

الشعبية الجزائرية الديمقراطية
République Algérienne Démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Faculté des Sciences

Département de Biologie

En vue de l'obtention du Diplôme de Master II

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Science Alimentaire

Spécialité : Nutrition et Sciences Alimentaires

Thème

Dosage des paramètres physicochimiques de la matière première durant la fabrication du chocolat de la firme « Palmary »

Réalisé par : **BOULAKAEZ KARIM**

BOUZAOUYA KHALED

Soutenu le : **20 / 09 / 2023**

Devant le jury :

Dr. Belblidia H.	MCB	UMBB	Présidente
Dr. AROUNE.D	MCB	UMBB	Examineur
Dr. Lechekhab Y.	MCA	UMBB	Promotrice

Promotion : 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir guidé et accompagné à chaque étape de notre cheminement.

*Nous sommes sincèrement reconnaissants envers **Madame le Docteur Belblidia H** notre présidente de jury et **Madame le Docteur Aroune D**, notre examinateur qui sont les membres de jury de notre mémoire de fin d'étude, dont l'expertise et le soutien ont joué un rôle clé dans notre réussite académique.*

*Un grand merci à notre promotrice **Madame le Docteur Lechkhab Y**, pour sa guidance éclairée, son engagement et son dévouement. Ses conseils avisés ont été un pilier sur lequel nous nous sommes appuyés pour avancer et progresser dans nos travaux.*

*Nous souhaitons également adresser nos remerciements les plus sincères à **l'équipe du laboratoire de PALMARY** Leur encadrement, leurs conseils et leur soutien constant ont été d'une importance cruciale pour la réussite de notre stage.*

*Nous aimerons adresser nos remerciements spéciaux à notre **co-promoteur monsieur Abde El Rahim**. Son implication et ses efforts conjoints avec les nôtres ont enrichi notre expérience et ont grandement contribué à la réussite de notre projet.*

*Enfin, un merci chaleureux à notre amie **Saidi Kaltoum** pour son aide précieuse. Son soutien et ses contributions ont été d'une grande importance pour surmonter les défis et avancer dans nos objectifs*

Dédicace

Avant toute chose je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la sante, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Je dédie c modeste travail à mes chers parents, qui m'avez dirigé et suivi pendant toute.

Je vous offre toutes mes années d'étude ainsi que mon diplôme.

Je ne pourrai jamais oublier d'exprimer ma profonde gratitude à ma famille.

A mon binôme Karim qui m'a accompagnée durant tout le déroulement de ce projet avec beaucoup de sagesse et perfection.

A tous mes amis, et surtout ma promotion (2018/2023).

Khaleed

Dédicace

Avant toute chose je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la sante, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Je dédie c modeste travail à mes chers parents, qui m'avez dirigé et suivi pendant toute.

Je vous offre toutes mes années d'étude ainsi que mon diplôme.

Je ne pourrai jamais oublier d'exprimer ma profonde gratitude à ma famille.

A mon binôme KHALED qui m'a accompagnée durant tout le déroulement de ce projet avec beaucoup de sagesse et perfection.

A tous mes amis, et surtout ma promotion (2018/2023).

Karim

Liste des abréviations

AT : Acidité Titrable.

UV : volume

A : l'acidité

g/L : gramme sur litre

H : humidité

IP : indice de peroxyde

Kg : kilogramme

m : la masse en gramme

M : mètre

MG : matière grasse

Mg : milli gramme

MGV : matière grasse végétale

ml : millilitre

n° : numéro

NaOH : l'hydroxyde de sodium

P : poids

PH : potentiel hydrogène

T : tonnes

T° : température

H⁺ : ion d'hydrogène

°D : degré Dornic

Meq/kg : milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme

KI : d'iodate de potassium saturée

KOH : hydroxyde de potassium

ISO : organisation internationale de normalisation

JORA : journal officiel

Listes des figures

Figure 1 : Cacaoyer à multiples cabosses.....	05
Figure 2 : Consommation annuelle de chocolat par année.....	13
Figure 3 : les couleurs des cabosses.....	14
Figure 4 : les méthodes de L'écabossage.....	15
Figure 5 : Fèves de cacao et leurs sous-produits de transformation.....	15
Figure 6 : De la récolte des cabosses aux fèves de cacao.....	15
Figure 7 : Processus de fabrication de poudre de cacao.....	17
Figure 8 : Schéma du processus de fabrication du chocolat	21
Figure 9 : diagramme de fabrication de chocolat.....	22
Figure 10 : raffineur de deux rouleaux.....	32
Figure 11 : raffineur de cinq rouleaux.....	33
Figure 12 : diagramme schématique de raffinage au rouleau en deux étapes...	34
Figure 13 : Taux d'humidité du cacao alcalinisé des 4 lots.....	52
Figure 14 : Teneur en pH du cacao alcalinisé des 4 lots.....	53
Figure 15 : Taux d'humidité présent dans la poudre de lait des 4 lots analysés.....	54
Figure 16 : Teneur d'acidité des 4 lots de la poudre de lait analysé.....	55
Figure 17 : Taux de matière grasse de la poudre de lait des 4 lots analysés.....	56
Figure 18 : Teneur d'humidité analysé dans 4 lots de sucre blanc.....	57
Figure 19 : Profil en acidité de la matière grasse des 4 lots du beurre de cacao.....	58
Figure 20 : Indice de peroxyde analysé dans 4 lots de beurre de cacao.....	59
Figure 21 : Indice d'iode présent dans les 4 lots de beurre de cacao analysés ...	60
Figure 22 : Point de fusion analysé dans les 4 lots de beurre de cacao.....	61
Figure 23 : Taux d'humidité analysé dans 4 lots de la masse de cacao.....	62
Figure 24 : Taux en matière grasse analysé dans 4 lots de la masse de cacao.....	63
Figure 25 : taux de la viscosité de quatre lots de lécithine.....	64
Figure 26 : Taux d'humidité de 4 produits de chocolat noir.....	65
Figure 27 : La viscosité des 4 produits analysés de chocolat noir.....	65

Figure 28 : valeurs de la finesse des quatre produits de chocolat noire analysée.....	66
Figure 29 : L'humidité des 4 produits analysés de chocolat au lait.....	67
Figure 30 : La viscosité des 4 produits analysés de chocolat au lait.....	68
Figure 31 : La viscosité des 4 produits analysés de chocolat au lait.....	69
Figure 32 : L'humidité des 4 produits analysés de chocolat blanc.....	70
Figure 33 : La viscosité des 4 produits analysés de chocolat blanc.....	71
Figure 34 : La finesse des 4 produits analysés de chocolat blanc.....	72

Liste des tableaux

Tableau I : Composition chimique des fèves de cacao.....	05
Tableau II : Analyses physiques chimiques des matières premières et produit fini.....	38
Tableau III : la masse molaire des acides gras utilisant en chocolat.....	48
Tableau IV : Caractéristiques physicochimiques (taux d'humidité et pH) du cacao alcalinisé.....	52
Tableau V : Taux en humidité, acidité et en matière grasse des 4 lots de la poudre de lait.....	54
Tableau VI : Taux d'humidité analysé dans 4 lots de sucre blanc.....	56
Tableau VII : Caractéristiques physicochimiques du beurre de cacao.....	57
Tableau VIII : Taux d'humidité et en matière grasse analysé dans 4 lots de la masse de cacao.....	60
Tableau IX : taux de viscosité des quatre lots de lécithine.....	61
Tableau X : Qualité du chocolat noir selon quatre produits.....	64
Tableau XI : Qualité du chocolat au lait selon quatre produits analysés.....	65
Tableau XII : Qualité du chocolat blanc selon quatre produits analysés.....	69

SOMMAIRE

Liste d'abréviation

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....01

CHAPITRE 1 : rappels bibliographiques

I. Le cacao et le chocolat.....04

I.1. Le cacao.....04

I.1.1. Etymologie.....04

I.1.2. Culture du cacaoyer.....04

I.2.3. Type de cacaoyers.....04

I.1.4. Composition chimique et nutritionnel des fèves de cacao.....05

I.1.5. Lieux de production du cacao.....06

I.2. Généralités sur le chocolat.....06

I.2.1. Etymologie.....06

I.2.2. Les formes du chocolat.....06

I.2.2.1. Chocolat noir.....07

I.2.2.2. Chocolat marron.....07

I.2.2.3. Chocolat au lait.....07

I.2.2.4. Chocolat blanc.....07

I.2.3. Apport nutritionnel du chocolat.....07

I.2.4. Composition chimique du chocolat.....08

I.2.4.1. Apport en protéine, en lipide, en glucide et en acide gras.....08

 Les protéines.....08

 Les glucides.....08

 Les lipides.....08

 La matière grasse.....08

 Les autres composés.....08

I.2.4.2. Apport en micronutriments.....	11
I.2.4.2. Les polyphénols du chocolat.....	11
I.2.5. Epidémiologie de la consommation du chocolat.....	12
I.3. La consommation du chocolat et effet santé.....	13
I.4. Stockage, conservation et commercialisation du chocolat.....	13
I.5. Procédé de fabrication du chocolat.....	14
I.5.1. Transformation des fèves de cacao.....	15
I.5.1.1 Récolte.....	16
I.5.1.2. Ecabossage.....	15
I.5.1.3. Fermentation.....	16
I.5.1.4. Brassage.....	17
I.5.1.5. Séchage.....	17
I.5.1.6. Stockage.....	18
I.5.2. Obtention de la pâte de cacao.....	18
I.5.2.1 Nettoyage et calibrage.....	18
I.5.2.2 Torréfaction.....	19
I.5.2.3. Concassage et broyage.....	20
I.5.2.4 Alcalinisation.....	20
I.5.2.5. Le malaxage et raffinage.....	21
I.5.2.6. Mouture.....	21
I.5.3. Processus de fabrication du beurre et de la poudre de cacao.....	22
I.5.3.1 Extraction.....	22
I.5.4. Production du chocolat.....	22
I.5.4.1 Malaxage.....	22
I.5.4.2 Broyage-raffinage.....	23
I.5.4.3 L'étuvage et conchage.....	23
I.5.4.4 Tempéage.....	23
I.5.4.5 Moulage.....	23
I.5.4.6 Refroidissement.....	24
I.5.4.7 Démoulage.....	24

I.5.4.8 Emballage.....	24
II.4.6. Conservation du chocolat.....	24

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1 Présentation de l'unité.....	27
II.2 Matières premières nécessaires à la production de chocolat.....	27
II.2.1 Beurre de cacao.....	28
II.2.2 La masse e cacao.....	28
III.2.3 Poudre de cacao.....	28
II.2.4 Sucre.....	29
II.2.5 Poudre de Lait.....	29
II.2.6 La vanille.....	29
II.2.7 Lécithine.....	29
II.3 Les processus de fabrication de chocolat.....	29
II.3.1 Prétraitement des matières premières.....	30
II.3.2 Malaxage et pétrissage.....	30
II.3.3. Raffinage.....	31
II.3.3.1 Raffinage primaire de deux rouleaux.....	31
II.3.3.2 Ultra-raffinage.....	32
II.3.4 Conchage.....	34
II.3.4.1 Conchage sec.....	35
II.3.4.2 Conchage plastique.....	36
II.3.4. 3 Conchage liquide.....	36
II.4 Les analyses physico-chimiques.....	38
II.4.1 Détermination l'humidité.....	38
II.4.1.1 L'humidité de sucre blanc.....	38
II.4.2 Détermination de l'humidité de poudre de lait et poudre de cacao...39	
II.4.2 Mesure de Ph.....	40
II.4.3 Analyse MG lait.....	41
II.4.4 Analyse d'indice d'iode.....	42
II.4.5 Analyse point fusion des corps gras.....	43

II.4.6 Analyse l'acidité totale de lait en poudre.....	44
II.4.7 Analyse indice peroxyde.....	45
II.4.8 Analyse d'acidité de beurre de cacao.....	46
II.4.9 Mesure de la finesse de chocolat.....	48
II.4.10 Mesure de la viscosité chocolat.....	49

Chapitre III : Résultats et discussions

I.1 Indice de qualité de la matière première.....	52
I.1.1 résultats de Cacao alcalinisé.....	52
I.1.1.1 Taux d'humidité de cacao alcalinisé.....	52
I.1.2 Poudre de lait 26%.....	54
I.1.2.1 taux d'humidité de poudre de lait.....	55
I.1.2.3 La teneur en matière grasse de lait en poudre 26 %.....	55
I.1.3 Sucre.....	56
I.1.3.1 Résultats d'humidité de sucre cristallisé.....	56
I.1.4 Beurre de cacao.....	57
I.1.4.1 résultats d'acidité de beurre cacao.....	57
I.1.4.2 résultats de l'indice peroxyde.....	58
I.1.4.3 résultats de l'indice d'iode.....	59
I.1.4.4. Profil du point de fusion de beurre de cacao.....	60
I.1.5 La masse de cacao.....	61
I.1.5.1 Résultats de taux d'humidité de masse de cacao.....	62
I.1.5.2 Résultats de taux de matières grasses de masse de cacao.....	62
I.1.6 lécithine de soja.....	63
I.2 Produit fini.....	64
I.2.1 Chocolat noire.....	64
I.2.1.1 Résultats d'humidité.....	64
I.2.1.2 Résultats de viscosité.....	65
I.2.1.3 Résultats de finesse.....	66
I.2.2 Chocolat au lait.....	66
I.2.2.1 Résultats d'humidité.....	67

I.2.2.2 Résultats de viscosité.....	68
I.2.2.3 Résultats de finesse.....	69
I.2.3 Chocolat blanc.....	69
I.2.3.1 Résultats d'humidité.....	69
I.2.3.2 Résultats de viscosité.....	70
I.2.3.3 Résultats de finesse.....	71
Conclusion.....	74

Références bibliographiques

Annex I (Matériels utilisés dans les analyses physico-chimiques)

Annex II (Appareillages utilisés dans les analyses physico-chimiques)

Annex III (Réactifs utilisés dans les analyses physico chimique)

Annexe IV (Les appareilles utiliser dans la fabrication de chocolat)

Résumé

INTRODUCTION

Introduction

Sur la base de la consommation mondiale moyenne de chocolat, estimée à 0,9 kg par habitant et par an, il ne fait aucun doute que la consommation de chocolat continue d'augmenter dans le monde, parallèlement à l'intérêt croissant qu'il suscite en tant qu'aliment fonctionnel (Ackar et al., 2013). La fabrication du chocolat est un processus complexe au cours duquel de nombreuses réactions chimiques se produisent. Les processus les plus importants, impliquant la plupart des réactions importantes pour le développement de la saveur appropriée et de l'arôme du chocolat, sont la fermentation, le séchage et la torréfaction des fèves de cacao et le conchage du chocolat (Gutiérrez, 2017 ; Barišić et al., 2019).

Le chocolat est un produit largement consommé par toutes les générations. Il est riche en matières grasses, protéines, glucides, polyphénols et autres composés bioactifs. Les fèves de cacao sont l'ingrédient principal pour la production de chocolat (Arunkumar et Jegadeeswari, 2019). Les principaux composés aromatiques du chocolat sont les polyphénols, présents dans la fève de cacao brute et prenant diverses formes lors de la production, et les pyrazines formées lors de la production, suivies des aldéhydes, des cétones et des esters (Barišić et al., 2019).

Le chocolat est une source d'énergie hautement nutritive, avec un métabolisme rapide et une bonne digestibilité. La présence de cacao, de lait et de sucre dans sa composition peut justifier une ingestion appropriée de protéines, glucides, lipides, minéraux et vitamines (Campos et Benedet, 1994)

La chimie derrière la production de chocolat est très complexe en raison du grand nombre de composés et de processus impliqués. Ces processus doivent être soigneusement contrôlés en raison de l'influence des réactions chimiques et de leurs produits sur la saveur et l'arôme du chocolat (Liu et al., 2014 ; Gutiérrez, 2017). La fermentation des fèves de cacao est un processus dans lequel la croissance des levures et des bactéries se produit dans la pulpe et elle est menée dans les plantations de cacao dans le cadre de la production des fèves de cacao (Barišić et al., 2019).

Les instruments analytiques étant de plus en plus sensibles à la détection et à la quantification de composés déjà identifiés, de nouvelles connaissances sont également attendues dans ce domaine. Toutes ces connaissances contribueront non seulement à la science, mais également aux producteurs de fèves de cacao et de chocolat, qui pourront sélectionner des variétés et cibler des processus pour augmenter la teneur en composés

Introduction

souhaitables et diminuer la teneur en composés moins souhaitables, ainsi qu'optimiser les ratios de différents composés (Barišić et al., 2019).

