour lui rendre la fluidité nécessaire au travail. Ce cycle de refroidissement et réchauffage est réalisé dans une tempéreuse, cuve à doublemanteau à circulation d'eau, dotée d'un brasseur et chauffée au bain-marie pendant 30 à 40 minutes (Daverio, 2005) (figure 11).



Figure 11 : image montrant un mini-tempéreuse (Afoakaw, 2010).

2.1.6. Moulage-enrobage

Le Tempérage a donné à la pâte de chocolat la fluidité nécessaire au moulage. Le chocolat est déversé dans des moules, qui sont soumis à des trépidations permettant à la masse de se tasser et de prendre la forme des moules et d'éliminer les bulles d'air. Les moules passent finalement dans un tunnel de réfrigération, se solidifient à environ 6-7°C, se rétracte dans les moules en vue du démoulage. Après le démoulage les tablettes sont automatiquement emballées et conditionnées (Daverio, 2005).

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

L'enrobage est une technique qui consiste à recouvrir le cœur des bouchées. Pour cela, mettez le chocolat dans une enrobeuse où il est agité et maintenu à une température élevée pour qu'il reste liquide (Daverio, 2005) (Figure 12).



Figure12 : image illustrant le moulage du chocolat en grosses tablettes (Afoakaw, 2010)

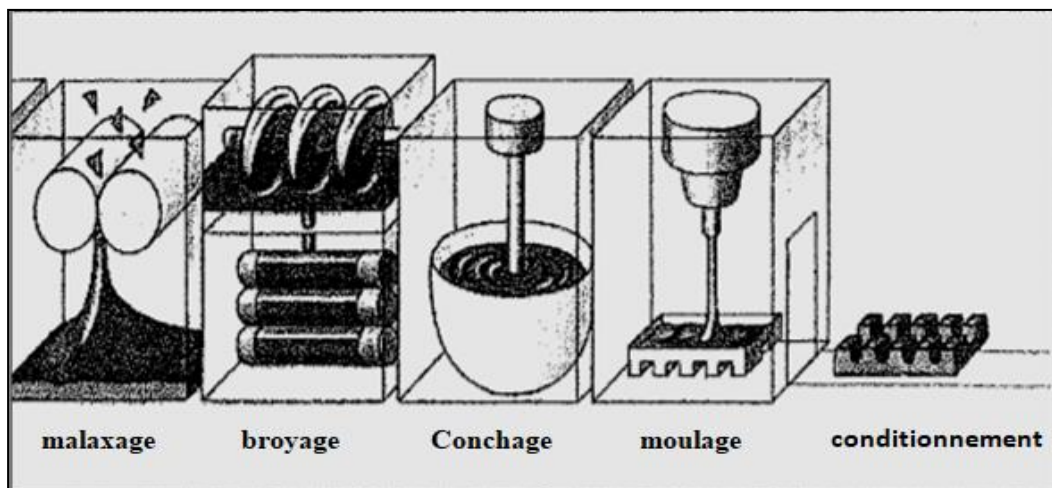


Figure 13 : schéma du processus de fabrication de chocolat (Gillet, 1996).

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

2.2. L'application de système HACCP dans la fabrication de chocolat

Pour obtenir un système d'autocontrôle correct, les éléments suivants doivent être respectés.

- ❖ bonnes pratiques d'hygiène et bonne pratique de fabrication comme base d'un travail hygiénique pour mettre en place le système HACCP (**Beckett, 2009**) ;
- ❖ le système HACCP permet de prévenir, d'éliminer ou de réduire les risques pour la salubrité des aliments (**Delacharlerie et al., 2008**) ;
- ❖ un système de gestion comme cadre pour assurer la continuité de la garantie de la sécurité alimentaire et de l'autocontrôle et afin de garantir des améliorations en continu (**Burndred, 2009**).

2.2.1. Définition du système HACCP

Le concept HACCP est l'acronyme de « Hazard Analysis Critical Control Point » « Analyse des dangers et contrôle des Points critiques pour leur maîtrise ». C'est un système international efficace et préventif qui vise à garantir la sécurité et la qualité des aliments, c'est une approche documentée et vérifiable pour l'identification des points critiques et pour la mise en œuvre d'un système de surveillance (**Jenner et al., 2005 ; Burndred, 2009 ; Lu et al., 2014**). Il permet de prévenir, réduire ou d'éliminer les risques biologiques, chimiques et physiques possibles pour la salubrité des aliments, y compris ceux qui découlent de la contamination croisée (**Jenner et al., 2005 ; Burndred, 2009 ; Lu et al., 2014**).

2.2.2. Objectifs du système HACCP

Les objectifs de système HACCP selon **Lu et al (2014)** sont :

- ❖ l'utilisation du système HACCP dans la fabrication de chocolat permet de garantir efficacement la sécurité et la qualité des aliments, élargir le marché et améliorer le niveau de gestion et à renforcer la conscience de la sécurité de leur personnel ;
- ❖ permet aussi d'identifier les dangers biologiques, chimiques et physiques qui peuvent exister à chaque étape de la production de chocolat ;
- ❖ vise à sélectionner les points critiques de contrôle et d'établir les limites critiques, un système de surveillance, les mesures correctives, les enregistrements et les vérifications ;
- ❖ la documentation et les enregistrements générés dans le système HACCP peuvent facilement aider à retracer l'origine de la contamination (**Lu et al., 2014**).

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

2.2.3. Principes du système HACCP

Les principes du HACCP ont été clairement définis par le Codex Alimentarius et sont considérés comme l'un des outils les plus utiles pour l'identification proactive des risques alimentaires (Burndred, 2009).

2.2.3.A. Principe 1 : Procéder à une analyse des risques

Il permet de déterminer les risques liés à un produit spécifique au cours de transformation, puis à recueillir et à évaluer des renseignements sur les risques et les conditions qui y donnent lieu pour déterminer lesquels ont un impact significatif sur la salubrité des aliments et méritent d'être abordés dans le plan HACCP (jenner et al., 2005).

2.2.3.B. Principe 02 : établir les points critiques de contrôle

Un point de contrôle critique est un point, une étape inacceptable au niveau de la qualité organoleptique du produit peut être éliminé ou réduit (jenner et al., 2005 ; Delacharlerie et al., 2008).

L'établissement de points critiques de contrôle se base sur l'évaluation de la gravité et de la probabilité d'apparition des défauts et sur les mesures qui peuvent être prises pour éliminer, prévenir ou réduire ces défauts à une étape déterminée du procédé (Delacharlerie et al., 2008).

L'objectif principal de l'identification des points critiques de contrôle est la conduite des opérateurs à développer et à formaliser les mesures préventives ainsi que les procédures de surveillance essentielles aux différents stades de production (Delacharlerie et al., 2008).

2.2.3.C. Principe 03 : Établir les limites critiques

Les limites critiques sont des critères qui permettent de distinguer les produits sûrs des produits qui ne le sont pas. Des limites critiques doivent être établies pour chaque PCC. Elles doivent être clairement définies et mesurables (jenner et al., 2005).

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

2.2.3.D. Principe 04 : mettre en œuvre des procédures de surveillance

La surveillance est un processus qui permet d'établir une série d'observations ou de mesures pour déterminer si un PCC est maîtrisé. Afin d'assurer que la limite critique est atteinte (jenner et al., 2005).