L'objectif de la présente étude était de suivre le processus de fabrication, à assurer le contrôle qualité d'un produit de la Chocolaterie Palmary (SOBCO) et de caractériser la composition physico-chimique des chocolats et leurs matières premières.

Dans le premier chapitre, nous abordons une section de rappel bibliographique qui traite des concepts généraux sur le cacao et le chocolat.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté toutes les étapes et méthodes de fabrication du chocolat, y compris les analyses physiques et chimiques de ses matières premières et les analyse du produit final et s'assurer qu'elle est conforme aux normes de qualité.

Quant au troisième chapitre, il est dédié à la présentation des résultats obtenus, à leur discussion, ainsi qu'une conclusion synthétisant l'ensemble de ces éléments.

Chapitre I :
Rappels bibliographiques

I. Le cacao et le chocolat

I.1. Le cacao

Le cacao est un produit agricole économiquement important pour des millions de personnes dans le monde. L'Organisation internationale du cacao (*ICCO*) a estimé que plus de 4,0 millions de tonnes métriques de fèves de cacao ont été produites dans le monde en 2015/16 (**Pipitone, 2016**). Cette culture arboricole pérenne cultivée à l'ombre offre des avantages pour la biodiversité. Elle est cultivée soit en monoculture soit en association avec d'autres cultures comme les cultures fruitières (**Gultinan et al., 2008**). Le cacao est une espèce fruitière diploïde au génome relativement petit, organisé en dix chromosomes (**Wickramasuriya et Dunwell, 2017**).

I.1.1. Etymologie

Le mot « cacao » vient du mot maya cacau qui désignait le fruit de l'arbre aux cabosses, transformé en cacahuatl par les Toltèques et les Aztèques. Quant au terme « *Theobroma cacao* », nom scientifique du cacaoyer, il signifie « nourriture des Dieux ». Il aurait pour origine une légende Toltèque (**McFadden et France, 1999**).

I.1.2. Culture du cacaoyer

Le cacaoyer est un petit arbre haut de 6 à 9 m cultivé dans les forêts tropicales de la zone intertropicale qui comprend l'Afrique occidentale, l'Amérique centrale et le Sud ainsi que l'Asie et l'Océanie. Le cacaoyer est cultivé sous la protection de plantes hautes comme les bananiers et les palmiers, il commence à produire des cabosses après 5 à 6 ans et peut vivre de 25 à 40 ans. Les fruits s'appellent les cabosses (fig.1) ce sont de grosses baies allongées et de forme ovale, mesurant 15 à 20 cm de longueur et ayant un diamètre de 6 à 12 cm. Leurs poids sont de 300 à 600 grammes (**McFadden et France, 1999**).

I.2.3. Type de cacaoyers

Il existe quatre types cacaoyers, les trois variétés « Criollo », « Nacional » et « Forastero » sont à la base de tous les cacaoyers du monde. Quant au Trinitario, il résulte d'une hybridation naturelle entre du Criollo, survivant d'une catastrophe climatique sur l'île de Trinidad au XVIIIème siècle, et du Forastero planté là pour

renouveler le verger. Ils se distinguent par la structure des fruits, la couleur, le nombre de graines et la teneur en certains composants (Wickramasuriya et Dunwell, 2017).



Figure 1 : Cacaoyer à multiples cabosses (Wickramasuriya et Dunwell, 2017)

I.1.4. Composition chimique et nutritionnel des fèves de cacao

La composition chimique des fèves de cacao diminue légèrement après fermentation (tableau 1).

Tableau I : Composition chimique des fèves de cacao (Afoakwa et al., 2007)

Fève de cacao non fermentée		Fève de cacao fermentée
Eau	4,2%	4,0%
Protéine	21,6%	18,8%
Acide gras	55,2%	53,4%
Glucide	15,5%	21,0%

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 (Afoakwa et al., 2007).

I.1.5. Lieux de production du cacao

Le cacao est cultivé par environ 6 millions d'agriculteurs dans le monde et les moyens de subsistance de plus de 40 millions de personnes dépendent du cacao (World Cocoa Foundation, 2012). La majorité de la production mondiale de cacao (environ 80 à 90 %) provient de petits exploitants agricoles. Cette culture est originaire du bassin amazonien et aujourd'hui, elle est cultivée dans de nombreuses régions des tropiques humides (World Cocoa Foundation, 2012).

I.2. Généralités sur le chocolat

Le chocolat a une histoire de consommation humaine remontant à 400 après JC (Verna, 2013). Outre ses caractéristiques nutritionnelles, sa consommation est associée au plaisir ou à différents changements émotionnels. En termes de nutrition et de santé, ses bioactifs (épicatechine et procyanidines) confèrent au cacao des propriétés saines, qui peuvent fournir une protection bénéfique contre les facteurs de risque cardiovasculaire, les fonctions cérébrales et immunitaires et la prévention du cancer, entre autres (Ferri et al., 2015 ; Goya et al., 2016). De nos jours, les tendances de l'industrie du chocolat évoluent, influencées par les préoccupations croissantes des consommateurs concernant l'état nutritionnel (Caligiani et Marseglia, 2016).

I.2.1. Etymologie

Espagn. chocolate ; ital. cioccolata ; du mexicain calahuatl, chocolatl, chocolat. De l'espagnol *chocolate*, traditionnellement supposé tirer du nahuatl ((langue indigène toujours parlée au Mexique et au Salvador):*xocolātl* (« eauamère »). Toutefois, la formation du mot (*xocolia* (« rendre amer ») + *ātl* (« eau »)) et l'existence précolombienne de l'étymon *xocolātl* (« chocolat à boire »)

I.2.2. Les formes du chocolat

A partir des fèves de cacao, à travers divers processus de transformation, l'industrie alimentaire produit différents types de chocolat avec des ingrédients et des caractéristiques définis. Le chocolat peut être classé en noir, au lait et blanc, selon la fabrication (Meng et Jalil, 2009 ; Afoakwa et al., 2007).

I.2.2.1. Chocolat noir

Dans le chocolat noir commercial, la teneur en cacao solide varie de 47 % (noir doux) à 70 %, 75 %, voire au-dessus de 90 % pour le chocolat très noir (**Afoakwa et al., 2007**). Dans la production de chocolat, des morceaux de fruits et légumes séchés sont souvent ajoutés, ce qui peut influencer sa composition chimique globale (**Petyaev et Bashmakov, 2017 ; Montagna et al., 2019**).

I.2.2.2. Chocolat marron

Le Gianduja est une combinaison de noisettes, de cacao et de sucre (**Montagna et al., 2019**).

I.2.2.3. Chocolat au lait

Le chocolat au lait contient du beurre de cacao, du sucre, du lait en poudre, de la lécithine et du cacao (ce dernier pas moins de 20 à 25 %). D'apparence brillante, il a un arôme intense et persistant et un goût sucré avec un accent légèrement amer de cacao (**Meng et Jalil, 2009**).

I.2.2.4. Chocolat blanc

Le chocolat blanc contient du beurre de cacao, du lait et du sucre sans solides de cacao ; il a un goût doux et agréable. Pas de seuil minimal de poudre de cacao (**Montagna et al., 2019**).

I.2.3. Apport nutritionnel du chocolat

Le chocolat est assez calorique entre 550 et 570 kcals pour 100 g. De nombreuses études ont démontré que le cacao est une source complète de nombreux éléments essentiels. Le chocolat noir est une bonne source de Fer, de Cuivre, de Magnésium. Manger 10g de chocolat noir à 70% de cacao va apporter environ 20mg de Magnésium. Par conséquent, le chocolat a le potentiel de fournir une concentration significative de minéraux (**Rusconi et Conti, 2010**). Par ailleurs, la composition peut également être influencée par la variété génétique des fèves de cacao utilisées pour la production de chocolat, les conditions de culture et les techniques post-récolte (**Carneiro et al., 2011 ; Aprotosoiaie et al., 2015**).

I.2.4. Composition chimique du chocolat

La composition du chocolat varie à travers le monde en raison des différences de la législation. Le cacao, l'ingrédient de base du chocolat, contient une quantité importante de matières grasses (40 à 50 % sous forme de beurre de cacao, avec environ 33 % d'acide oléique, 25 % d'acide palmitique et 33 % d'acide stéarique). Les glucides principalement représentés sous forme de sucres, ont une teneur totale jusqu'à 45 %, et les matières grasses, une teneur totale jusqu'à 30 % ((US Department of Agriculture, 2010).

I.2.4.1. Apport en protéine, en lipide, en glucide et en acide gras

En Algérie, un arrêté interministériel, publié au dernier Journal officiel (n°55), a fixé les spécifications des produits de cacao et de chocolat destinés à la consommation humaine : le taux d'addition de matières comestibles telles que le miel, les fruits secs et les céréales, aux produits de chocolat, à «40% du poids total du produit fini » (J.O, 2021). Les principaux nutriments du chocolat sont les lipides, les glucides et les protéines (Afoakwa *et al.*, 2007). De plus, le chocolat contient divers composés biologiquement actifs tels que des polyphénols, des vitamines lipo et hydrosolubles, des phospholipides, des fibres alimentaires et des éléments essentiels (Afoakwa *et al.*, 2007).

- **Les protéines**

Les protéines représentent 10 à 15 % du poids sec des fèves de cacao non fermentées. Les plus importants sont l'albumine (soluble dans l'eau), la prolamine (soluble dans l'alcool), la globuline (de type viciline, soluble dans le sel) et la glutéine (soluble dans les acides dilués et les alcalis) (Caligiani et Marseglia, 2016).

- **Les glucides**

Les fèves de cacao non fermentées contiennent principalement du saccharose (90 % des sucres totaux), du glucose, du fructose, du galactose, du sorbose, de l'arabinose, de la xylose, du mannitol et de l'inositol. Les polysaccharides (amidon (4-6%), pectines,

cellulose (2-3%) etc.) sont également présents dans les fèves à raison d'environ 12% (Redgwell et Hansen, 2000).

- **Les lipides**

Les fèves de cacao contiennent 50 à 58 % de matières grasses, dont 97 à 98 % sont des triacylglycérols (TAG). Les TAG sont constitués de 24,1 à 27,1% d'acide palmitique, de 32,9 à 37,6% d'acide stéarique et de 32,7 à 37,6% d'acide oléique et de faibles quantités d'acide linoléique (2,3 à 3,7%) (Caligiani et Marseglia, 2016). Sirbu *et al.* (2016) ont découvert que seules les fèves non fermentées contiennent du TAG contenant un substituant d'acide gras hydroxy-allyle par lequel elles peuvent être différenciées des fèves fermentées. Ils ont nommé ce composant nouvellement identifié acide cacaoïque

- ❖ **La matière grasse**

Les matières grasses riches en triglycérides monoinsaturés symétriques, comme le beurre de cacao, présentent un haut degré de polymorphisme (Beckett, 2017). Dans les chocolats au lait, l'acide linoléique conjugué (CLA) est également détecté dans des quantités comprises entre 0,07 et 0,18 %. Le CLA est connu pour son activité anticarcinogène (Hurst *et al.*, 2001 ; Cambell *et al.*, 2003). La matière grasse du lait est connue pour son inhibition de la prolifération des graisses. Il réduit la teneur en matières grasses solides et ralentit le degré de cristallisation du beurre de cacao (Barišić *et al.*, 2019).

- **Les autres composés**

- ❖ **Méthylxanthines**

Les méthylxanthines sont des alcaloïdes (théobromine et caféine) qui ont des effets stimulants sur le système nerveux central. Le cacao est la principale source de théobromine. Les valeurs rapportées pour la teneur en théobromine et en caféine dans les solides de fèves de cacao non grasses sont respectivement d'environ 4% et 0,2% du poids sec (Todorovic *et al.*, 2015 ; Beckett, 2017). Le contenu peut être influencé par le processus de fermentation et dépend du type de grain ((Todorovic *et al.*, 2015). Les fèves de cacao non fermentées contiennent souvent de la théobromine liée aux tanins. Pendant la fermentation, l'acide acétique hydrolyse les liaisons théobromine-tanin et une partie de la théobromine est libérée (DoCarmo *et al.*, 2017 ; Todorovic *et al.*, 2015).

❖ Aldéhyde

Trois aldéhydes présents dans le chocolat ont un fort arôme de chocolat : le 2-méthylpropanal, le 2-méthylbutanal et le 3-méthylbutanal (Voigt et al., 2016). Ils sont produits lors de la torréfaction des fèves de cacao à partir d'acides aminés, qui déterminent leur structure. Dans le chocolat, des aldéhydes formés par dégradation de Strecker sont également présents (Arunkumar et Jegadeeswari, 2019). Pendant le conchage, certains aldéhydes sont perdus en raison de réactions chimiques et d'évaporation (p. ex., la concentration de 2-méthylpropanal, 2-méthylbutanal et 3-méthylbutanal est réduite) et d'autres aldéhydes augmentent par condensation d'aldol (Arunkumar et Jegadeeswari, 2019).

❖ Esters

Les esters sont des composés présents dans les fèves non fermentées et torréfiées, mais peuvent également résulter du processus de fermentation (métabolisme des levures). L'un des composés formés pendant la fermentation est l'acétate d'éthyle, qui est un produit d'estérification à partir d'éthanol et d'acide acétique. Les autres esters présents lors de la production sont l'acétate d'isobutyle, l'acétate d'isoamyle, l'acétate de phényléthyle, l'isopentanoate de méthyle et l'isovalérate de méthyle (Aprotosoiaie et al., 2015).

❖ Cétones

Les cétones présentes dans le chocolat sont la 2-heptanone, la 2-pentanone, la 2-nonanone, l'acétophénone et l'acétoïne. Ces composés sont favorables à la saveur et à la qualité du cacao (Aprotosoiaie et al., 2015).

❖ Pyrazines

Les pyrazines sont des composés volatils hétérocycliques qui donnent une saveur et un arôme de cacao importants (Damodaran, 2017). La plupart des pyrazines sont produites lors de la torréfaction et la teneur de ces composés dépend de l'origine des fèves de cacao (Barišić et al., 2019).

❖ Acides

Les acides sont des produits de fermentation. Ils réduisent le pH à environ 4,5-5,5, permettant les réactions enzymatiques nécessaires à cette étape de la transformation des fèves de cacao. La fermentation, le séchage et la torréfaction ultérieurs réduisent considérablement la teneur en acides volatils, qui est l'une des conditions préalables au développement de l'arôme agréable des produits finaux (**Barišić et al., 2019**). Normalement, le chocolat au lait a une teneur en acide inférieure à celle du chocolat noir (**Liu et al., 2014**).

❖ Alcools

Les alcools sont présents dans le cacao et le chocolat après la fermentation des fèves. Ils sont produits principalement par des levures, ou par l'activité combinée de bactéries et de levures (**Liu et al., 2014**).

I.2.4.2. Apport en micronutriments

Le chocolat contient de la caféine, des flavonoïdes (par exemple, des flavanols et des procyanidines) et des minéraux. Les chocolats noirs sont considérés comme une excellente source de magnésium (252,2 mg/100 g) et de fer (10,9 mg/100 g) : dans le chocolat contenant 90 % de cacao, leur teneur correspond respectivement à 67,0 % et 80,3 des valeurs nutritives de référence (NRV) dans l'Union européenne. Le chocolat contenant 90% de cacao est également une bonne source de zinc (3,5 mg/100 g), important pour le système immunitaire, et de sélénium (0,1 mg/100 g) (**Afoakwa et al., 2007**).

Le cacao est une bonne source de magnésium, qui est essentiel pour catalyser de nombreuses réactions biologiques. Il participe à la synthèse des protéines, à la conduction de l'influx nerveux, à la relaxation musculaire et à la production d'énergie (**Stipanuk et Caudill, 2009**). Le cuivre présent dans le chocolat est impliqué dans de nombreuses réactions enzymatiques, notamment la synthèse de collagène et de neurotransmetteurs, ainsi que d'autres oligo-éléments (**Mrmošanin et al., 2018**).

I.2.4.2. Les polyphénols du chocolat

Les polyphénols sont présents dans plusieurs aliments largement consommés, tels que les fruits et légumes, dans les boissons, (telles que le café et le thé) ainsi que dans les légumineuses sèches, le chocolat et les produits à base de cacao (**Halib et al., 2020**).

Il est bien connu que le cacao et le chocolat sont riches en polyphénols. Les fèves de cacao non fermentées contiennent en moyenne 12 à 18 % de polyphénols du poids sec des fèves, principalement constitués de flavanols (épicatéchine, catéchine et procyanidines) et d'un flavonol (quercétine) (**Cambell et al., 2003**). Les polyphénols de cacao sont constitués d'environ 37 % de flavan-3-ols, 4 % d'anthocyanes et 58 % de proanthocyanidines. Sous cette forme, ils confèrent une couleur blanche à violet foncé aux fèves non fermentées. Les catéchines représentent environ 29 à 38 % des polyphénols totaux. Ils sont essentiels au développement de la saveur et de la couleur des haricots (**Arunkumar et Jegadeeswari, 2019**).

Plusieurs études in vitro et in vivo ont montré que les polyphénols, aux propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anti-obésité, peuvent stimuler la dépense énergétique et la thermogénèse, et diminuer le stress oxydatif et l'inflammation, tout en favorisant la gestion de la perte de poids (**Halib et al., 2020**).

I.2.5. Epidémiologie de la consommation du chocolat

En raison de son goût et de sa saveur exquise, le chocolat est un produit de confiserie largement consommé, en particulier dans les pays occidentaux. Entre 2018/2019, on estime qu'environ 7,7 millions de tonnes de confiseries chocolatées ont été consommées dans le monde (**ICCO, 2020**). En Europe, les Suisses sont les plus grands consommateurs de chocolat, en moyenne, un Suisse consommait plus de dix kilogrammes de chocolat par an (**Statista Research Departement, 2020**). Actuellement, le marché africain du chocolat reste marginal à l'échelle mondiale avec une consommation par habitant tournant autour de 0,5 kg par an contre un niveau pouvant aller de 4 à 12 kg sur les marchés occidentaux (**Agence Ecofin. 2019**).

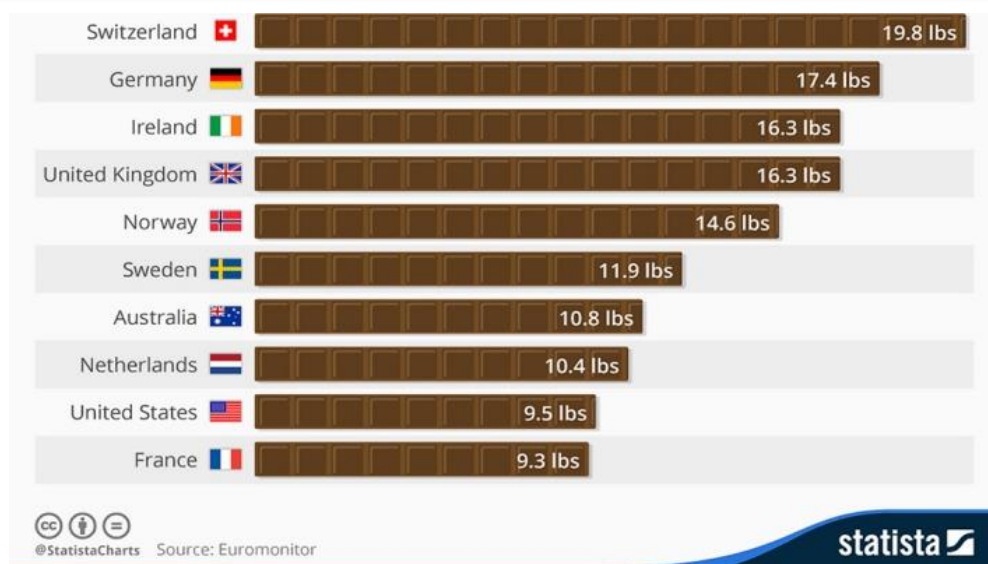


Figure 2 : Consommation annuelle de chocolat par an (modifié de Statista.org).

I.3. La consommation du chocolat et effet santé

Il est clair aujourd'hui que les aliments riches en flavonoïdes sont associés à de nombreux avantages pour la santé, et des revues de la littérature indiquent que les flavonoïdes de cacao sont associés à des avantages pour la santé (**Lampont *et al.*, 2020**). Plusieurs méta-analyses ont suggéré les avantages de la consommation de chocolat dans la réduction du risque d'événements cardio-métaboliques (maladies coronariennes, l'infarctus du myocarde, etc.) et le diabète (**Scholeyet Owen, 2013**).

I.4. Stockage, conservation et commercialisation du chocolat

Certains signes, ne trompent pas, et indiquent que le chocolat n'a pas été conservé convenablement : blanchiment, déformation, condensation et surtout modification de la texture et du goût. Outre les risques liés à l'hygiène, voici les différents facteurs à prendre en compte pour une conservation idéale du chocolat (**Hengel, 2017**) :

- La température de stockage : constante entre 10 et 20°C,
- L'humidité relative : autour de 50-60%
- La lumière : chocolats emballés de manière hermétique et opaque,
- La qualité de l'air et les odeurs.
- La durée de conservation : pour des tablettes ou pistoles :
 - Chocolat noir : 18 mois maximum

- Chocolat au lait : 12 mois maximum
- Chocolat blanc : 6 mois maximum

I.5. Procédé de fabrication du chocolat

La fabrication du chocolat consiste en un processus en plusieurs étapes :

I.5.1. Transformation des fèves de cacao

I.5.1.1 Récolte

Les cabosses de cacao mûrissent généralement tout au long de l'année. Leurs ramassages s'effectuent d'octobre à décembre, principalement en Afrique de l'Ouest. Une récolte tardive entraîne des risques de pourriture et de germination des fèves. Une récolte précoce diminue le rendement. La maturité s'apprécie à la couleur des cabosses (le vert vire au jaune, le rouge à l'orange) (**Barel, 2013**).



Figure 3 : les couleurs des cabosses (**Barel, 2013**)

I.5.1.2. Ecabossage

Une fois la récolte terminée, les cabosses sont immédiatement écabossées, c'est l'opération qui consiste à ouvrir les cabosses souvent manuelles pour libérer les graines. Elle est faite soit directement au champ, soit sur les lieux du traitement post-récolte après transport des cabosses. Parfois, les cabosses sont stockées pour quelques jours dans le but de permettre aux cabosses immatures d'achever leur maturation (**Barel, 2013**). Les fèves fraîches ainsi obtenues ont une humidité de 65 % à 75 % et un poids spécifique d'environ 900 kg/m³. Elles sont gluantes en raison du mucilage qui les entoure. La séparation des fèves entre elles et l'élimination des débris favorisent une bonne fermentation.



Figure 4 : les méthodes de L'écabossage (Barel, 2013)

I.5.1.3. Fermentation

A la récolte, le fruit du cacao contient environ 30 à 40 graines recouvertes d'une pulpe mucilagineuse éliminée par les levures et les bactéries lors de la fermentation, étape clé pour le développement de la saveur du chocolat, car elle produit des précurseurs d'arôme (Magagna *et al.*, 2017). La fermentation dure de 2 à 8 jours, elle dépend de la variété du cacao et des conditions climatiques, la masse mise à fermenter (minimum 200 kg à 300 kg) et de la méthode utilisée. On apprécie le moment opportun pour arrêter la fermentation d'après des critères subjectifs : gonflements des fèves, odeur de la masse, couleur des cotylédons, chute de la température (Magagna *et al.*, 2017).

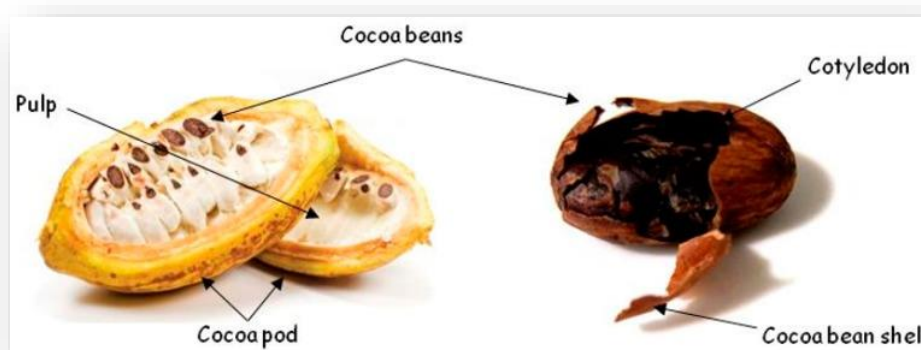


Figure 5 : Fèves de cacao et leurs sous-produits de transformation (Adapté de Gardner, 2020)

Pendant une première phase aérobie, qui dure environ 48 heures, il y a une multiplication rapide des levures qui vont ensuite (en anaérobiose), transformer les sucres en alcool. Au cours de cette seconde phase qui dure environ 48 h, il y a un très

fort dégagement de chaleur qui fait monter la masse de fèves en température (de 25° C à 48° C - 50° C). Enfin, par oxydation, il y a formation d'acide acétique qui est productrice de chaleur va aider à tuer le germe et l'acide acétique produit va pénétrer dans l'amande et lyser les parois cellulaires. Au cours de la fermentation, l'amande connaît d'importantes transformations. Les produits de dégradations vont former les précurseurs d'arôme (**Magagna et al., 2017**).

Le potentiel aromatique du cacao est l'un des attributs qualitatifs les plus importants qui déterminent la valeur économique et l'acceptabilité du chocolat et des produits dérivés du chocolat. L'arôme de la fève de cacao dépend du génotype, de l'origine géographique et du traitement post-récolte (**Magagna et al., 2017**).

I.5.1.4. Brassage

Le brassage constitue le système d'aération des fèves de cacao en fermentation. Le brassage permet une augmentation rapide de la température, entraînant une amélioration très nette de la qualité marchande du cacao. L'aération est aussi indispensable à la multiplication des microorganismes qui jouent un rôle important dans la fermentation (**Hii et al., 2009**).

I.5.1.5. Séchage

Après la fermentation, une étape de séchage est nécessaire pour réduire la teneur en eau à 5–7%, ce qui va bloquer les réactions enzymatiques et éviter le développement de moisissures et cela garantit la stabilité du produit avant un traitement ultérieur. Au-dessous de 5 %, les fèves sont très cassantes. La durée de stockage est variable selon les producteurs (**Hii et al., 2009**). Le séchage se fait à 60°C, soit : le séchage solaire, naturel ou le séchage artificiel en utilisant un four avec ventilation d'air chaud. Dans certains cas, les fèves sont lavées avant d'être séchées, afin de les débarrasser de restes de mucilage (**Hii et al., 2009**).

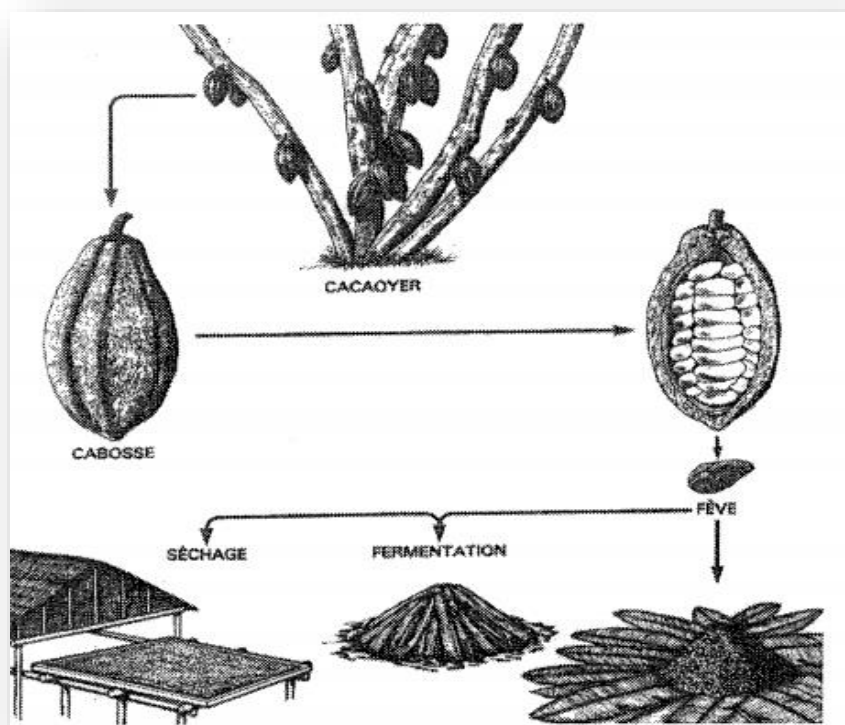


Figure 6 : De la récolte des cabosses aux fèves de cacao (Corler, 1992)

I.5.1.6. Stockage

Le stockage des fèves en zone de production est une opération très délicate pour éviter la moindre contamination par des moisissures qui affecte la qualité finale du produit. Les fèves doivent être stockées en évitant la chaleur et l'humidité de l'air qui favorise le développement des moisissures (notamment des *Aspergillus* et des *Penicillium*) et des insectes qui déprécient le cacao soit par leurs souillures soit en abîmant les fèves pour s'en nourrir (Hii *et al.*, 2009).

Pour certains producteurs, le stockage des fèves de cacao séchées se fait généralement dans des sacs de jute de 60 à 65 kg. Les fèves sont embarquées pour l'exportation sur des bateaux en conteneurs aérés pour éviter les effets de la condensation et la reprise de l'humidité (Hii *et al.*, 2009).

I.5.2. Obtention de la pâte de cacao

I.5.2.1 Nettoyage et calibrage

Les fèves de cacao arrivent à la chocolaterie, sont considérées comme 'une matière première. La partie comestible se trouve à l'intérieur d'une peau dure et portant des

restes de pulpe séchée (**Ferri et al., 2015**). Les fèves subissent un nettoyage préliminaire qui permet d'éliminer par tamisage les petits cailloux et autres particules indésirables provenant des sacs. Tamis, brosses, soufflerie, aspiration et séparateurs magnétiques les débarrassent par vannage, nettoyage et courant d'air, de tous les corps étrangers et impuretés telles que ficelles, cailloux, bois, métal, morceaux de cabosses, fèves agglomérées ou brisées, poussière, sable, débris de sac... qui s'y sont mêlés après la récolte (**Hurst et al. 2001**).

Le calibrage permet de classer les fèves par catégories de taille homogène. Au sortir des diverses machines, les fèves font l'objet d'un examen soigneux au cours duquel sont éliminées celles qui n'ont pas le degré de maturité souhaité ainsi que toute impureté restée accrochée. Les fèves de cacao propres et triées sont ensuite regroupées dans des conteneurs ou acheminées directement vers les installations de torréfaction via des bandes transporteuses (**Rusconi et Conti, 2010**).

I.5.2.2 Torréfaction

Les fèves ou éclats de cacao séchés (c'est-à-dire les fèves sans la coque extérieure) sont ensuite torréfiés pour développer davantage la saveur du chocolat. Elle consiste à griller les fèves entre 100 et 140°C pendant 20 à 40 minutes. Elle a plusieurs fonctions : développé l'arôme du cacao à partir des précurseurs, déshydrate les pellicules et donné aux fèves leur belle couleurs « chocolat » (**Hengel, 2017**).

Le degré de torréfaction est extrêmement important. En effet, si la torréfaction est excessive, elle détruit l'arôme naturel de la fève. Inversement, si elle est insuffisante, il est difficile d'éliminer les pellicules et il persiste un peu de l'amertume de la fève brute. Les variétés les plus délicates (Criollo et Trinitario) sont généralement torréfiées à des températures plus basses que les variétés les plus corsées afin d'optimiser le développement des arômes (**Hengel, 2017**). Une fois grillées, les fèves chaudes sont déversées dans un refroidisseur (cuve hermétique, ventilée par air froid) le plus rapidement possible. Ce refroidissement brutal permet d'arrêter la torréfaction (pour éviter que le processus ne se poursuive à l'intérieur de la graine), de préserver les principes aromatiques du cacao et d'empêcher le passage d'une partie de la matière grasse dans la coque (**Rusconi et Conti, 2010**).

I.5.2.3. Concassage et broyage

Les opérations de concassage, décorticage et dégermage visent à séparer les composants des fèves de cacao, notamment la coque, les cotylédons et le germe. Les fèves sont brisées entre deux rouleaux, et les coques et les cotylédons sont séparés par succion pneumatique et densité. Les cotylédons concassés, également connus sous le nom de « grué de cacao » ou « nibs », subissent un processus de broyage à des températures élevées, entre 50 et 70°C. Les grains solides sont convertis en une pâte parfumée et brune foncée, appelée "pâte de cacao" ou "liqueur de cacao" (liqueur). Au terme de ces opérations de nettoyage, torréfaction et concassage, les fèves de cacao ont perdu quelque 20% de leur poids qui présente déjà des notes aromatiques de chocolat malgré sa légère amertume (Hengel, 2017).

Par ailleurs, les fragments de coques, appelés aussi pelures, sont récupérés pour leur contenu résiduel en beurre de cacao, utilisé dans l'industrie chimique, servent d'engrais en agriculture, de compost en jardinage, d'alimentation pour le bétail, et parfois même de source de combustible (Hengel, 2017).