2.2.3.E. Principe 05 : déterminer les mesures correctives à prendre

Les mesures correctives sont des activités préétablies qui sont mises en place si l'aliment est dangereux. Ces mesures consistent à assurer le contrôle du risque, à déterminer le sort du produit touché et à éviter que le problème ne se reproduise (jenner et al., 2005).

2.2.3.F. Principe 06 : appliquer des procédures de vérification

Utilisation de méthodes, de procédures, de tests et d'autres évaluations, en plus de la surveillance, pour déterminer la conformité au plan HACCP. La vérification confirme que le plan HACCP est fonctionnel (jenner et al., 2005).

2.2.3.G. Principe 07 : Établir des procédures de tenue de registres et de documentation

Les plans HACCP doivent être documentés. Les registres requis de surveillance et de vérification doivent être complets et précis (jenner et al., 2005).

2.2.4. Les éléments d'un système HACCP

Il est important de noter que la sécurité alimentaire dans les processus de fabrication du chocolat doit être gérée par la mise en œuvre de programmes préalables et du système HACCP (Burndred, 2009).

Un système HACCP efficace comporte deux éléments : les programmes préalables et le plan HACCP.

Système HACCP = programmes préalables + plan (s) HACCP (Jenner et al., 2005).

2.2.4.A. Programmes préalables

Les programmes préalables sont des étapes ou des procédures universelles/ qui permettent de contrôler les risques liés au personnel et à l'environnement de fabrication des

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

aliments, en créant des conditions favorables à la production de produits alimentaires sûrs (Jenner et al., 2005).

ils sont mis en place avant les plans HACCP car ils permettent de contrôler un grand nombre de risques généraux qui n'ont pas à être visés dans un plan HACCP, ce qui rend le système plus efficace et plus facile à appliquer (Jenner et al., 2005 ; Burndred, 2009).

2.2.4.B. Plans HACCP

Un plan HACCP est un document écrit basé sur 7 principes et comporte 12 étapes. Il permet de contrôler les risques liés directement aux aliments transformés, aux ingrédients ou au processus de fabrication qui ne sont pas contrôlés par les programmes préalables (Jenner et al., 2005).

2.2.5. Les différents dangers qui peuvent être détectés par le système HACCP

Les dangers désignent les caractéristiques ou l'état des aliments qui peuvent causer des maladies, des lésions ou des pertes de vie (jenner et al., 2005).

2.2.5. A. Les dangers physiques

Les dangers physiques sont des corps étrangers qui sont durs et/ou tranchants. Ils peuvent être définis comme des matières présentes dans un aliment, soit qu'elles sont d'origine intrinsèques ou extrinsèques, sont indésirables.

Un corps étranger intrinsèque est associé à l'aliment lui-même, par exemple la coque d'une noix ou la tige d'un raisin sec (Burndred, 2009 ; Afoakwa et al., 2013) . Alors qu'un corps étranger extrinsèque est introduit à partir de sources externes telles que le verre, le métal, le bois, le plastique, les insectes et les cheveux humains (Beckett, 2009 ; Afoakwa et al., 2013).

Ce type de dangers peut causer des blessures physiques, telles que des coupures de la bouche, de la gorge ou du système digestif, ou un étouffement (jenner et al., 2005; Burndred, 2009).

2.2.5.B. Les dangers chimiques

Il existe deux sources principales de contamination chimique pendant la fabrication du chocolat :

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

- ❖ la contamination intrinsèque des matières premières entrantes ;
- ❖ la contamination qui peut se produire au cours du processus de production.

L'exposition aux contaminants chimiques à fortes doses peut entraîner une toxicité pour le consommateur, par exemple une intoxication aiguë due à l'ingestion de niveaux élevés de plomb (**Burndred, 2009 ; Afoakwa et al., 2013**).

A faible dose, il existe des conséquences néfastes à long terme sur la santé comme un dysfonctionnement des reins, des lésions du squelette ou des déficiences de la reproduction lorsque le cadmium s'accumule dans l'organisme pendant de nombreuses années (**Beckett, 2009 ; Afoakwa et al., 2013**).

Les matières premières d'origine végétale et animale sont potentiellement affectées par un certain nombre de contaminants tels que les métaux lourds, les mycotoxines et les pesticides (**Afoakwa et al., 2013**).

2.2.5.C. Les dangers microbiologiques

Ils sont principalement présents lors de l'arrivée des matières premières et lors d'une manipulation inappropriée (**Afoakwa et al., 2013**).

Le principal danger microbiologique lors de la fabrication et l'utilisation du chocolat est les salmonelles, qui peuvent être introduites dans le processus de fabrication du chocolat par le biais des matières premières entrantes ou par une hygiène inadéquate.

Un certain nombre d'intoxications alimentaires ont été associées à la présence de *Salmonella* dans le chocolat. Bien que le chocolat soit un produit relativement sec, avec une faible activité d'eau, généralement comprise entre 0,4 et 0,5 permettant la survie des salmonelles dans les produits en chocolat pendant plus de temps que dans d'autres matrices alimentaires (**Burndred, 2009**).

Les symptômes de la salmonellose sont la diarrhée, les vomissements, la fièvre et les douleurs abdominales, qui peuvent durer jusqu'à sept jours. Bien que ce soit rarement le cas, d'être mortelle (**Burndred, 2009**).

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

2.2.5.D. Dangers liés aux allergènes

Une allergie alimentaire est une hypersensibilité alimentaire impliquant le mécanisme immunologique (jenner et al., 2005; Burndred, 2009). Pour chaque danger lié aux allergènes identifié, il est essentiel de mettre en place une mesure de contrôle efficace. Pour les allergènes présents sous forme d'ingrédient, la mesure de contrôle est la suivante : l'étiquetage clair de l'ingrédient sur l'emballage. Pour les ingrédients mineurs qui contiennent un allergène qui, autrement, ne serait pas présent dans la liste des ingrédients, il est bon d'examiner s'il est possible de remplacer l'ingrédient par un autre ayant une fonctionnalité similaire. Mais ne présentant pas de risque allergène (Burndred, 2009). Pour les allergènes présents sous forme de traces potentielles dans le produit fini en raison d'un contact croisé, l'étiquetage de précaution est nécessaire. Afin d'offrir à l'utilisateur une solution de rechange. L'évaluation des allergènes dans l'usine doit être extrêmement minutieuse et systématique afin de s'assurer que l'ensemble des ingrédients, des produits, des procédés sont pris en compte dans l'usine, et que toutes les sources possibles d'allergènes sont identifiées (Beckett, 2009).