I.5.2.4 Alcalinisation

Cette opération s'applique aux grains de cacao destinés à la production de poudre de cacao. C'est une technique de solubilisation qui consiste en un traitement des grains de cacao par des sels alcalins (Lostalot et al., 1980). La durée, la température, la quantité et la concentration de solution alcalinisante influencent la couleur et le goût (Hengel, 2017).

I.5.2.5. Le malaxage et raffinage

Suivant le type de chocolat que l'on désire obtenir, il est parfois nécessaire de mélanger différents types de fèves. Ces dosages permettent de maintenir la qualité constante et la saveur propre à chaque produit en dépit de la diversité de provenance des cacaos. Pour la production de chocolat noir, les ingrédients de base sont la liqueur de cacao, le sucre, le beurre de cacao et les émulsifiants. Du lait et d'autres ingrédients peuvent être ajoutés, mélangés puis raffinés pour réduire la taille des particules de solides (Hengel, 2017).

I.5.2.6. Mouture

Le mélange de fèves de cacao torréfiées et concassées passe dans des moulins spéciaux qui vont en réduire encore la texture, puis, suivant le procédé, il est conduit vers des broyeurs d'où sortira la pâte de cacao. La chaleur engendrée par la pression et le frottement liquéfie le beurre de cacao contenu dans les fèves (environ 50 % de leur poids), de sorte que ce produit est une masse onctueuse de couleur brun foncé, à l'odeur pénétrante, forte en goût, qui se fige au refroidissement (**Hengel, 2017**).

I.5.3. Processus de fabrication du beurre et de la poudre de cacao

Le beurre de cacao et la poudre de cacao sont des matières premières importantes pour la production de chocolat. La masse de cacao liquide est alcalinisée par des sels alcalins avant, pendant ou après le processus de torréfaction. Cette opération s'applique aux grains de cacao destinés à la production de poudre de cacao (**Lostalot et al., 1980 ; Hengel, 2017**). La durée, la température, la quantité et la concentration de solution alcalinisante influencent la couleur et le goût qui, en tant que produit intermédiaire ou semi-fini, est fournie à l'industrie du chocolat et constitue également la base de la production de poudre de cacao et de beurre de cacao (**eca, 2023**).

Il existe des différences dans le beurre de cacao en fonction de l'origine et du type de fève. Le beurre de cacao plus doux a une teneur plus élevée en 1-palmitoyl-2-3-dioléoyl-glycérol (POO) et en 1-stéaroyl-2-3-dioléoyl-glycérol (SOO), tandis que le beurre de cacao plus dur a une teneur accrue en acides gras saturés (**Sirbu et al., 2016**). Le beurre de cacao peut exister en six polymorphes : γ , α , β' (III), β' (IV), β (V) et β (VI). La forme la plus souhaitable dans le chocolat est β (V) qui fond à 29–31,5 ° C (**Barišić et al., 2019**).

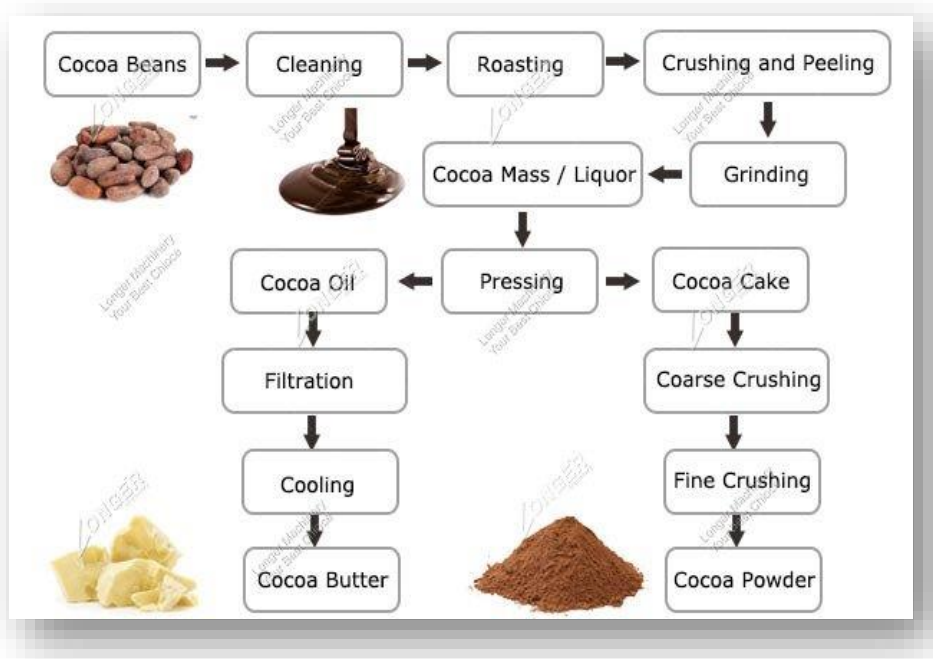


Figure 7 : Processus de fabrication de poudre de cacao (<https://www-nutmachines.com>)

I.5.3.1 Extraction

La pâte (naturelle ou alcalinisée) doit être dégraissée, pour cela, elle est chauffée et soumise à de très fortes pressions dans des presses hydrauliques. Cette extraction permet de séparer deux produits : le beurre de cacao (partie liquide) et le tourteau de cacao (partie solide) qui sert de base à la préparation des poudres de cacao. Les tourteaux de cacao sont concassés puis broyés afin d'obtenir une poudre de cacao grossière. La poudre chaude est raffinée (pour neutraliser son acidité, le décolorer et le désodoriser), puis doit être refroidie et stabilisée à 18-20°C **Lostalot et al., 1980**.

I.5.4. Production du chocolat

C'est tout un art de mélanger de la pâte de cacao dégraissée ou non, additionnée d'une quantité variable de beurre de cacao, de sucre et suivant les cas de lait et d'aromates (**McFadden et France, 1999**).

I.5.4.1 Malaxage

Le rôle de cette opération est d'homogénéiser le mélange et de l'amener à la consistance voulue pour le broyage. A ce stade, la masse obtenue possède 22 % et 26

% de matière grasse et un goût agréable mais a un aspect granuleux (McFadden et France, 1999).

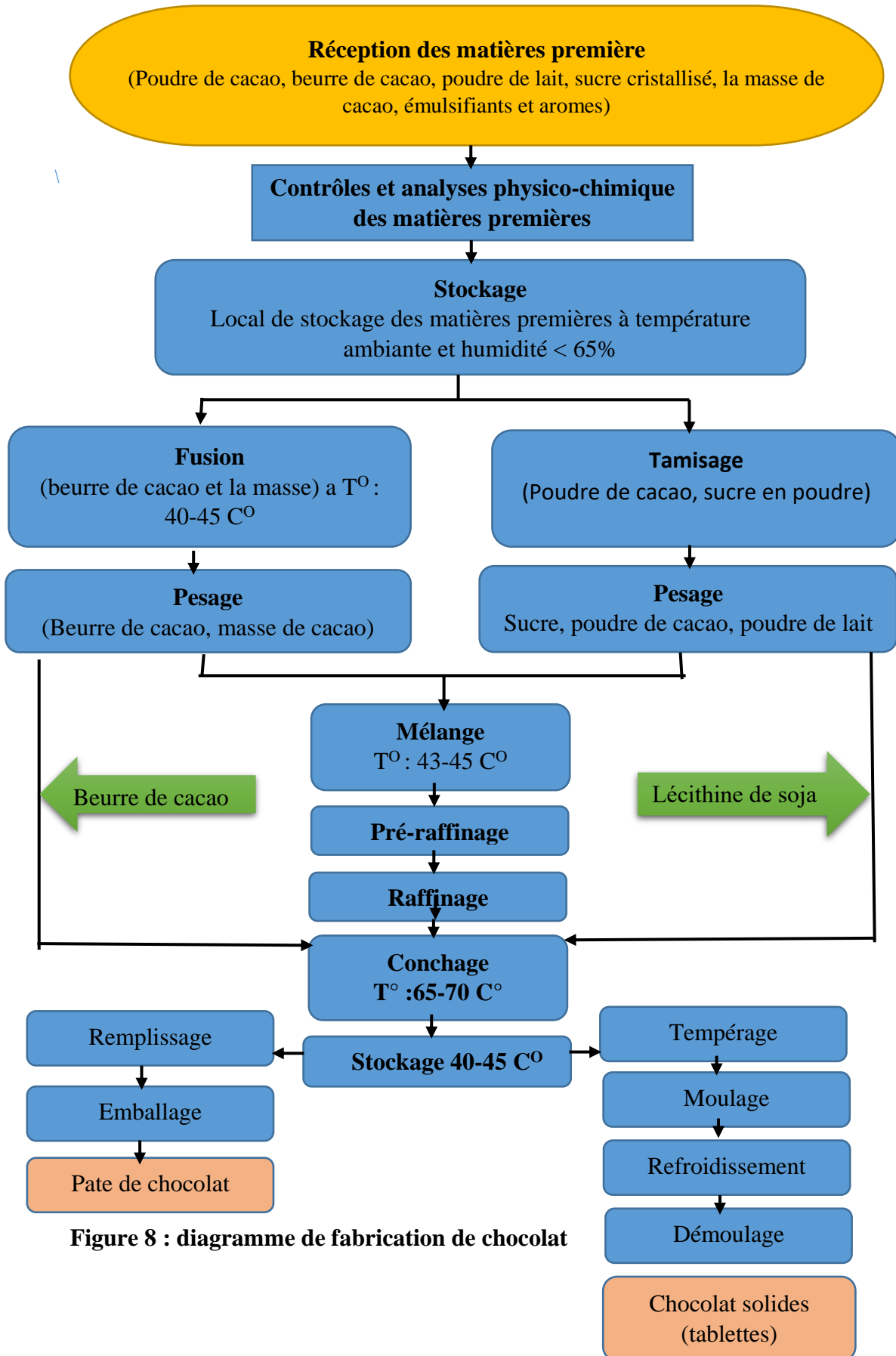


Figure 8 : diagramme de fabrication de chocolat

I.5.4.2 Broyage-raffinage

L'objet de l'opération suivante permet de réduire la taille des particules à moins de 25µm. C'est en partie à ce broyage que le chocolat doit son onctuosité. C'est à lui aussi, s'il est bien mené, que le chocolat doit sa qualité. Pour certains chocolatiers industriels, l'affinage s'arrête là, mais le chocolat de bonne qualité subit un traitement supplémentaire, le conchage. (**Girard, 1994 ; McFadden et France, 1999**).

I.5.4.3 L'étuvage et conchage

Après affinage, l'opération de conchage, qui consiste en l'agitation de la masse de chocolat à haute température, elle est transformée en un liquide visqueux à écoulement lisse (**Girard, 1994 ; McFadden et France, 1999**). Le processus de conchage du chocolat prend généralement entre 10 et 20 heures, en fonction de la qualité du produit souhaitée et de la machine utilisée. L'objectif de ce processus est d'éliminer les odeurs et les arômes étrangers provenant de la masse de cacao, de réduire l'humidité à un niveau souhaité (maximum 1,5 % d'humidité) et d'obtenir une certaine fluidité pour le chocolat.

I.5.4.4 Tempérage

Enfin, le tempérage (cristallisation), qui consiste en un processus de chauffage, de refroidissement (pour stabiliser les cristaux présents dans le beurre de cacao) et de mélange, sont nécessaires au développement de la texture et de la saveur finales du chocolat (**Girard, 1994**).

I.5.4.5 Moulage

Ainsi après dosage, la pâte est déversée dans des moules chauffés (27° -28°C), afin de répartir la pâte dans les moules et de chasser les bulles d'air (**Girard, 1994**). Les moules sont ensuite soumis à des vibrations avant d'entrer dans un tunnel de refroidissement, ce qui permet à la pâte de se solidifier en vue du démoulage. Après le démoulage, les tablettes font l'objet d'un emballage et conditionnement automatiques (**McFadden et France, 1999**).

I.5.4.6 Refroidissement

Après avoir été tempéré et moulé, le chocolat entre dans un tunnel de refroidissement. Un point important à surveiller lors du processus de refroidissement est la température, le produit est refroidi progressivement. Si l'on calcule que le processus de refroidissement des moules dure environ 40 minutes, la première partie dans le tunnel est refroidie à 12°C pendant 20 minutes. Ensuite, la température est réduite à 8°C au cours des 10 minutes suivantes. Pour éviter que le produit ne subisse un choc thermique et ne s'humidifie pas lorsqu'il sort du tunnel, la température est à nouveau augmentée à 12°C pendant environ 10 minutes (McFadden et France, 1999).

I.5.4.7 Démoulage

Démoulage des moules à chocolat nécessite de tourner les moules à 180° (la face supérieure devient la partie inférieure) tout en appliquant un léger choc sur le moule. Le choc doit être léger, car un choc important entraîne une déformation de la forme du chocolat (McFadden et France, 1999).

I.5.4.8 Emballage

L'emballage du chocolat en usine est une étape essentielle de la production, car il protège le produit contre la contamination, l'oxydation, la dégradation de la qualité et assure également une présentation attrayante pour les consommateurs. Il existe plusieurs types d'emballages pour les produits chocolatés, en fonction de leur forme, de leur taille, de leur destination et de leurs exigences de conservation. Voici quelques-uns des types d'emballage courants pour le chocolat en usine :

- Emballage en papier, en cartonne ou en plastique

II.4.6. Conservation du chocolat

La chaleur et l'humidité sont les principaux ennemis du chocolat, car toutes deux peuvent faire apparaître un voile à sa surface. La température idéale pour le conserver se situe entre 10 et 15°C (soit légèrement supérieure à celle qui règne dans un réfrigérateur), tandis que l'humidité doit être comprise entre 60 et 70 %. Le chocolat conserve sa fraîcheur et sa qualité pendant un an lorsqu'il est conservé dans un environnement sans humidité à une température de 15°C à 20°C (McFadden et France, 1999).

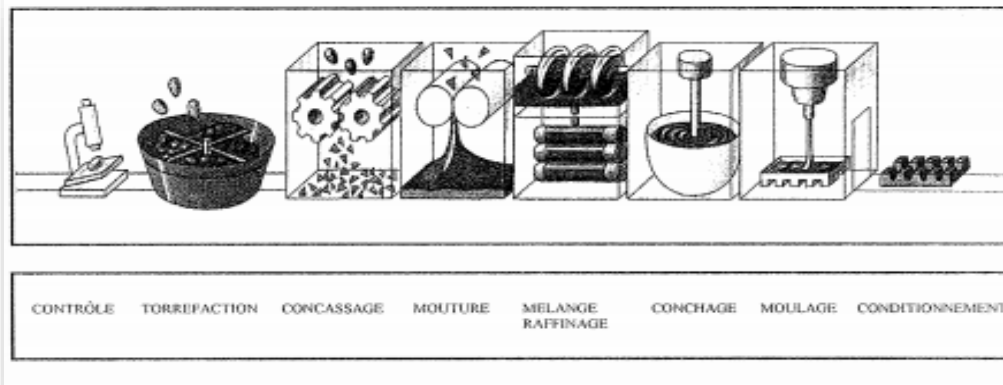


Figure 9 : Schéma du processus de fabrication du chocolat (Documentation Nestlé)

Chapitre II
Matériels et méthodes

Nous avons effectué notre stage de fin d'études au sein de la Chocolaterie Palmary (SOBCO), située dans la zone industrielle de Kharrouba-Boudouaou, dans la wilaya de Boumerdes. Cette période de stage s'est déroulée du 24 février 2023 au 2 mai 2023. Notre mission consistait à suivre le processus de fabrication et à assurer le contrôle qualité d'un produit de la Chocolaterie Palmary (SsOBCO) et effectué les analyses physico chimiques de chocolat et leur matières première.

I.1 Présentation de l'unité

La société PALMARY FOOD avec son entité industrielle SARL SOBCO a été créée en 2007 dans la zone industrielle de Kharrouba, dans la wilaya de Boumerdes à proximité de la capitale Alger. Actuellement, PALMARY FOOD compte 6 sites de production et est parmi les leaders de la catégorie sur le marché local avec une grande dynamique de croissance et d'expansion.

Avec sa marque phare MAXON lancée en 2013 PALMARY FOOD est présent avec une large gamme sur la catégorie des tablettes, la pâte à tartiner et les biscuits.

En termes de position elle occupe une position de leader sur les tablettes, la pâte à tartiner et sur différents segments et catégories de biscuits (Biscuit noir). MAXON est un méga brand et est en train de devenir une marque iconique en Algérie.

I.2 Matières premières nécessaires à la production de chocolat :

La composition et les composants minimaux du chocolat noir sont fixés dans la commande de cacao. La qualité du chocolat est déterminée par la liqueur de cacao, le saccharose et le beurre de cacao. Cacao Plus le rapport des composants est élevé, plus le chocolat est foncé (**Drouven et al., 1996**).

La composition des composants des chocolats au lait dans les proportions minimale et maximale de cacao est fixée dans son ordre. La qualité des chocolats au lait est basée sur la liqueur de cacao, le saccharose, la poudre de lait et le beurre de cacao est déterminée par Plus la proportion de composants laitiers (en particulier la matière grasse du lait) est élevée, plus le chocolat est laiteux plus le chocolat est léger, doux et sucré. Le chocolat fondu présente une caractéristique agréable de lait/crème. (**Drouven et al., 1996**).

Le chocolat blanc contient tous les ingrédients du chocolat à l'exception des solides du chocolat (liqueur de cacao, poudre de cacao). Le chocolat blanc est fabriqué à partir

de son ingrédient classique. La saveur principale provient donc de la force de la poudre de lait et de l'arôme. Il ne nécessite donc généralement pas de processus de conchage (Maitland 1973).

I.2.1. Beurre de cacao

La graisse de cacao existe en deux variétés : naturelle et déodorisée. La graisse naturelle a tendance à apporter généralement des odeurs indésirables au produit final. Si l'on souhaite éviter de dépenser trop d'énergie et de perdre du temps pour éliminer ces odeurs, il est préférable d'utiliser de la graisse déodorisée, qui élimine les odeurs étrangères. La graisse de cacao commence à se solidifier à 26°C.

Le bloc de graisse de 25 kg est trop gros pour être placé dans un mélangeur sans fondre, il est donc transféré dans un réservoir de fusion à double paroi après avoir été retiré de son emballage extérieur. Pour ce processus, il suffit de régler la température des parois du réservoir de fusion à 46°C. Une partie de la graisse doit être transférée dans le mélangeur une fois fondue. Sur la ligne où la graisse fondue est transférée dans le mélangeur (sortie du réservoir de fusion ou entrée du mélangeur). **(Korkubilmez 2005)**

I.2.2. La masse de cacao

La masse de cacao, qui est l'extrait de la fève de cacao, est l'ingrédient clé ayant le plus d'influence sur le produit final. Elle se présente sous forme de blocs de 25 kg, tout comme la graisse de cacao, et est utilisée après fusion. Dans le processus de fusion, une température plus élevée peut être utilisée pour la masse de cacao (jusqu'à 50°C). La masse de cacao est également connue sous le nom de liquide de cacao. En général, les liquides de cacao se déclinent en deux types : naturels et alcalinisés. **(Korkubilmez 2005)**

I.2.3. Poudre de cacao

La poudre de cacao est généralement préférée pour la production de chocolat noir. Elle est utilisée pour donner la couleur souhaitée au produit final (brun foncé, brun rougeâtre, noir) en utilisant de la poudre de cacao. Comme pour le beurre de cacao et la masse de cacao, différents types de poudre de cacao tels qu'alcalinisée, naturelle, à faible teneur en matières grasses, etc., peuvent être obtenus en appliquant différents processus. **(Korkubilmez 2005)**

I.2.4. Sucre

Le sucre en poudre cristallisé doit être transformé en sucre glace avant d'être ajouté au mélange. Cela nécessite l'utilisation d'un moulin à sucre, puis ajoutée au mélange. Ajouter le sucre sans le moulin peut endommager les rouleaux qui amincissent la pâte de chocolat, tout en laissant des cristaux perceptibles dans le produit final. Un chocolat de qualité doit fondre en bouche sans aucune sensation granuleuse. (**Campbell ve Pavlasek 1987**)

I.2.5. Poudre de lait

La poudre de lait écrémé ou la poudre de lait entier obtenue par pulvérisation est utilisée dans la fabrication du chocolat au lait. La poudre de lait entier confère au chocolat au lait son goût lacté. La poudre de lait écrémé ne produit pas cet effet, mais elle est plus économique. Elle peut également être utilisée pour éclaircir la couleur du produit. La graisse du lait se combine avec la graisse de cacao dans le produit final, ce qui prévient considérablement le problème de blanchissement dû à de légères variations de température. Ce problème de qualité, appelé blanchissement, survient lorsque la graisse de cacao du produit se déplace à l'extérieur du produit dans un environnement chaud, puis redevient solide et blanchit lorsque l'environnement refroidit. (**Roebbers 1981**)

I.2.6. La vanille

La vanille est un arôme couramment utilisé dans les formulations de chocolat, généralement à des niveaux de 0,03 % à 0,05 %. On dit parfois que l'ajout de vanille à un produit contenant du cacao lui confère une saveur de cacao plus riche. (**Roebbers 1981**).

I.2.7 Lécithine

La lécithine est un émulsifiant ajouté au chocolat pour réduire sa viscosité et son point de fusion. Le point de fusion est d'une grande importance, c'est pourquoi la lécithine est généralement ajoutée à des taux 0.6%. Ajouter plus de 0,5 % peut non seulement réduire la viscosité, mais aussi affecter le goût et les propriétés de cristallisation. D'autre part, si la quantité recommandée est dépassée, le point de fusion augmentera certainement (**Muijnck, 1997**).

I.3 Les processus de fabrication de chocolat

I.3.1 Prétraitement des matières premières

- **Fusion**

La masse de cacao, le beurre de cacao et les substituts de beurre de cacao sont solides à température ambiante. Ils doivent être fondus à température 45 °C avant d'être mélangés et finement broyés.

- **Pulvérisation de sucre cristallisé**

Les particules cristallines du sucre cristallisé sont de tailles différentes. Le sucre cristallisé doit être pulvérisé jusqu'à une certaine finesse (sucre glace), ce qui est bénéfique pour le mélange, le broyage et le raffinage des matériaux, et peut également rendre la finesse des matériaux uniforme.

- **Tamisage**

La poudre de cacao, la poudre de lait et le sucre sont tamisées dans un tamis spécifique afin d'éliminer les corps étrangers et les grandes particules.

- **Pesage**

Les différentes matières premières de prétraitement sont mesurées ou peser dans une balance automatique en fonction du ratio d'ingrédients du produit et ajoutées au mélangeur pour un mélange suffisant.

I.3.2 Malaxage et pétrissage

Il s'agit de la première étape de la production de chocolat, au cours de laquelle les matières premières sélectionnées en fonction du type de produit à fabriquer sont grossièrement mélangées dans cette machine. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des mélangeurs distincts pour le chocolat au lait et le chocolat noir. Les ingrédients communs du chocolat noir et du chocolat au lait sont la masse de cacao, la graisse de cacao, le sucre et l'arôme de vanille.

Cette opération vise à préparer une pâte ayant la bonne consistance et homogène pour le raffinage. Les matières premières (à l'exception de la lécithine et d'une partie de beurre de cacao) sont mélangées de manière homogène pour contenir entre 22 % et 26 % de beurre de cacao pendant le mélange/pétrissage. La température pendant le mélange/pétrissage est maintenue entre 43 et 45°C pendant 5-10 min, vitesse mélangeur 65RPM. En raison de la forte teneur en matières grasses, la pâte est très fluide et est

comprimée par des rouleaux. Une pâte ayant une teneur en matières grasses très faible serait trop sèche et userait prématurément les rouleaux (**Heemserk 1986**).

Les valeurs de température utilisées dans le processus de production du chocolat sont recommandées de ne pas dépasser 50°C dans un mélangeur à double paroi. Pendant les mélanges de produits, même pour une courte période, la température peut augmenter de 5°C à 10°C en raison du frottement. À l'intérieur du mélangeur, deux agitateurs à pales larges tournent l'un vers l'autre, mélangeant grossièrement les poudres et les liquides pour obtenir une pâte de consistance similaire à une pâte (**Heemserk 1986**).

I.3.3. Raffinage

La distribution granulométrique des particules solides du chocolat est un facteur majeur pour déterminer sa sensation en bouche, saveur et rhéologie. La taille des particules est largement contrôlée par le raffinage, un processus de réduction et de mélange réalisé en deux étapes par des presses à deux et cinq rouleaux. (**Jackson 1994**)

I.3.3.1 Raffinage primaire de deux rouleaux

Le produit est transporté depuis le mélangeur par une bande transporteuse ou par gravité dans le tampon situé au sommet du pré-raffineur à deux rouleaux. Ce tampon sert de centre de stockage pour l'ensemble du lot de chocolat mélangé. Les cylindres ultramodernes affinent et calibrent les cristaux de sucre dans le lot de chocolat. Ensuite, le lot est déchargé du pré-raffineur au moyen d'un système de décharge à vis et atteint le raffineur à 5 rouleaux par l'intermédiaire d'une bande transporteuse. Cela permet d'obtenir des lots de chocolat pré-moulu de qualité constante, prêts pour l'étape suivante : le processus d'ultra raffinage. (**Jackson 1994**)



Figure n°10 : raffineur de deux rouleaux. (**Jackson 1994**)

I.3.3.2 Ultra-raffinage

Dans les cylindres, le mélange grossier obtenu du mélangeur est affiné. Pour améliorer l'efficacité du processus d'affinage, il est généralement recommandé d'utiliser un ensemble de cinq cylindres.

Les cylindres, d'environ 40 cm de diamètre, sont empilés les uns sur les autres et tournent en sens inverse les uns par rapport aux autres. La pâte est placée entre les deux cylindres qui tournent l'un vers l'autre (No : 1 et 2) en bas à l'avant. La pâte passant entre les cylindres est pressée et passe au-dessus du cylindre supérieur (No : 2), puis elle passe à l'arrière. Ensuite, elle passe entre les cylindres 2 et 3, puis est transférée au-dessus du cylindre supérieur. À l'arrière du cylindre supérieur No : 5, il y a une lame qui gratte la pâte à travers toute sa longueur entre les cylindres. La pâte écrasée entre les cylindres est raclée sous forme de poudre par la lame, prête pour la prochaine étape du processus. (Jackson 1994)



Figure n°11 : raffineur de cinq rouleaux. (Jackson 1994)

En raison de la pression et de la friction entre les cylindres, la température augmente à mesure que l'on monte. La température augmente pendant le processus. Cette augmentation de la température peut affecter la qualité du produit et provoquer la fissuration des cylindres. Pour éviter ces fissures, l'intérieur des cylindres est maintenu vide, et un système de circulation d'eau froide est conçu pour maintenir à une température contrôlée à la fois le produit et les cylindres. Ainsi, même le cylindre le

plus exposé à la plus haute pression et à la friction, le numéro 5, ne dépasse pas 45°C. (Jackson 1994)

Le processus d'affinage dans les cylindres transforme la pâte d'une épaisseur de 110-120 μm issue du mélangeur en une poudre d'une épaisseur de 20-24 μm . Après l'étape d'affinage, l'épaisseur de la poudre de chocolat obtenue doit être contrôlée à intervalles réguliers à l'aide d'un micromètre tout au long du processus.

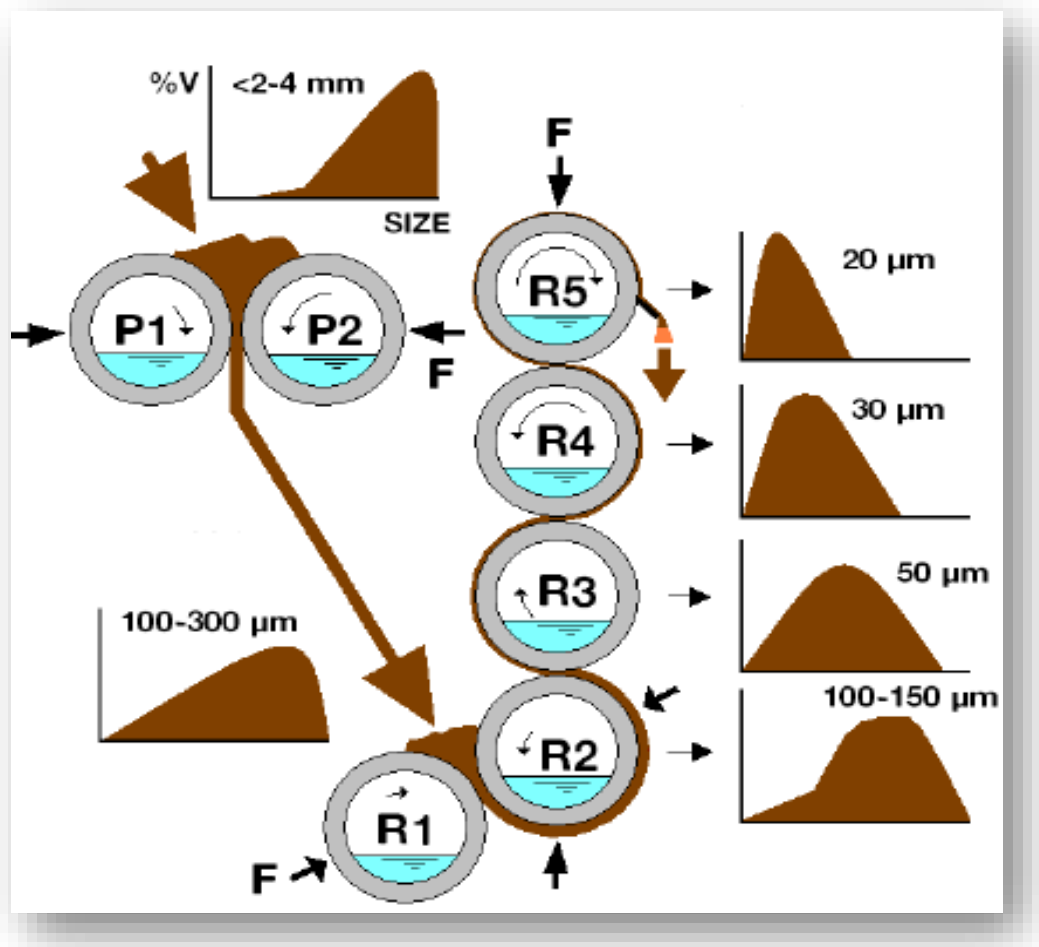


Figure n°12 : Diagramme schématisé du raffinage au rouleau en deux étapes

I.3.4. Conchage

Les mélanges en poudre qui sortent des cylindres sont remplis dans un récipient appelé "Conche" jusqu'à ce qu'un poids spécifique soit atteint. Lorsque le poids souhaité est atteint, le processus de conchage est déclenché. Le processus de conchage du chocolat prend généralement entre 10 et 20 heures, en fonction de la qualité du produit souhaitée et de la machine utilisée. L'objectif de ce processus est d'éliminer les odeurs

et les arômes étrangers provenant de la masse de cacao, de réduire l'humidité à un niveau souhaité (maximum 1,5 % d'humidité) et d'obtenir une certaine fluidité pour le chocolat.

En général, le chocolat conché est décrit comme étant doux par rapport au chocolat non conché. Il réduit l'amertume et peut potentiellement mettre en évidence d'autres saveurs. Bien que nous en sachions beaucoup sur les volatils, les acides gras, les pyrazines et les composés sulfurés présents dans le chocolat, tant que le niveau chimique de la conche ne sera pas entièrement expliqué, il peut affecter le goût. Cela nous amène à examiner ce que fait réellement le processus de conchage (**Korkubilmez 2005**).

La maîtrise de la température est souvent mentionnée comme étant cruciale dans le traitement du chocolat. Pendant le processus de conchage, la température augmente également en raison du frottement. La température est contrôlée en fournissant la quantité appropriée d'eau froide aux parois du réservoir. Si la température monte au-dessus de 75°C pour le chocolat noir ou de 65°C pour le chocolat au lait pendant le conchage, le conchage peut également être considéré comme une pasteurisation du chocolat. (**Hoskin et Dimick 1980**).

Le processus de conchage se déroule en trois étapes :

- Conchage sec : la masse de chocolat peut être facilement émietée, l'humidité est éliminée de l'environnement.
- Conchage plastique : la masse de chocolat est épaisse, nécessitant une entrée de chaleur élevée par la conche.
- Conchage liquide : agitation à haute vitesse pour incorporer les derniers ajouts de beurre de cacao et des émulsifiants.