2.2.6. Les étapes du système HACCP

Pour aboutir à un système HACCP complet et fonctionnel, les étapes qui doivent être suivies sont illustrées dans le diagramme suivant :

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

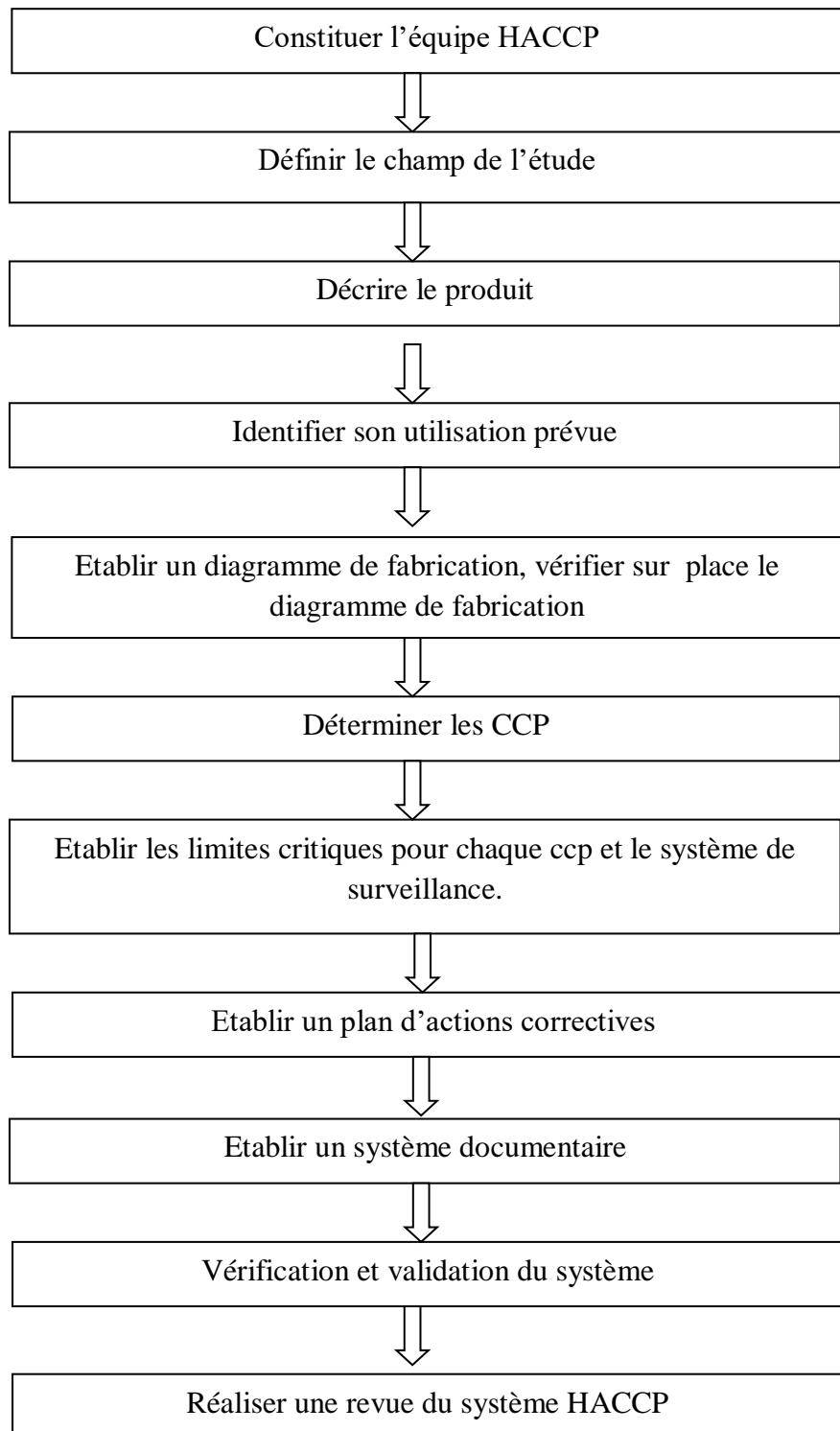


Figure 14 : les étapes de système HACCP (Delacharlerie et al ., 2008).

Chapitre 02 : Procédé de fabrication et mise en place du système HACCP durant la fabrication du chocolat

2.2.7. Amélioration du système HACCP

Voici quelques aspects à envisager pour améliorer le système HACCP

- ❖ faciliter la surveillance ;
- ❖ ranger tous les registres dans un endroit où on pourra les trouver rapidement ;
- ❖ assurez de confier les activités de surveillance et de vérification à la personne la plus qualifiée ;
- ❖ faire un suivi des mesures correctives ;
- ❖ assurer qu'il y a une relève pour les membres, les surveillants et la coordonnatrice ou le coordonnateur de l'équipe HACCP pour les jours fériés et en cas de maladie (jenner et al., 2005).

Chapitre 03

Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

Chapitre 03: Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

La production de chocolat implique la prise en considération d'un grand nombre de paramètres et de nombreux instruments. Pour utiliser correctement ces instruments, il est très nécessaire que l'équipe de production et les techniciens aient les connaissances et les compétences nécessaires pour comprendre les opérations et interpréter les données afin de fournir des solutions significatives aux problèmes liés à la production. En outre, il est souhaitable de collaborer avec les fabricants d'instruments pour poursuivre le développement et améliorer l'instrumentation (**Beckett, 2009**).

Actuellement il est très difficile de définir ce qui est conventionnel et ce qui ne l'est pas. Chaque chocolaterie tend à être différente, et certains fabricants modifient l'équipement standard pour répondre à leurs besoins individuels. Plusieurs nouvelles approches ont été développées, qui pourraient à long terme être utilisées à plus grande échelle (**Beckett, 2009**).

3. Les nouvelles techniques analytiques

Les techniques d'analyse permettent de déterminer la composition d'un produit, par la séparation des constituants d'un échantillon, l'identification et la détermination de leurs quantités respectives. En distinguant l'analyse qualitative qui révèle la nature chimique des substances présentes et l'analyse quantitative qui détermine la quantité des analytes présents dans l'échantillon (**Ranger, 2015**).

3.1. Les analyses physico-chimiques

3.1.1. L'ultrason

3.1.1.A. principe

Il est maintenant connu que les ultrasons à haute intensité créent des radicaux libres, qui favorisent l'oxydation et d'autres réactions, ce qui peut être bénéfique pour certains types de chocolat, mais nuisible pour d'autres. Par exemple, l'oxydation peut favoriser le développement de la saveur dans les chocolats nature, mais donne un goût désagréable dans les chocolats au lait. Le traitement par ultrasons donne des meilleurs résultats avec le chocolat noir ou amer par la réduction de temps de conchage (**Beckett, 2009**).

L'utilisation des ultrasons se fait dans l'étape de conchage de chocolat, les forces d'accélération et de ralentissement à haute fréquence sont utilisées pour transmettre de l'énergie au produit, ce qui pourrait avoir les effets suivants :

Chapitre 03: Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

- ❖ accélération de certaines réactions chimiques sans changer la forme de la réaction, par exemple l'extraction des tannins de la pâte de cacao ;
- ❖ libération des gaz de la masse ;
- ❖ formation d'oxygène et d'ozone chargés électrostatiquement, provoquant ainsi une certaine oxydation ;
- ❖ homogénéisation des ingrédients (**Beckett, 2009**).

3.1.1.B. Avantages des ultrasons

Les avantages des ultrasons selon **Beckett (2009)** sont :

- ❖ les ultrasons améliorent la texture du produit final et le rendent moins collant dans la bouche. Parce qu'ils facilitent le Tempérage de chocolat ;
- ❖ la réduction des coûts de production pour retarder le gonflement des graisses dans le chocolat ;
- ❖ l'utilisation des ultrasons rend le processus de trempe plus robuste et donne des produits présentant une contraction, une brillance et une résistance optimales (**Beckett, 2009**).

3.1.2. Application de la méthode AAS pour l'analyse des contaminants dans le chocolat

Pour la détermination des métaux lourds dans les matières premières végétales et des produits alimentaires finis, on utilise les différentes méthodes d'analyse, y compris les techniques spectrales d'analyse (**Țislinscaia, 2016**).

3.1.2.A. Principe de la spectrométrie d'absorption atomique (AAS)

C'est une méthode qui consiste à doser un ou plusieurs éléments métalliques (Cu, Zn) dans le chocolat. Elle utilise la propriété de certains éléments chimiques de capter ou d'émettre la lumière (UV et/ou visible) lorsqu'ils sont chauffés à très haute température au sein d'une flamme ou dans un four (**Țislinscaia, 2016**) (tableau 02).

Chapitre 03: Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

Tableau 02 : D'autres méthodes utilisées pour l'analyse des contaminants métalliques

Techniques	Principes
Spectroscopie d'émission	C'est une technique permettant d'analyser qualitativement et simultanément plusieurs éléments. En plus, elle effectue une mesure quantitative de l'émission optique provenant des atomes stimulés, pour déterminer la concentration de la substance à analyser. Les atomes ou les molécules qui sont stimulés à de hauts niveaux d'énergie peuvent se désintégrer à des niveaux plus bas en émettant des radiations de l'émission optique provenant des atomes stimulés (Tislinscaia, 2016).
Spectrophotométrie	Il s'agit d'une méthode analytique quantitative qui se base sur la mesure d'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique dans une solution (Tislinscaia, 2016).
Voltampérométrie	C'est une méthode électrochimique basée sur une variation contrôlée du potentiel électrique appliqué à l'échantillon. Elle est utilisée pour étudier les propriétés redox des structures d'interface et de composés chimiques à l'interface de l'électrode dans une solution (Tislinscaia, 2016).
Polarographie	C'est une forme particulière de la Voltampérométrie qui utilise une électrode à gouttes tombantes de mercure. Méthode d'analyse des oxydations et des réductions en solution (Tislinscaia, 2016).
Spectrométrie de fluorescence X	Il s'agit d'une méthode d'analyse permettant la détection et la quantification des éléments présents dans un échantillon liquide, solide ou en poudre. Cette technique utilise des phénomènes physiques qui ont été découverts et développés dans le domaine de la physique quantique (effet photoélectrique, émission spontanée, diffraction des rayons X) (Ranger, 2015).

Chapitre 03: Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

3.1.3. Analyse par spectroscopie proche infrarouge

La lumière infrarouge correspond à une radiation de type électromagnétique. Le spectre électromagnétique est divisé en plusieurs régions : rayons gamma, rayons x, l'ultraviolet, le visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radios fréquences (**Ranger, 2015**).

La spectroscopie proche infrarouge (NIR) est utilisée comme alternative rapide par rapport aux méthodes conventionnelles pour le contrôle de la qualité des fèves du cacao (**Hashimoto et al., 2018**). Elle permet de caractériser et de quantifier certaines substances chimiques. Par exemple, les teneurs en caféine, en théobromine et en polyphénols qui sont des composés chimiques reconnus par une saveur amère des aliments. Alors, la diminution de ces composés pendant la fermentation explique la disparition de l'amertume pour les cacaos bien fermentés (**Chen-Yen-Su et al., 2016**).

3.1.4. Chromatographie Liquide Haute Performance (CLHP)

C'est une méthode de séparation des constituants d'un mélange qui peut être simple ou complexe. Elle permet d'identifier et de quantifier les constituants du mélange (Figure 15) (**Ranger, 2015**).

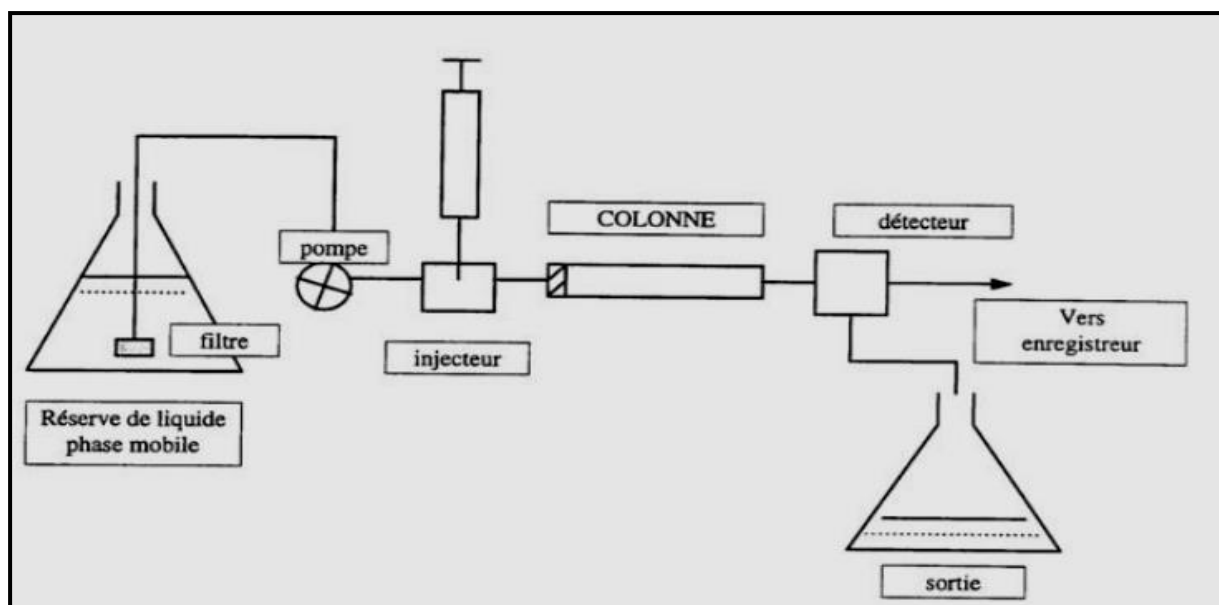


Figure 15 : Schéma illustrant le fonctionnement de l'HPLC (**Ranger, 2015**).

Chapitre 03: Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

3.1.5. La spectrométrie de masse

Elle représente une méthode d'analyse qui repose sur la détermination des masses des espèces atomiques ou moléculaires individuelles. Elle permet de recueillir des informations sur la nature, la composition et la structure des espèces présentes dans l'échantillon analysé (Figure 16) (Ranger, 2015).