I.3.4.1. Conchage sec

Le matériau d'alimentation entre généralement sous forme de matériau en poudre dans le cône, souvent une petite quantité d'huile (environ 1 %) est placée au début du remplissage dans le cône. Cela se transforme rapidement en une masse qui se fragmente facilement avec le mouvement de mélange et l'augmentation de la température. À cette étape, l'élimination de l'humidité est relativement facile, à condition que le cône soit bien aéré. Le taux d'humidité initial de nombreuses chocolaines est d'environ 1,6 %, et si possible, il devrait être réduit en dessous de 1 %. Certains chercheurs (Ley 1994)

soutiennent que la viscosité continue de diminuer jusqu'à une teneur en humidité de 0,6 %. Cependant, réduire l'humidité en dessous d'environ 98 % devient beaucoup plus difficile et économiquement peu rentable. **(Beckett 1999)**

I.3.4.2. Conchage plastique

Vers la fin du conchage à sec et au début du conchage plastique, l'énergie apportée au chocolat par l'action de mélange est souvent si élevée que la température augmente rapidement. Par conséquent, la température de la veste d'eau doit être maintenue quelques degrés de moins que la température de conchage souhaitée pour assurer une augmentation stable. Cela a un impact significatif sur le goût final du chocolat et doit donc être soigneusement contrôlé pour obtenir un produit reproductible. C'est particulièrement critique lors de la phase plastique, où il est nécessaire d'utiliser des régulateurs de veste d'eau thermostatiques capables de réagir aux changements de température soudains. **(Korkubilmez 2005)**

I.3.4.3. Conchage liquide

C'est la dernière étape de conchage, beurre de cacao manquante selon la recette est ajoutée à ce stade, ainsi que la lécithine. Le couchage est poursuivi pendant un certain temps pour assurer une homogénéité et une fluidité optimales des derniers ingrédients dans le produit final. Cependant, il est inutile de prolonger cette étape car elle n'apportera pas de contribution significative au goût. Lorsque le conchage est effectué à haute température, il peut être nécessaire de laisser le chocolat refroidir avant d'ajouter l'émulsifiant (la lécithine) ; certains auteurs (Bartusch 1974) ont constaté que la lécithine était moins efficace lorsque ajoutée à une température dépassant environ 60°C.

Après ces ajouts, le conchage est poursuivi pendant une courte période supplémentaire. Ensuite, le mélange est transféré dans un réservoir de stockage pour y reposer. Pendant le transfert de la conche au réservoir de stockage, l'installation d'un tamis magnétique sur la ligne de production constitue un Point de Contrôle Critique de ce processus. **(Korkubilmez 2005)**

I.3.5. Réservoir de stockage

Il s'agit des réservoirs où sont entreposées les pâtes de chocolat une fois le processus terminé. Selon le type de chocolat, il est recommandé de disposer de réservoirs de stockage séparés. Ils doivent être en acier inoxydable, à double paroi et équipés d'agitateurs, ce qui est très important. Il est recommandé que la température des parois

ne dépasse pas 45°C. Le chocolat sortant de la conche est laissé dans ces réservoirs pendant environ 10 à 12 heures pour que son arôme et son goût atteignent leur maturité. Pendant cette période de repos, les agitateurs doivent fonctionner à très basse vitesse afin d'éviter les problèmes tels que la séparation des phases ou la sédimentation au fond de réservoir. Une fois reposé, le chocolat est prêt à être tempéré lorsque nécessaire. **(Bartusch 1974)**

II.4. Les analyses physico-chimiques

La fabrication du chocolat et la préservation de sa qualité nécessitent des analyses physiques et chimiques des matières premières ainsi que tout au long du processus de fabrication du chocolat.

Tableau II : les paramètres physico-chimiques de matières première et chocolat

M.P	Sucre	Graisse végétale	Lécithine	Arome	Poudre de cacao	Poudre le lait	Produit semi fini
Analyse							
Humidité	X		X	X	X	X	X
Ph				X	X	X	
Viscosité			X				X
Acidité						X	
Acidité grasse		X					
Indice peroxyde		X					
Indice d'iode							
M.G						X	
Finesse							X
Point fusion		X					

II.4.1 Détermination de l'humidité

II.4.1.1. Humidité du sucre blanc

Principe

Le principe de la méthode est le séchage en étuve utilisant la technique d'étuve à pression atmosphérique (105°) suivi par des conditions standardisées pour le refroidissement après étuvage. Seule l'humidité libre est mesurée par cette méthode.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de 20g de sucre blanc ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage.

Méthode

1. Tarer la balance. Peser la capsule vide (P₀).
2. Peser 20g de sucre blanc dans la même capsule son tarer la balance (P₁).
3. Mettre dans l'étuve pendant 3h à 105°C°.
4. Mettre la capsule dans le dessiccateur pour refroidir pendant 10min.
5. Peser la capsule après l'étuvage (P₂).
6. Saisir les résultats dans le PCLAB. Le calcul de l'humidité se fait automatiquement.

Le calcule

$$\text{Humidité (\%)} = (P_1 - P_2) / (P_1 - P_0) * 100$$

P₀ : masse de la capsule vide (g).

P₁ : masse de la capsule+ sucre blanc avant étuvage (g).

P₂ : masse de la capsule + sucre blanc après étuvage (g).

II.4.1.2. Détermination de l'humidité de poudre de lait et poudre de cacao**Prélèvement et échantillonnage**

Pour mener notre étude, des échantillons de 5g de poudre de lait aux poudres de cacao ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage.

Méthode

- Mettre l'appareil sous tension.
- Mettre en marche en appuyant sur la touche on/off.
- L'appareil effectue un contrôle automatique. Dès que 0.000 g apparait sur l'affichage quitte le zéro, appuyer sur la touche TARE.
- Lorsque l'affichage de la stabilité apparait sur l'afficheur. La balance se trouve dans un état stable. A l'état instable l'affichage.
- Si la balance n'indiquait pas exactement le zéro malgré un plateau décharge, attendre l'affichage de la stabilité puis appeler la touche TARE. La balance commence par la rétrogradation à zéro, le symbole →0← apparait.

- Peser 5g de la prise d'échantillon avec un plateau porte échantillon vide sur le support du plateau porte échantillon. Veillez à ce que le plateau porte échantillon soit bien à plat sur le support du plateau porte échantillon. Mettez toujours en œuvre le support porte échantillon, il permet de travailler en toute sécurité et empêche les brûlures.
- Fermer le couvercle, l'appareil est prêt pour la mesure.
- La déshydratation se met en marche automatiquement dès que la balance est au repos.
- Les paramètres de déshydratation peuvent être relevés sur l'écran d'affichage.
- Un signal sonore retentit dès que la déshydratation est terminée et le chauffage est mis hors circuit.
- Sur l'écran d'affichage apparaît le résultat de la mesure dans l'unité réglée.
- Ouvrir le couvercle et retirer l'échantillon au moyen d'une pince.
- Refermer le couvercle.
- Eteindre l'appareil à l'aide du commutateur.

II.4.2. Mesure du pH

Principes

Le potentiel hydrogène (pH) est la concentration en ion d'hydrogène (H^+) d'une solution ionisée.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de 10g ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage.

Méthodes

- Mettre sous tension le pH mètre en appuyant sur <ON>.
- Sélectionner la grandeur de mesure (PH) avec <M>.
- Mesurer la température :
 - Automatiquement avec une sonde de mesure de température (une indication de température <TP> s'affiche).
 - Manuellement : par une sonde externe : mesure la température actuelle de la solution.

- Avec «▲» «▼» régler la température.
- Allumer la balance à l'aide du bouton «POWER» .
- Peser 10g de l'échantillon dans un bécher et compléter avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre les (100g).
- Allumer l'agitateur et poser le bécher.
- Chauffer juste assez pour dissoudre l'échantillon (cas de biscuit).
- Régler la vitesse d'agitation et agiter jusqu'à ce que la solution devienne homogène.
- Préparer l'erenmeyer, l'entonnoir et le filtre.
- Verser la solution sur le filtre.
- Après filtration totale, récupérer le filtrat dans un bécher et le refroidir à 20C°.
- Plonger l'électrode de ph mètre dans le filtrat, la stabilité de la valeur mesurée est vérifiée, l'indication d'état [AR] clignote.
- Attendre que la valeur mesurée soit stable, l'indication d'état [AR] ne clignote plus.

II.4.3. Analyse de la matière grasse du lait

Principe

Le lait est agité dans un butyromètre, avec de l'acide sulfurique et de l'alcool iso amylique. L'acide sulfurique concentré dissout la caséine et les phosphates insolubles du lait. L'alcool iso amylique facilite la séparation de la matière grasse. Celle-ci est liquéfiée par l'augmentation de la température.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de 2,5g ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage.

Méthodes

- Bien mélanger l'échantillon avant prélèvement, lorsque le Lait en poudre repos, la matière grasse à tendance à remonter en surface.
- Peser 2,5 g de l'échantillon.
- Dans un butyromètre, mettre 10 ml d'acide sulfurique concentré (d=1.84).
- Ajouter doucement 11 ml de l'échantillon à analyser et 1 ml d'alcool iso amylique.
- Boucher et agiter en se protégeant de la chaleur qui se dégage.
- Centrifuger dans une Gerber à 1350 tr/min, pendant 5 minute.

- Mettre le tube au bain marie type à 70 C° pendant 10 min sans le retourner.
- Avec le bouchon, faire correspondre le début de la matière grasse avec le 0 du butyromètre et lire directement la teneur en matière grasse. $MG=B-A$ %.
- Vider le butyromètre dans un récipient approprié car le mélange est encore un acide concentré.

II.4.4. Analyse d'indice d'iode

Indice d'iode : Masse d'halogène, exprimée sous forme d'iode, absorbée par la prise D'essai selon le mode opératoire spécifique, divisée par la masse de la prise d'essai.

Principe

Dissolution d'une prise d'essai dans du solvant et addition de réactif de Wijs. Après un temps donné, addition d'iodure de potassium et d'eau, et titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de 3g ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage

Méthodes

- Dans une fiole conique peser 3g de matières grasses.
- Ajouter 20ml de solvant (50ml de cyclohexane, 50ml d'acide acétique glacial).
- Ajouter 25 ml de réactifs de Wijs et boucher.
- Homogénéiser le mélange grâce un agitateur, laisser à l'obscurité pendant 1h.
- Après ce temps on ajoute 20 ml d'iodure de potassium.
- Ajouter 150 ml d'eau.
- Titrer avec le Thio sulfate de sodium jusqu'à disparition de la couleur jaune due à l'iode ait presque disparue.
- Ajouter quelques gouttes d'amidon.
- Poursuivre le titrage jusqu'à ce que la couleur disparaisse après avoir agité Vigoureusement.
- Noter le volume

Calcule

Calculer l'indice d'iode, en grammes pour 100 g de corps gras, à l'aide de la formule suivante :

$$W1=12.69 \times c (V1- V2) /m$$

c : est la concentration, en moles par litre, de la solution de thiosulfate de sodium.

V1 : est le volume, en millilitre, de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour l'essai à blanc.

V2 : est le volume, en millilitre, de la solution de thiosulfate de sodium utilisée pour la détermination.

m : est la masse, en grammes, de la prise d'essai.

II.4.5. Analyse point fusion des corps gras :**Principe**

Immersion d'un tube capillaire, contenant une colonne d'un corps gras cristallise dans des conditions contrôlées, a une profondeur spécifiée dans de l'eau dont a température augmente à une vitesse donnée. Enregistrement de la température laquelle la colonne commence à se déplacer dans le tube capillaire.

Prélèvement et échantillonnage :

Pour mener notre étude, des échantillons de petite quantité ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage.

Méthodes :

Faire fondre aussi rapidement que possible une partie de l'échantillon pour essai, a une température d'au moins 5C°, mais d'au plus 10C° au-dessus de la température à laquelle le corps gras est complètement fondu.

Enfoncer deux tubes capillaires dans l'échantillon pour essai fondu de façon à obtenir une colonne des corps gras de 10 mm immédiatement après le remplissage, essuyer rapidement les tubes avec tissu absorbant de façon à éliminer toute trace de

corps gras sur leur surface externe. Placer immédiatement, pendant quelques secondes, les tubes capillaires remplis contre un béccher rempli de glace de façon à solidifier le corps gras.

Mettre les tubes dans le bain de refroidissement pendant 5 à 10 min.

Détermination :

Remplir le manchon à circulation d'eau élément de chauffage avec de l'eau bouillie au préalable et refroidie à 15°C où suspendre le thermomètre et les tubes capillaires au centre du manchon, de façon que les extrémités des tubes capillaires soient à 30 mm en dessous de la surface de l'eau.

- Mettre en marche le système de chauffage pour qu'un faible courant d'eau passe à travers le manchon en réglant de façon à augmenter la température de l'eau, que l'on mesure à l'aide de la température placée dans le manchon, d'environ 3°C/min à 4°C/min.
- Dès que le corps gras commence à se déplacer dans chacun des deux tubes capillaires, noter la température correspondante indiquée par le thermomètre.
- Noter la moyenne arithmétique des deux lectures obtenues.
- Effectuer deux déterminations sur le même échantillon pour l'essai c'est-à-dire de façon à obtenir deux lectures moyennes.

II.4.6 Analyse l'acidité totale de lait en poudre :**Définition :**

Acidité titrable du lait sec : nombre de millilitres d'une solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 mol/l nécessaires pour neutraliser, en présence de phénolphthaléine, une quantité de lait reconstitué correspondant à 5 g de solide non gras, jusqu'à l'apparition d'une coloration rose.

Principe :

Préparation du lait reconstitué par addition d'eau à une prise d'essai de lait sec correspondant exactement à 5 g de solide non gras. Titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium à 0,1 mol/l, en utilisant de la phénolphthaléine comme indicateur et du sulfate de cobalt comme solution colorée de référence. La quantité de solution d'hydroxyde de sodium nécessaire est en fonction de la quantité de substances tampons

présente à l'état naturel dans le produit et de l'acidité ou de l'alcalinité apparue ou ajoutée.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de 5g de lait en poudre ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage.

Méthode

Préparation de l'échantillon pour essai :

Transvaser l'échantillon dans un récipient propre et sec (muni d'un couvercle étanche à l'air), d'une capacité d'environ le double du volume de l'échantillon.

Fermer immédiatement le récipient et mélanger soigneusement le contenu au moyen d'agitations et de retournements répétés du récipient. Eviter autant que possible d'exposer l'échantillon à l'air au cours de ces opérations, afin de réduire le plus possible l'adsorption d'eau.

➤ Prise d'essai :

Prendre deux fioles coniques et introduire, dans chacune d'elles, $(500/a) \pm 0,01$ g de l'échantillon pour essai.

A étant la teneur de l'échantillon en solide non gras, exprimée en pourcentage avec deux décimales.

Note - La teneur de l'échantillon en solide non gras peut être calculée en soustrayant de 100 teneurs en matière grasse et la teneur en eau.

Détermination

- Préparer le lait reconstitué en ajoutant 50 ml d'eau, à environ 20U ça la prise d'essai et en agitant vigoureusement. Laisser reposer environ 20 min.
- Ajouter à l'une des fioles coniques, 2 ml de la solution colorée de référence pour avoir un témoin de couleur, et mélanger par agitation légère.

Note - Si l'on a une série de déterminations à effectuer sur des produits similaires, ce témoin de couleur pourra être utilisé pour toute la série. Cependant, il ne doit pas être utilisé plus de 2 h après sa préparation.

- Ajouter à la seconde fiole conique, 2 ml de la solution de phénolphthaléine et mélanger par agitation légère.

- Titrer le contenu de la seconde fiole conique par addition, à l'aide de la burette, en agitant, de la solution d'hydroxyde de sodium, jusqu'à obtention d'une faible couleur rose semblable à celle du témoin de couleur et persistant durant environ 5 secondes. La durée du titrage ne doit pas dépasser 45 secondes.

Noter le volume de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée à 0,05 ml près.

Expression des résultats

L'acidité titrable est égale à :

$$\text{Concentration massique de l'acide lactique} = (V1/50) \times 0.1 \times 90$$

Où V1, est le volume, en millilitres, de la solution d'hydroxyde de sodium, utilisée pour exprimer le titrage. Ce résultat est traduit en degré Dornic (°D) : 1 °D = 0,1 gramme d'acide lactique dans 100g de produit.

II.4.7 Analyse de l'indice peroxyde

Définition

L'indice de peroxyde : quantité de produit présente dans l'échantillon, exprimée en milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme **Meq/kg**, oxydant l'indure de potassium dans les conditions opératoires directes.

Principe

Traitement d'une prise d'essai, en solution dans de l'acide acétique et de chloroforme, par une solution d'iodure de potassium, titrage de l'iode libéré par une solution titrée de thiosulfate de sodium.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de 2g ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage.

Méthodes

- Dans un erlenmeyer on introduit 10 ml de chloroforme, 15 ml d'acide acétique glacial et 1 ml d'iodate de potassium KI saturée.
- Laisser à l'obscurité 5 min.
- Ajoutant 75 ml d'eau distillée plus quelques gouttes d'amidon.