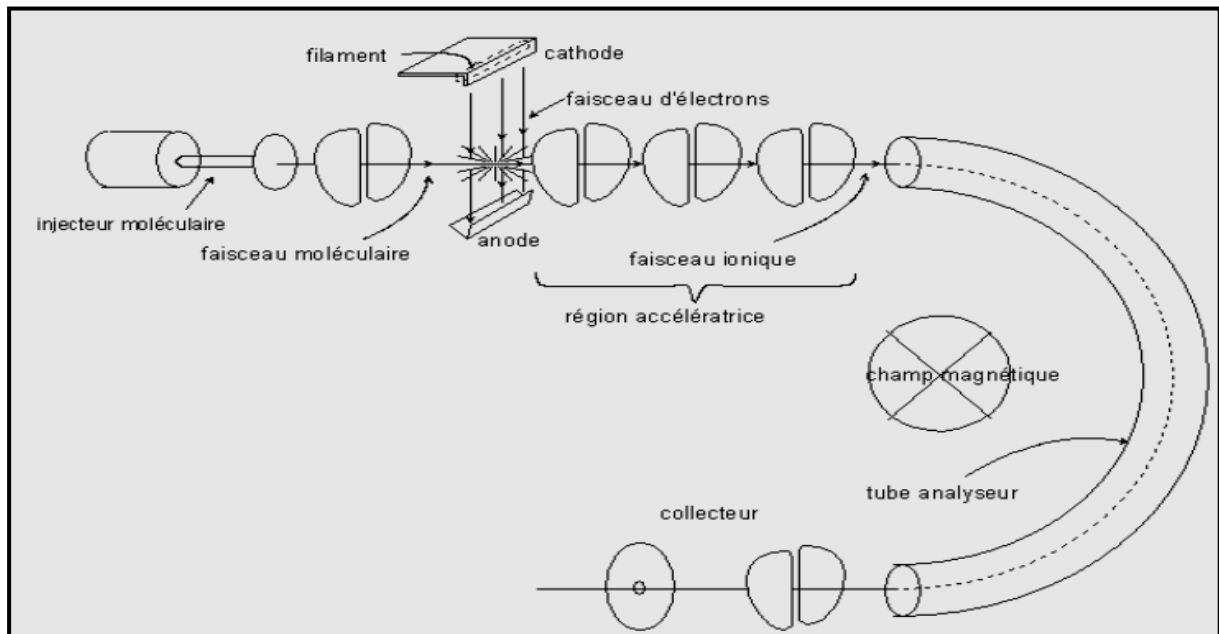


Figure 16 : Schéma simplifié d'un spectromètre de masse (Ranger, 2015).

3.1.6. La spectroscopie RMN

Elle est basée sur les propriétés magnétiques de certains noyaux atomiques. La RMN est une technique excellente dans l'étude de la formulation des mélanges complexes. Elle possède une très haute résolution et versatilité. Néanmoins, elle reste limitée par sa faible sensibilité par rapport aux autres méthodes analytiques (Ranger, 2015). Elle est considérée comme un outil précieux pour déterminer le degré de fermentation des fèves de cacao (Figure 17) (Santos et al., 2021).

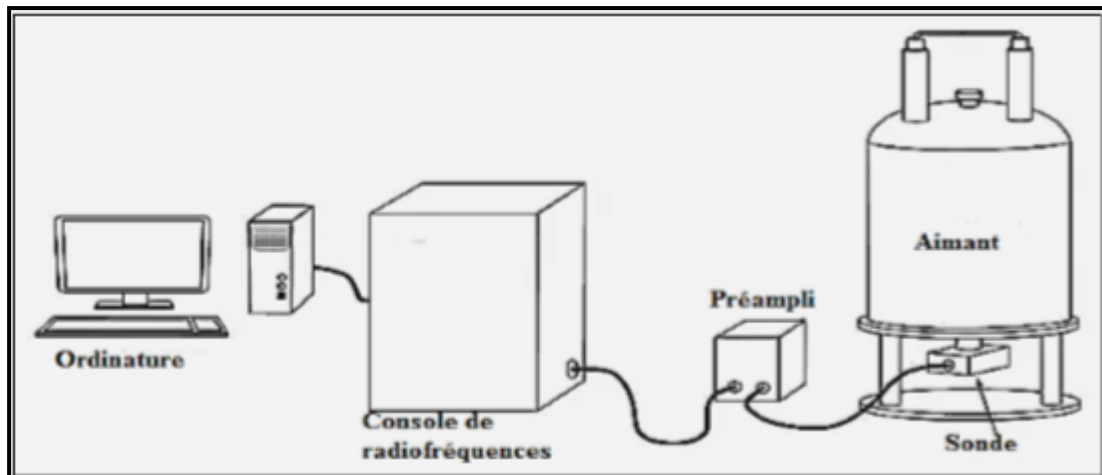


Figure 17 : image illustrant un dispositif de RMN (Damian et Berkowitz, 2020).

3.1.7. L'imagerie hyperspectrale couplée à la méthode MCR (la résolution de courbe multivariée)

Cette combinaison de différentes méthodes de prétraitement de données spectrales est un outil approprié pour l'analyse directe des constituants des échantillons de chocolat. Elle permet de réduire la haute fluorescence du lactosérum de chocolat (Zhang et al., 2015).

3.1.8. La colorimétrie

La poudre de cacao possède une couleur caractéristique qui est considéré comme un agent colorant pour aromatiser les aliments. Elle contient des colorants naturels, notamment des flavonoïdes, et c'est la possibilité d'agir sur ces éléments durant les processus d'alcalinisation et de torréfaction (End et Dand, 2015).

Les facteurs qui influencent les substances chimiques responsables du pouvoir colorant sont : la base génétique du cacao, les conditions climatiques, pédologiques et les processus post-récolte (End et Dand, 2015).

Une meilleure fermentation est très importante parce qu'elle est essentielle aux réactions d'oxydation et de condensation qui produisent de nouveaux composés tanniques donnant à la fève sa couleur brune caractéristique (End et Dand, 2015).

Chapitre 03: Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

3.2. Analyses microbiologiques

Les mesures des conditions microbiologiques sont essentielles pour garantir la sécurité alimentaire du produit.

Les matières premières doivent être contrôlées avec spécification pour vérifier leur conformité. En outre, l'état microbiologique des produits intermédiaires, par exemple la masse de cacao après débactérisation, est examiné (**Loser, 2009**).

Les conditions microbiologiques dans l'environnement (machines, équipements, zones de stockage) et l'environnement autour d'un site de production sont déterminées à l'aide de frottis collectés de manière systématique (**Loser, 2009**).

L'état des produits finis est le plus important et doit être déterminé conformément aux directives de l'usine et aux lois et réglementations sur la sécurité alimentaire. Cela implique la détermination systématique de la numération bactérienne globale et la vérification de l'absence de salmonelles. Très souvent ces analyses spécialisées sont effectuées dans un laboratoire central ou sous-traitées (**Loser, 2009**).

3.3. L'analyse thermique de chocolat

Il est essentiel de contrôler la qualité de produit dans les processus de fabrication et d'agir rapidement pour déterminer les causes d'altération de ses propriétés.

Les techniques de l'analyse thermique assurent une surveillance rapide des matières premières, la production et le stockage. Le chocolat fabriqué doit être caractérisé par une forme cristalline correcte pour répondre aux exigences du consommateur.

La DSC (Differential Scanning Calorimetry) est la technique d'analyse thermique la plus utilisée pour la caractérisation du chocolat. Elle peut être utilisée pour mieux comprendre la complexité du chocolat et évaluer les différentes formes cristallines, lorsque le contrôle précis de la température et du temps sont cruciaux (**Collected Applications Thermal Analysis, Food, No.13**).

3.3.1. Structure cristalline de chocolat

La complexité du chocolat résulte de la nature polymorphique de ses constituants gras qui peuvent apparaître sous différentes formes cristallines. Le comportement polymorphique

Chapitre 03:Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

est un domaine très vaste de la recherche alimentaire auquel appartient l'étude des structures cristallines (**Collected Applications Thermal Analysis, Food, No.13**).

3.4. L'analyse sensorielle pour la mesure de la qualité des fèves de cacao

L'homme reste un instrument de mesure indispensable pour l'évaluation de la qualité sensorielle d'un produit. Alors, ce type d'analyse est un examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes de sens (**Chen-Yen-Su et al., 2016**).

La dégustation ou analyse sensorielle est une méthode scientifique utilisée pour évoquer, mesurer, analyser et interpréter les réponses aux produits perçues à travers les sens de la vue, de l'odorat, du toucher, du goût et de l'ouïe (**End et Dand, 2015**).

3.4.1. Procédure d'évaluation sensorielle

Pour participer à cette étude, les volontaires doivent respecter quelques conditions (état de santé, disponibilité, motivation, intérêt, honnêteté) pour évaluer diverses caractéristiques (odeur, goût). La dégustation de la liqueur de chocolat se fait dans un état liquide à une température comprise entre 40 et 60°C pour aider à la libération des saveurs et des arômes volatils (**Chen-Yen-Su et al., 2016**).

Dans une petite spatule, le dégustateur met 1 ml de liqueur de cacao, ensuite, il la pose sur sa langue pendant 20s. Le profil aromatique apparaît en trois étapes : notes aromatiques initiales, notes aromatiques intermédiaires et notes aromatiques finales. L'arôme final est distingué par l'intensité des attributs aromatique la plus élevée (**End et Dand, 2015**).

La mise au point de la fiche d'analyse sensorielle par la méthode du libre profil (Elle consiste à élaborer une liste de termes descriptifs définis par chaque membre du jury pour caractériser les liqueurs de cacao) ou test de discrimination des échantillons. Lors du test de discrimination des échantillons, chaque descripteur est évalué sur une échelle allant de 0 à 10 pour chaque échantillon (**Chen-Yen-Su et al., 2016**).

La réponse sensorielle comprend 3 composantes :

- ❖ la composante qualitative, qui décrit la sensation perçue (goût amer, couleur foncée, arôme chocolat, ...) ;
- ❖ la composante quantitative, qui décrit l'intensité de cette sensation (faible, moyen, élevé, ou échelle de valeur, ...) ;

Chapitre 03: Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

- ❖ la composante hédonique, qui caractérise le plaisir/déplaisir ressenti par l'individu qui perçoit cette sensation (**Chen-Yen-Su et al., 2016**).

Cette réponse sensorielle doit être individuelle, non influencée par le vécu culturel et les préférences alimentaires du dégustateur, non changeante et stable dans le temps (**Chen-Yen-Su et al., 2016**).

3.4.2. Les instructions à respecter lors de dégustation

Les instructions à respecter lors de dégustation selon **End et Dand (2015)** sont :

- ❖ les dégustateurs ne doivent pas fumer, boire d'alcool ou de café, manger des aliments qui changent le sens du goût ;
- ❖ éviter l'utilisation d'eau de Cologne, de parfum et d'après-rasage forts. Il convient de se laver les mains avec un savon non parfumé avant la dégustation ;
- ❖ toute personne enrhumée ne doit pas participer lors de la préparation ou du déroulement d'une séance de dégustation ;
- ❖ éviter de parler avant que tout le monde n'ait terminé sa dégustation ;
- ❖ les dégustateurs doivent être confrontés à un large éventail de chocolats d'origines différentes pour se faire une idée exhaustive des associations liées aux descripteurs d'arômes du chocolat (**End et Dand, 2015**).

3.5. Les tests de l'analyse de qualité de fèves de cacao

La détermination des matières dérivées du cacao, fèves plates et corps étrangers est effectuée conformément à la méthode de détermination du poids spécifique. Et la détermination de fèves défectueuses /ou ardoisées et/ou de fèves violettes est réalisée par une épreuve à la coupe (**End et Dand, 2015**).

3.5.1. L'épreuve à la coupe (Le test de coupe)

C'est le type de test de qualité le plus utilisé pour les fèves de cacao. Elle est basée sur un examen visuel des surfaces coupées d'un échantillon de fèves et une évaluation du nombre de fèves défectueuses. C'est un test facile et rapide qui nécessite peu d'équipements ou de formation et qui peut-être réalisé pour déduire certaines caractéristiques qualitatives. Mais il est nécessaire de mettre en évidence des vérifications supplémentaires pour mesurer plus directement ces qualités (**End et Dand, 2015**).

Chapitre 03:Les nouvelles techniques analytiques de contrôle du chocolat

3.5.2. Grainage ou poids spécifique

Ce test permet de déterminer le nombre moyen de fèves de cacao entières aux 100g. Etablir des méthodes d'évaluation du poids spécifique par la préparation des échantillons d'aux moins 600g, qui sont criblé par un crible contenant des trous ronds de 5mm de diamètre. Ensuite, l'élimination de tous les résidus, corps étrangers, fèves plates et crabots. Un poids équivalents de fèves entières prélevées dans l'ensemble de l'échantillon est ajouté **(End et Dand, 2015)**.

Le développement de ces tests pour déterminer la qualité des fèves de cacao sera d'une grande importance pour l'assurance qualité dans les domaines de la transformation du cacao et du contrôle des matières premières dans les entreprises productrices de chocolat **(Santos et al., 2021)**.

3.5.3. Les paramètres de qualité de cacao et de fèves de cacao

- ❖ le cacao doit être correctement fermenté et séché, exempt de toute odeur étrangère ;
- ❖ le cacao doit respecter la teneur en humidité requise inférieure à 8 %, et les exigences de poids spécifique (100 ou 1 000 grammes) ;
- ❖ les fèves doivent être conformes aux limites de fèves ardoisées, plates, agglomérées, brisées, infestées, germées et exemptes de corps étrangers **(End et Dand, 2015)**.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

L'avis des gens sur le chocolat a été changé, parce qu'auparavant ils ont cru que le chocolat est très mauvais et qui a un impact négatif sur la santé. Et ce dernier c'est le résultat d'une consommation excessive de chocolat. De nombreuses recherches montrent l'effet bénéfique de chocolat sur la santé ou sur le côté psychologique. Celui qui rend le chocolat aimable par tout le monde, c'est son goût délicieux et sa valeur nutritionnelle.

Le chocolat est un produit à base de cacao et a une composition qui est habituellement bien définie par la législation. Avec les différents types de chocolat, la méthode de préparation reste un facteur majeur pour atteindre le résultat souhaité.

Il apparaît clairement que la sécurité des denrées alimentaires est un point capital pour toute entreprise agroalimentaire. Afin de répondre aux exigences du consommateur, l'HACCP est reconnu à l'échelle internationale comme le principal moyen de garantir la sécurité sanitaire des aliments tout au long de la chaîne de production et de distribution. La mise en œuvre d'un système HACCP fructueux nécessite une compréhension des coûts, des avantages et une connaissance approfondie des activités de l'entreprise et de l'état de son établissement. Il nécessite une attention et des efforts continus.

Les effets positifs de système HACCP- introduit dans une fabrique de chocolat - avait à la fois sur la qualité microbiologique du produit final et sur la gestion globale de la qualité/hygiène.

Ce mémoire a traité quelques-uns des nombreux outils analytiques qui sont disponibles pour la fabrication de chocolat. Dans le but d'obtenir une meilleure compréhension des changements dans les fèves de cacao pendant la fermentation et d'étudier la possibilité de futurs changements dans le goût du cacao. De nouvelles méthodes, incluant (le test de coupe, la colorimétrie, la spectroscopie de fluorescence, la spectroscopie NIR....) ont été utilisées pour examiner la qualité des fèves de cacao.