- Titrer avec thiosulfate de sodium 0.002N.
- La chute ne doit pas dépasser 0.5 ml. Soit V0 la chute de blanc.
- Dégazé toutes les solutions.
- Dans un erlenmeyer on pèse 2 g de graisse végétale, on ajoute 10 ml de chloroforme, 15 ml de l'acide acétique glacial et 1 ml KL saturé.
- Laisser à l'obscurité 5 min.
- Ajoutant 75 ml d'eau distillée plus quelque gouttes d'amidon.
- Titrer avec thiosulfate de sodium 0.002N. Soit V la chute de la prise d'essai.

$$IP = [(V - V_0) \times N \times 1000] / \text{prise d'essai MEQ/kg}$$

II.4.8. Analyse d'acidité de beurre de cacao

Principe

Une méthode solvant à froid utilisant un indicateur coloré (méthode de référence). Cette méthode consiste à dissoudre l'échantillon dans un mélange d'éther et d'alcool, puis à le titrer avec une solution d'hydroxyde de potassium ou de sodium en présence d'un indicateur tel que la phénolphaléine ou le bleu de bromothymol.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de 5g ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage

Méthode

- 1) Dans un erlenmeyer, on pèse 5g de l'échantillon.
- 2) Ajoutant 150 ml d'éther di éthylique éthanol v/v (75/75ml).
- 3) Agitant bien le mélange, ajoutant quelques gouttes de phénophtaléine.
- 4) Titrage par KOH éthylique 0.1N pour éviter le déphasage.

Expression des résultats

Soit V la chute de KOH. L'acidité est donnée par la formule suivante :

$$\text{Acidité} = (V \cdot N \cdot M) / \text{Tous autres corps gras Prise d'essai} \cdot 1$$

L'acidité est exprimée en pourcentage.

M : masse molaire de l'acide gras.

Tableau III : la masse molaire des acides gras utilisant en chocolat

Nature du corps gras	Expression	Masse molaire g/mol
Huile de coprah, huile de palmiste et huile similaire.	Acide laurique	200
Huile de palme.	Acide palmitique	256
Tous autres corps gras.	Acide oléique	282

II.4.9. Mesure de la finesse de chocolat

Principe

Le présent mode opératoire a pour objet de définir la méthode à suivre pour mesurer la finesse de chocolat par micromètre.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de petite quantité ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage.

Méthode

On mesure la finesse de chocolat après le raffinage à l'aide d'un micromètre.

La méthode d'utilisation de micromètre :

- Enlevez le poussier et l'huile de la surface de mesure.
- Régler l'origine :
 - Tournez le tambour doucement pour mettre la broche en contact avec la touche.
 - Appuyer sur le bouton origine.
 - Si la valeur 0.000 s'affiche et que «p» clignote, appuyer de nouveau sur le bouton origine.

- «p» disparaître de l'affichage, Ce qui indique que le réglage de l'origine a été effectué.
- Une fois l'origine est réglée, on ouvre la broche en retournant le tambour vers le sens contraire.
- Mettez la solution du chocolat sur la broche, et fermer doucement la broche en tournant le tambour jusqu'à le contact avec la touche
- Nettoyage de la machine :
 - Ouvrez bien la broche en tournant le tambour.
 - Enlevez le chocolat qui soit sur la broche à l'aide d'un chiffon.
 - Fermez la broche et remettez tous en place.

II.4.10. Mesure de la viscosité chocolat

Principe

Ces instruments agissent par la rotation d'un cylindre ou disque (tige) qui est plongé dans le matériel à analyser et mesure la résistance de cette substance à une vitesse sélectionnée. La résistance qui en résulte est la mesure du flux de viscosité, dépendant de la vitesse et des caractéristiques de la tige ; l'appareil calcule le résultat et la lecture directe de la viscosité est reflétée en **mPas/s (SI)**.

Prélèvement et échantillonnage

Pour mener notre étude, des échantillons de 100 g ont été prélevés de quatre lots à intervalle de temps de leurs arrivés à l'usine pour entreposage

La méthode d'utilisation du viscosimètre Brookfield DV 3 T

- Mettez en marche l'appareil en appuyant sur l'interrupteur principale (désigne par POWER) au dos de l'appareil et attendez qu'il ait bien démarre la session, l'appareil est initialisé pendant le lancement de la session.
- Vérifiez que le viscosimètre est de niveau et retirer le mobile ou le raccord.
- Mètres-en contacte l'échantillon d'analyse avec le mobile 5 et configurer Test viscosité.
- Démarrez le test programmé en appuyant sur le bouton (Run).
- Retirez le mobile 5 soigneusement.
- Nettoyer le mobile à l'aide d'un chiffon ou papier.

Chapitre III :
Résultats et discussion

I.1 Indice de qualité de la matière première

I.1.1 résultats de Cacao alcalinisé

Après avoir analysé le taux d'humidité et pH dans le cacao alcalinisé, nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau IV.

Tableau IV : Caractéristiques physicochimiques (taux d'humidité et pH) du cacao alcalinisé

	Lots n°1	Lots n°2	Lots n°3	Lots n°4	Moyenne	Normes
Humidité (%)	3.83	3.55	3.57	3.68	3.657	≤5%
PH	8.75	8.44	8.77	8.36	8.58	7.6≤pH≤8.6

I.1.1.1. Taux d'humidité de cacao alcalinisé

Le pourcentage d'humidité le plus élevé est de 3.83 %, ce qui correspond au lot n° 1, tandis que le lot n° 2 présente le pourcentage le plus bas. Ensuite, les lots n° 3 et n°4 ont des taux d'humidité similaires, à savoir 3.57 % et 3.68 % respectivement.

La moyenne des taux d'humidité dans les quatre lots s'élève à 3.65 %, ce qui est conforme à la norme du Norme interne de l'entreprise qui fixe un seuil maximal de 5 % pour la teneur en humidité.

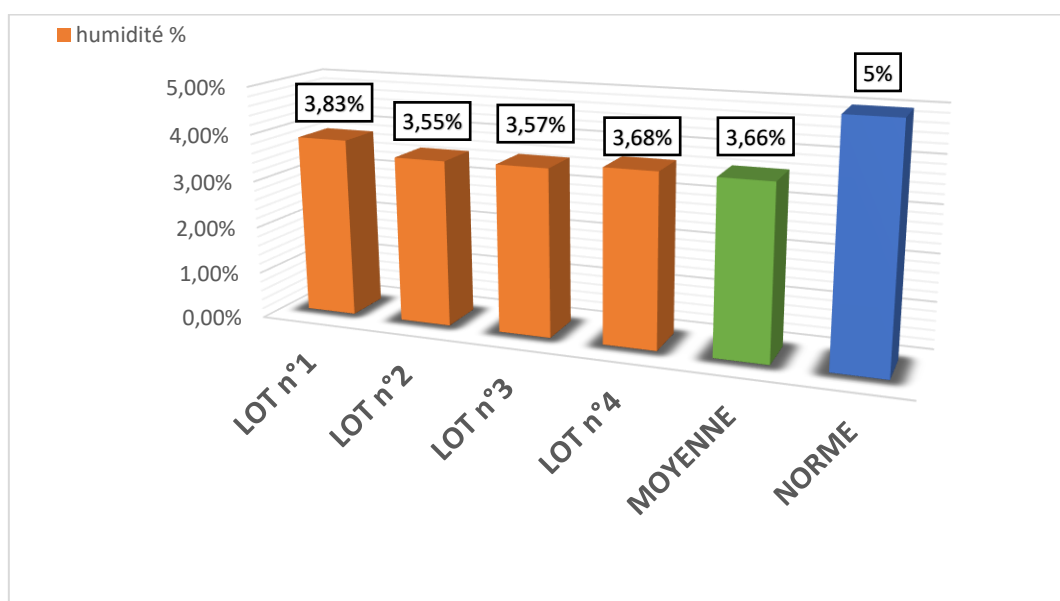


Figure 13 : Taux d'humidité de cacao alcalinisé de quatre lots différents

Nos résultats concernant l'humidité de cacao alcalinisé sont similaires à ceux obtenus par **Louraichi** et **Boutrig** en 2020, qui ont rapporté une moyenne d'humidité de 3,06 %.

I.1.1.2. Résultats de pH de cacao alcalinisé

Après avoir mesuré et évalué le pH du cacao dans différents lots, nous avons présenté nos résultats dans le tableau n° 10. Les valeurs de pH des quatre lots varient entre 8.36 et 8.77 %

Le lot n° 4 présente le pH le plus bas, qui est de 8.36. Tandis que le lot n° 3 présente la valeur de pH la plus élevée et remarquable, à savoir 8.77. En comparaison, le lot n° 1 présente une valeur légèrement inférieure à celle du lot n° 3, avec un pH de 8.75. Enfin, les lots n° 2 et 4 ont les pH les plus bas, mesurant respectivement 8.44 et 8.36. En résumé, la moyenne des valeurs de pH dans les quatre lots s'élève à 8.58. Cette moyenne est conforme à la norme du Norme interne de l'entreprise, qui fixe une plage acceptable pour la teneur en pH entre 7.6 et 8.6.

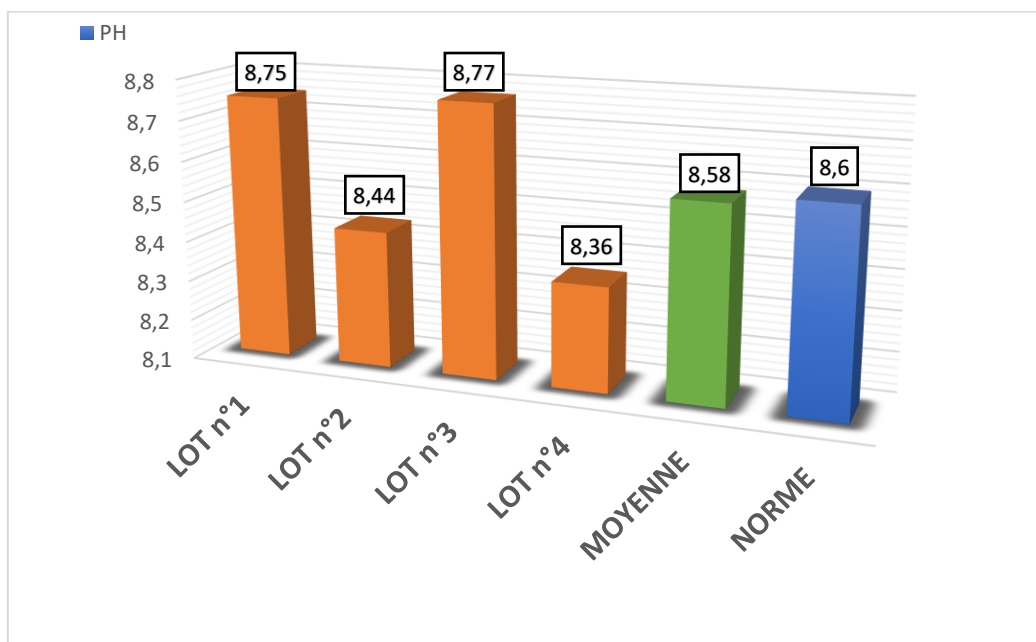


Figure 14 : taux de pH de cacao alcalinisé de quatre lots différents

De manière générale, le cacao alcalinisé que nous avons analysé satisfait aux normes établies par la norme interne de l'entreprise en ce qui concerne son taux d'humidité et son pH. Cette conformité peut principalement être attribuée aux conditions de stockage appropriées, notamment en ce qui concerne la température et l'humidité, qui ont été maintenues de manière constante tout au long de la chaîne de production, depuis le

producteur jusqu'à l'industrie. Par conséquent, ce cacao est conforme et destiné directement à être utilisé par l'entreprise dans sa fabrication.

Nos constatations relatives à l'humidité du cacao alcalinisé diffèrent de celles obtenues par **Kab** et **Brahame** en 2017, qui ont indiqué une moyenne d'humidité de 6,23 %.

I.1.2. Poudre de lait 26%

Après avoir analysé le taux d'humidité, l'acidité et la matière grasse de la poudre de lait 26 %, nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau V.

Tableau V : Taux d'humidité, acidité et en matière grasse des 4 lots de la poudre de lait

	Lots n°1	Lots n°2	Lots n°3	Lots n°4	Moyenne	Normes
Humidité (%)	2.27	2.68	2.40	2.56	2.477	≤5%
Acidité °D	13	14	13	13.7	13.42	AC≤18 °D
MG (%)	26	26	26.5	25	25.87	25-27%

I.1.2.1. Taux d'humidité de poudre de lait

Le pourcentage d'humidité des quatre lots varie entre 2.27 % et 2.68 %.

Le lot n° 1 présente le taux d'humidité le plus bas correspond à 2.27 %. Tandis que le lot n° 2 possède le taux d'humidité le plus élevé avec 2.68%. Ensuite, les lots n° 3 et n° 4 présentent des pourcentages rapprochés qui sont 2.40 et 2.45 % respectivement.

En résumé, la moyenne des taux d'humidité dans les quatre lots s'élève à 2.45 %. Cette moyenne est conforme à la norme interne de l'entreprise, qui fixe une limite dont la teneur en humidité ne doit pas dépasser 5 %.

Nos résultats l'acidité de lait en poudre sont rapprochés aux résultats de **louraichi** et **boutrig** en 2020 qui ont trouvé que la moyenne d'humidité est de 3,53 %

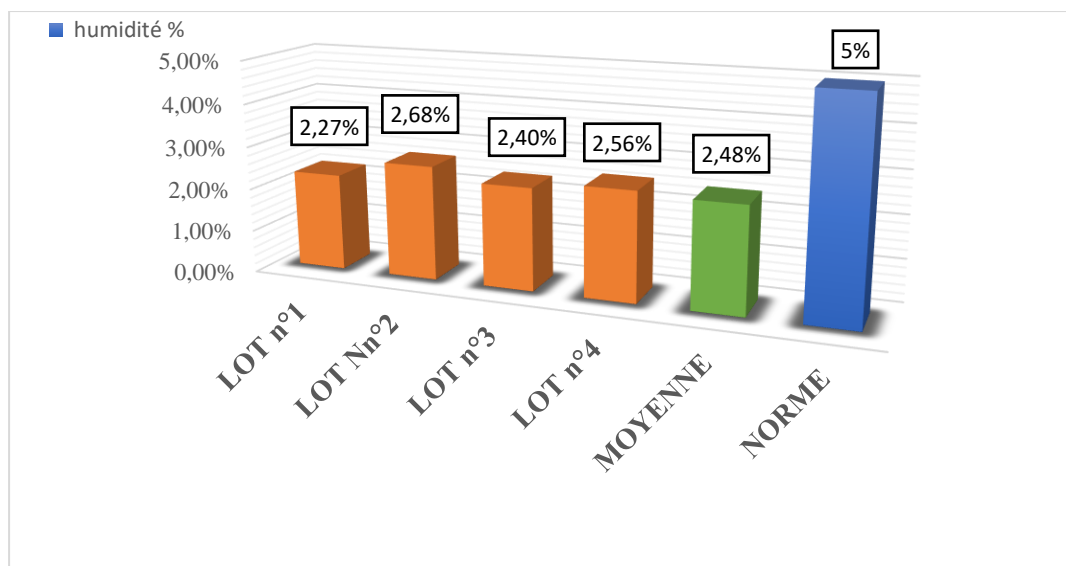


Figure 15 : Taux d’humidité présent dans la poudre de lait des 4 lots analysés

I.1.2.2. Taux d’acidité de lait en poudre

Les teneurs en acidité obtenues sont présentées dans la figure 14.

Les valeurs de l’acidité de lait en poudre des quatre lots varient entre 13 et 14 °D.

Les lots n° 1 et 3 présentent la même valeur correspond à 13 °D, tandis que les lots 2 et 4 présentent aussi la même valeur de l’acidité correspond à 14 °D.

En général, les quatre lots présentent la valeur moyenne de 13.5 °D, donc ce dernier est conforme par rapport aux normes JORA codex 105-1981 de qui fixe une limite qui ne doit pas dépasser 17 °D.