Chaque entreprise dispose de ses propres procédures et instruments, souvent développés en interne. Le plus important est qu'ils soient utilisés correctement pour fournir au consommateur des produits sûrs et de haute qualité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Abroiron , J., Hameur , E ., & Roux , E.(2004). Additifs alimentaires : Les l'écithines. **Université Paris Val de Marne .31p.**

Afoakwa ,E.O.(2010).Chocolate science and technology. John Wiley& Sons ,ISBN 978-14051-9906-3.311p

Afoakwa, E. O., Quao, J., Takrama, J., Budu, A. S., &Saalia, F. K. (2013).Chemical composition and physicalqualitycharacteristics of Ghanaiancocoabeans as affected by pulppre-conditioning and fermentation. *Journal of food science and technology*, 50(6), 1097-1105.

Barel, M. (2010). Le chocolat est-il bon pour la santé ? *La chimie et l'alimentation*, 124-134.

Barel, M. (2013). Qualité du cacao. L'impact du traitement post- récolte. Edition Quae. Versailles, France.

Beckett, S. T. (2009).Chocolate flow properties. *Industrialchocolate manufacture and use*, 1-733.

Bianchi-Demicheli, F., Sekoranja, L., &Pechere, A. (2013). Sexualité, cœur et chocolat. *Revue médicale suisse*, 9(378), 624-629.

Brayet, A. (2019). Le chocolat, un patrimoine européen?.Docteur en histoire des techniques. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.

Bryselbouy. P ; FABRY.(2007) ; guide technologique de la confiserie industrielle ; EDT ; Sepaic, Paris, 323P.

Bonne r., wright n., camberou l. Et boccas f (2005). Lignes directrices sur le HACCP, les Bonnes Pratiques de Fabrication et les Bonnes Pratiques d'Hygiène pour les PME ; Rapport du projet Programme EC-ASEAN de coopération économique sur les normes, la qualité et l'évaluation de conformité ; Edition 1 Comité Européen de Normalisation ; 105 p.

BurndredU (2009).foodsafetyin chocolate manufacture and processingIn : **Beckett, S. T. (2009).**Chocolate flow properties. *Industrialchocolate manufacture and use*, 530-549.

Références bibliographiques

- Chen-Yen-Su, A., Assemat, S., Davrieux, F., Descroix, F., Meile, J. C., Petit, T., & Sing, A. S. C. (2016).** L'analyse sensorielle: un outil de mesure de la qualité du cacao de l'océan Indien. *Travaux & documents*, (50), 48-56.
- Damian H J, Berkowitz S A (2020).** Biophysical characterization of proteins in developing biopharmaceuticals. Elsevier, Sudbury, MA, United States, 563 p.
- Daverio S (2005).** *Le chocolat dans tous ses états*. Thèse de doctorat en pharmacie, université henri Poincaré, NANCY 1, 164p.
- de Almeida, A. A. F., Gomes, L. M., Souza, V. L., & Valle, R. R. (2007).** Ecophysiology of the cacao tree. Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, 45662-000 Ilhéus, BA, Brasil. 2 Centro de Pesquisas do Cacao, CEPLAC, CP 07, 45600-000 Itabuna, BA, Brasil. *Corresponding author: alexalan@uesc.br, 19(4),
- Delacharlerie, S., de Biourage, S., Chéné, C., Sindic, M., & Deroanne, C. (2008).** *HACCP organoleptique* : Guide pratique. Presses Agronomiques de Gembloux.
- Dias, D. R., Schwan, R. F., & Lima, L. C. O. (2003).** Metodologia para elaboração de fermentado de cajá (*Spondias mombin* L.). *Food Science and Technology*, 23, 342-350.
- Dillinger, T. L., Barriga, P., Escárcega, S., Jimenez, M., Lowe, D. S., & Grivetti, L. E. (2000).** Food of the gods: cure for humanity? A cultural history of the medicinal and ritual use of chocolate. *The Journal of nutrition*, 130(8), 2057S-2072S.
- End, M., Dand, R. (2015).** CAOBISCO/ECA/FCC Fèves de cacao: Exigences de qualité de l'industrie du chocolat et du cacao.
- Eric, r. r. e. r. r. (2010).** *impacts de la libéralisation du commerce de la vanille sur les paysans producteurs dans le district de maroantsetra* (doctoral dissertation, université d'antananarivo).
- Gillet, M. L. (1996).** *Le chocolat: fabrication, réglementation et valeur alimentaire*. Thèse de doctorat en pharmacie, université de Limoges 1, 156p.
- Girard, S. (1984).** Guide du chocolat et de ses à-côtés. 1, 174. (M. Scandéditions, Éd.) France, 1^{re} édition - petites marques de stockage et/ou de lecture mais du reste en bon état d'ensemble. Envoi rapide et soigné dans une enveloppe à bulle depuis France. Récupéré sur Messidor Scandéditions

Références bibliographiques

- Hashimoto, J. C., Lima, J. C., Celeghini, R., Nogueira, A. B., Efraim, P., Poppi, R. J., & Pallone, J. A. (2018).** Quality control of commercial cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) by near-infrared spectroscopy. *Food analytical methods*, 11(5), 1510-1517.
- Jenner, T., Elliot, M., Menyhart, C., et Kinner, H. (2005).** Le HACCP. Advantage HACCP, document d'accompagnement. MAAO, canada. ISBN 0-7794-7117-2. 188p.
- Kokou, E. A., & Ngo-Samnick, E. L. (2014).** Production et transformation du cacao, collection Pro-Agro. CTA et ISF, 44.
- Lézou N, (2012).** La ligne Barth : préparation des grains & préparation masse, module de formation aux métiers du cacao pp. 10-12.
- Loser U (2009).** instrumentation. In : **Beckett, S. T. (2009).** Chocolate flow properties. *Industrial chocolate manufacture and use*, 493-678.
- Lu, J., Pua, X. H., Liu, C. T., Chang, C. L., & Cheng, K. C. (2014).** The implementation of HACCP management system in a chocolate icecream plant. *Journal of food and drug analysis*, 22(3), 391-398
- Montagna, M. T., Diella, G., Triggiano, F., Caponio, G. R., Giglio, O. D., Caggiano, G., ... & Portincasa, P. (2019).** Chocolate, "food of the gods": History, science, and human health. *International journal of environmental research and public health*, 16(24).
- Mossu, G, 1990.** Le cacaoyer : le technicien d'agriculture tropicale. Institut de Recherches de Café et du Cacao. paris.
- Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., Heath, M., & Lanaud, C. (2003).** Cacao domestication II: progenitor germplasm of the Trinitario cacao cultivar. *Heredity*, 91(3), 322-330.
- Paradis, L. I. (1979).** Le cacao précolombien: monnaie d'échange et breuvage des dieux. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 26(3), 181-199.
- Parker, G., Parker, I., & Brotchie, H. (2006).** Mood state effects of chocolate. *Journal of affective disorders*, 92(2-3), 149-159.

Références bibliographiques

Ranger, J. (2015) .Les techniques de Contrôle Analytique adaptées à la lutte contre les médicaments de contrefaçon, Thèse de doctorat en pharmacie, université de limoges 1, 109p.

Santos, I. A., Conceição, D. G., Viana, M. B., de Jesus Silva, G., Santos, L. S., & Ferrão, S.P. B. (2021). NIR and MIR spectroscopy for quick detection of the adulteration of cocoa content in chocolates. Food Chemistry, 349, 129095.

Țislinscaia, I. (2016). Application de la méthode AAS pour l'analyse des contaminants dans les produits de confiserie.

Waizel-Haiat, S., Waizel-Bucay, J., Magaña-Serrano, J. A., Campos-Bedoya, P., & San Esteban-Sosa, J. E. (2012). Cacao & chocolate: seduction and therapeutics. Anales Médicos de la Asociación Médica del Centro Médico ABC, 57(3), 236-245.

Zhang, X., de Juan, A. et Tauler, R. (2015). Résolution de courbe multivariée appliquée à l'analyse par imagerie hyperspectrale d'échantillons de chocolat. Spectroscopie appliquée, 69 (8), 993-1003.

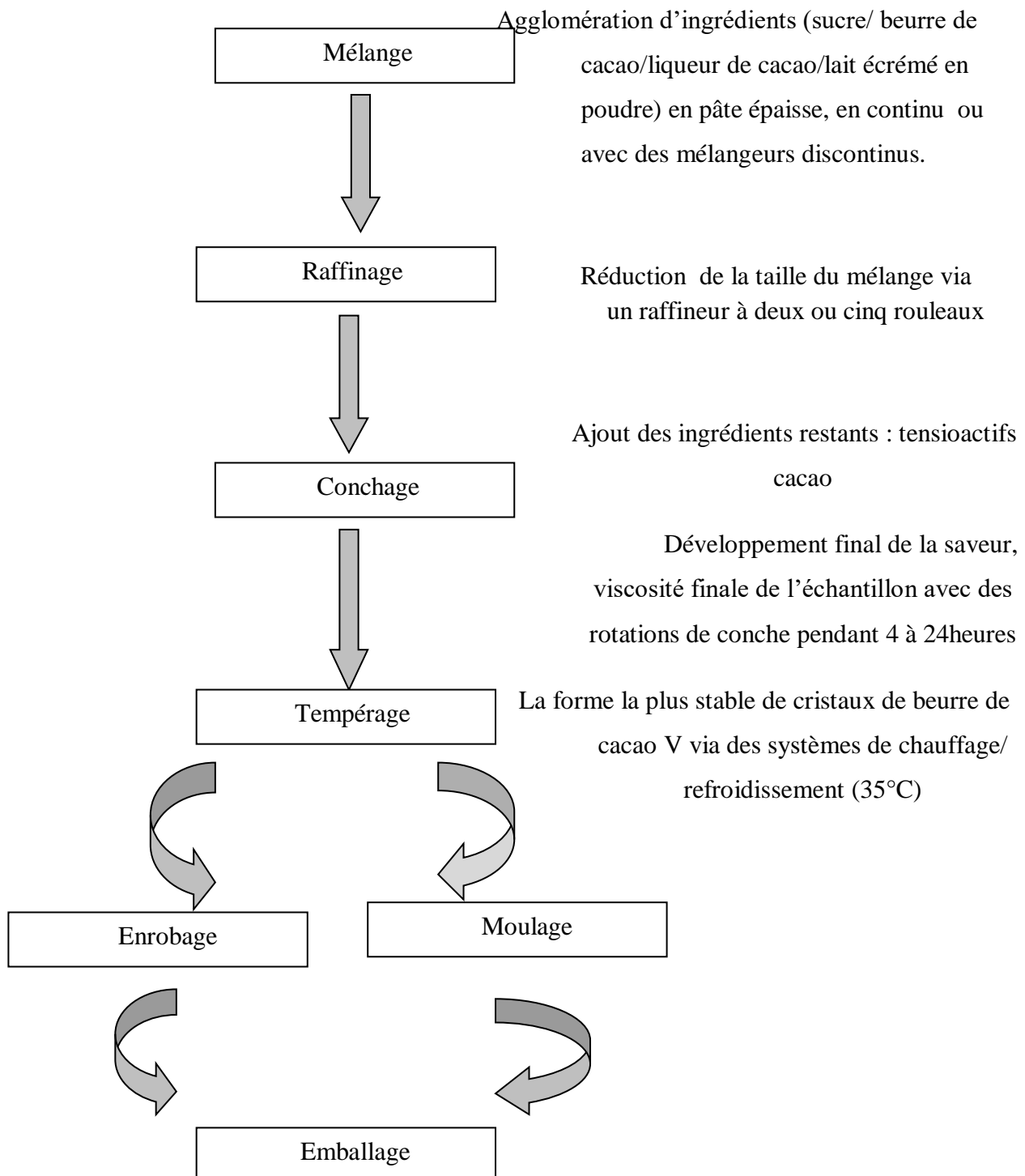
Collected Applications Thermal Analysis, Food, No.13.

Le meilleur de l'épicerie et de la gastronomie. (2016, 06). <http://www.guide-epicerie.com/les-differentes-formes-du-chocolat.html>. consulté le 28/05/2022.

Les annexes

Les annexes

Annexe I : diagramme de procédé de fabrication du chocolat (Afoakwa, 2010).



Annexe II

Pratiques de transport et d'expédition de cacao

Il est essentiel d'assurer que les fèves restent à l'abri de l'humidité et des matières contaminantes.

Des précautions doivent donc être prises pour empêcher la ré-humidification et le développement de moisissures. Les pratiques recommandées durant le transport sont les suivantes :

- ❖ couvrir les zones de chargement et de déchargement des fèves de cacao pour les protéger de la pluie;
- ❖ les sacs doivent être soigneusement empilés en rangées perpendiculaires pour une meilleure tenue et afin d'éviter la formation de colonnes verticales vides (cheminées);
- ❖ pour le cacao en sacs : charger les sacs avec précaution et les couvrir de matériel absorbant la condensation ; Pour le cacao en vrac : utiliser un emballage en plastique scellable si possible et s'assurer qu'il est séparé du plafond du conteneur ;
- ❖ vérifier que les ouvertures d'aération du conteneur ne sont pas bouchées ;
- ❖ vérifier les lots de cacao pour s'assurer qu'ils sont uniformément séchés, avec une teneur en humidité inférieure à 8 %, exempts de corps étrangers et conformes aux niveaux de défauts prescrits;
- ❖ s'assurer que les véhicules sont exempts de résidus de cargaisons précédentes (en particulier de produits allergènes) avant le chargement du cacao;
- ❖ vérifier que les véhicules sont bien entretenus et que le plancher, les parois et le plafond (dans les véhicules fermés) n'ont pas d'ouverture par lesquelles des fumées d'échappement ou de l'eau de pluie pourraient pénétrer dans la cargaison de cacao. Les bâches et plastiques utilisés pour couvrir la cargaison doivent également être propres et non troués ;
- ❖ choisir un endroit approprié pour placer le cacao sur le navire, de façon à minimiser le risque de fluctuation de température et de contamination (éviter l'arrimage sans protection sur le pont supérieur et la proximité de chaudières, réservoirs thermiques ou cloisons). Les produits hautement inflammables, dangereux ou toxiques ne doivent jamais être entreposés près des fèves de cacao ;

Les annexes

- ❖ les opérateurs doivent choisir des prestataires de services de transport qui respectent les bonnes pratiques de transport recommandées (**End et Dand, 2015**).