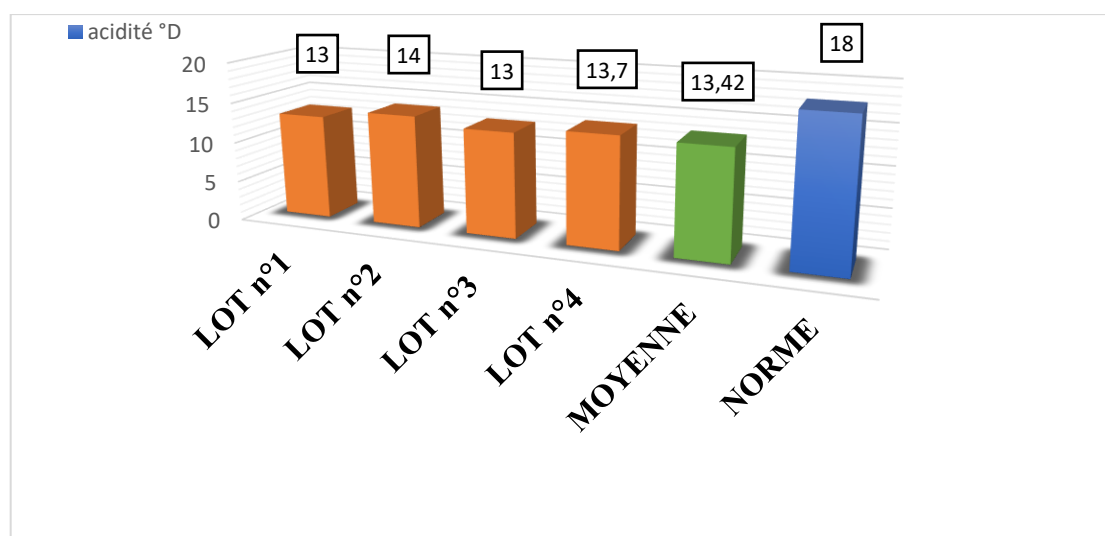


Figure 16 : Teneur d’acidité des 4 lots de la poudre de lait analysés

Nos résultats concernant l'acidité de lait en poudre sont similaires à ceux obtenus par **Louraichi** et **Boutrig** en 2020, qui ont rapporté une moyenne d'humidité de 13.30 D°.

I.1.2.3. La teneur en matière grasse de la poudre de lait à 26 %

La figure 15 illustre les résultats de la teneur en matière grasse des différents lots analysés.

La teneur en matière grasse dans différents lots de lait en poudre varient entre 25 et 26 %.

Le lot n°3 se distingue par sa teneur en matière grasse la plus élevée, atteignant 26,5 %. En revanche, les lots n°1 et 2 affichent une teneur équivalente de 26 % en matière grasse. Enfin, le lot n°4 présente la valeur la plus basse avec 25 % de matière grasse.

Dans l'ensemble, la teneur moyenne en matière grasse dans les différents lots s'élève à 25,87 %. Cette valeur est conforme à la norme interne de l'entreprise, qui exige une fourchette comprise entre 25 % et 27 %.

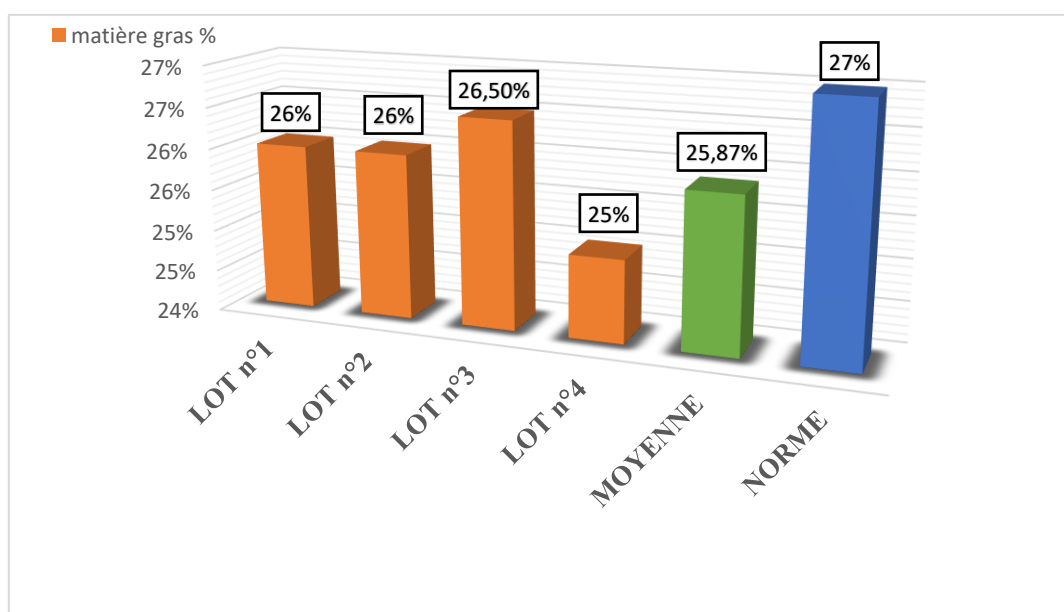


Figure 17 : Taux de matière grasse de la poudre de lait 26% des 4 lots analysés

En résumé, la poudre de lait à 26 % de matière grasse est conforme et destinée à être utilisée directement dans la fabrication du chocolat

I.1.3 Sucre

I.1.3.1. Analyse de l'humidité du sucre cristallisé

Après avoir analysé le taux d'humidité dans sucre, nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau VI

Tableau VI : Taux d'humidité analysé dans 4 lots de sucre blanc

	Lots n°1	Lots n°2	Lots n°3	Lots n°4	Moyenne	Norme
Humidité %	0.16	0.13	0.20	0.18	0.167	≤0.20%

Le pourcentage d'humidité le plus élevé est de lot n°3 avec 0.20 %, ce qui correspond au lot n° 2 présente le pourcentage le plus bas 0.13 %. Ensuite, les lots n° 1 et n°4 ont des taux d'humidité similaires, à savoir 0.16% et 0.18 % respectivement. La moyenne des taux d'humidité dans les quatre lots s'élève à 0.17 %, ce qui est conforme à la norme du Norme interne de l'entreprise qui fixe un seuil maximal de 0.20 % pour la teneur en humidité.

Nos résultats d'humidité de sucre sont rapprochés aux résultats de **louraichi** et **boutrig** en 2020 qui ont trouvé que la valeur plus remarquable d'humidité est de 0.18 %

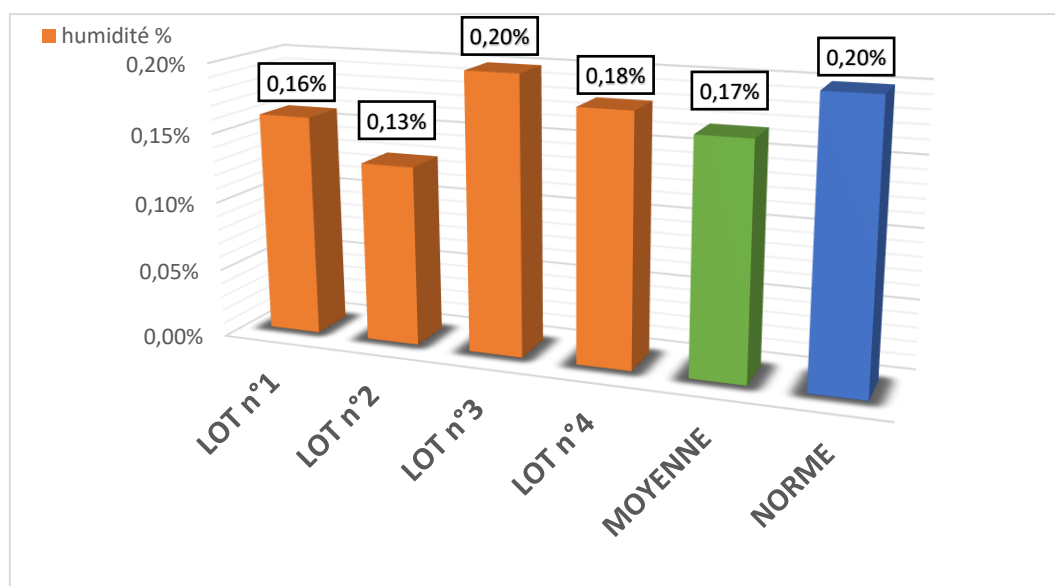


Figure 18 : Teneur d'humidité analysé dans 4 lots de sucre blanc

En résumé, les sucres de quatre lots conformes à la norme donc les lots de sucres acceptables à la fabrication de chocolat.

I.1.4 Beurre de cacao

Après avoir effectué une analyse de l'acidité de la matière grasse, de l'indice peroxyde, de l'indice d'iode et du point de fusion du beurre de cacao, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau VII

Tableau VII : Caractéristiques physicochimiques du beurre de cacao

	Acidité de la M.G %	Indice peroxyde meqO ₂ /kg	Indice d'iode gii/100g	Pointe fusion °C
Lots n°1	1.25	1.09	34.6	33
Lots n°2	1.16	1.12	35.6	35
Lots n°3	1.20	0.9	35	34
Lots n°4	1.45	1.07	36.2	35.8
Moyenne	1.265	1.045	35.35	34.45
Norme	≤1.75%	≤10meqO ₂ /kg	32-42 gii/100g	33≤T°C≤35

I.1.4.1. Résultats de l'acidité de beurre cacao

Les pourcentages d'acidité de la matière grasse dans nos différents lots de beurre de cacao varient entre 1,16 % et 1,45 %.

Plus précisément, le lot n° 4 possède le pourcentage d'acidité de la matière grasse le plus élevé, atteignant 1,45 %. En revanche, les lots n° 1 et 3 présentent des pourcentages très proches, respectivement de 1,25 % et 1,20 %. Enfin, le lot n° 2 présente le pourcentage d'acidité de la matière grasse le plus bas, qui est de 1,16 %.

En général, les quatre lots présentent une valeur moyenne d'acidité de la matière grasse de 1,26 %. Cette valeur est conforme aux normes ISO 660, qui exigent une limite maximale de 1,75 % pour l'acidité de la matière grasse du beurre de cacao.

La teneur en acides gras libres du beurre de cacao intéresse les producteurs et les fabricants de chocolat car un pourcentage élevé signifie une réduction de la qualité des fèves de cacao fermentées et entraîne une diminution de la dureté du beurre de cacao (Afoakwa *et al.*, 2008).

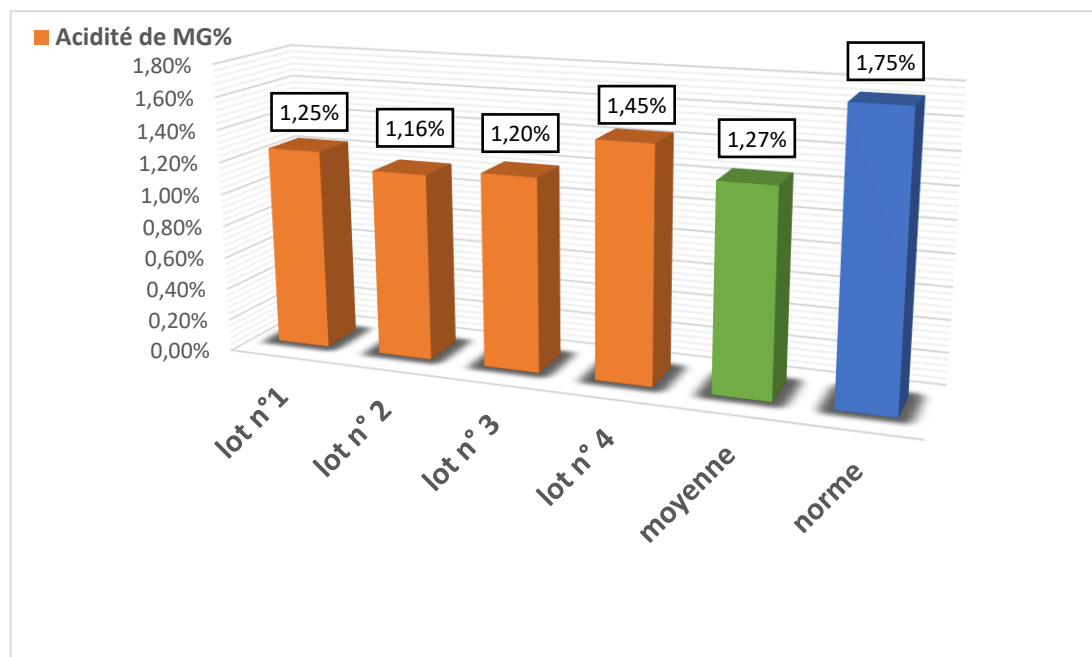


Figure 19 : Profil en acidité de la matière grasse des 4 lots du beurre de cacao

I.1.4.2. Résultats de l'analyse de l'indice peroxyde

Les valeurs de l'indice de peroxyde dans nos quatre lots se situent dans la plage de 0,9 à 1,12 méq O₂/kg. Se rapprochent de ceux donnés par **Yadav et al.,(2011)** (0,55-2,20 méq d'O₂/Kg).

Le lot n° 3 possède la valeur la plus basse de l'indice de peroxyde, avec seulement 0,9 méq O₂/kg. Ensuite, le lot n° 4 présente une valeur légèrement plus élevée que le lot n° 3, atteignant 1,079 méq O₂/kg. Le lot n° 1, quant à lui, présente une teneur en indice de peroxyde de 1,09 méq O₂/kg, ce qui est considéré comme supérieur par rapport aux lots n° 3 et 4. Enfin, le deuxième lot présente la teneur la plus élevée en indice de peroxyde, avec 1,12 méq O₂/kg.

En moyenne, l'indice de peroxyde dans les quatre lots s'élève à 1,04 méq O₂/kg. Cette moyenne est conforme aux normes de l'ISO 3960, qui fixent une limite maximale de 10 méq O₂/kg pour l'indice de peroxyde.

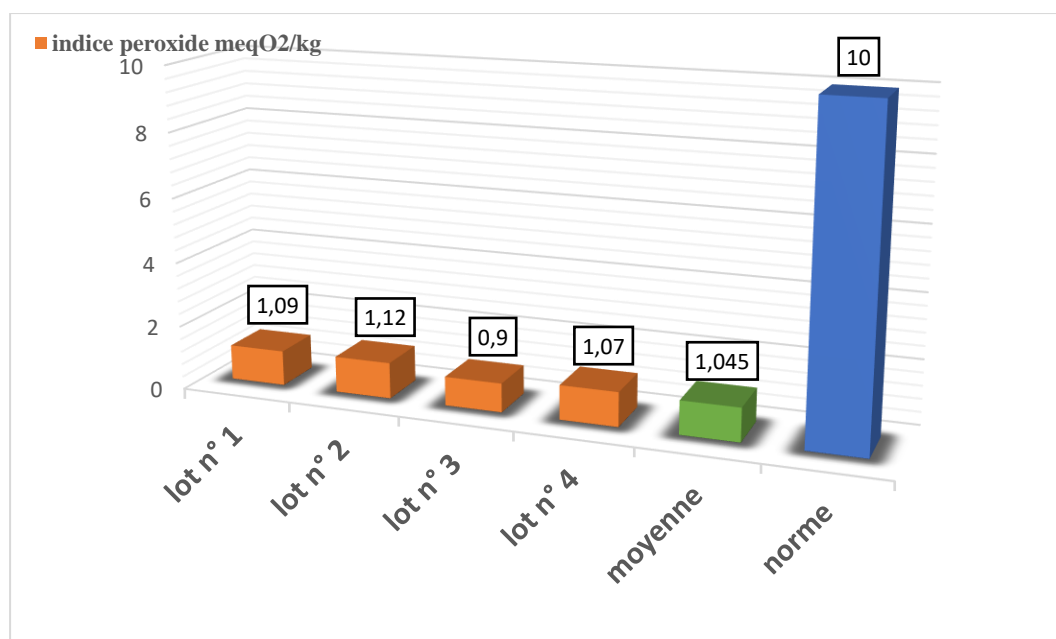


Figure 20 : Indice de peroxyde analysé dans 4 lots de beurre de cacao

I.1.4.3. Résultats de l'analyse de l'indice d'iode

Les valeurs de l'indice d'iode pour nos quatre lots se situent dans une plage allant de 34,6 à 36,2 g/100 g.

Le lot n° 1 présente la valeur la plus basse de l'indice d'iode, avec seulement 34,6 g/100 g. Par la suite, le lot n° 3 présente une valeur légèrement supérieure au lot n° 1, atteignant 35 g/100 g. Le lot n° 2, quant à lui, présente une teneur en indice d'iode de 35,6 g/100 g, ce qui dépasse les valeurs des lots n° 1 et n° 3. Enfin, le quatrième lot présente la teneur la plus élevée en indice d'iode, avec 36,6 g/100 g.

En moyenne, l'indice d'iode dans les quatre lots s'établit à 35,35 g/100 g. Ces résultats respectent les normes de l'ISO 3961, qui stipulent une plage de teneur en indice d'iode comprise entre 32 et 42 g/100 g.

Dans la catégorie des chocolats, les indices d'iode les plus élevés sont 37,97. Ils correspondent aux valeurs mentionnées par **Jahurul et al., (2016)** qui varient entre 34,74 et 37,94 pour le beurre de cacao selon le pays d'origine.

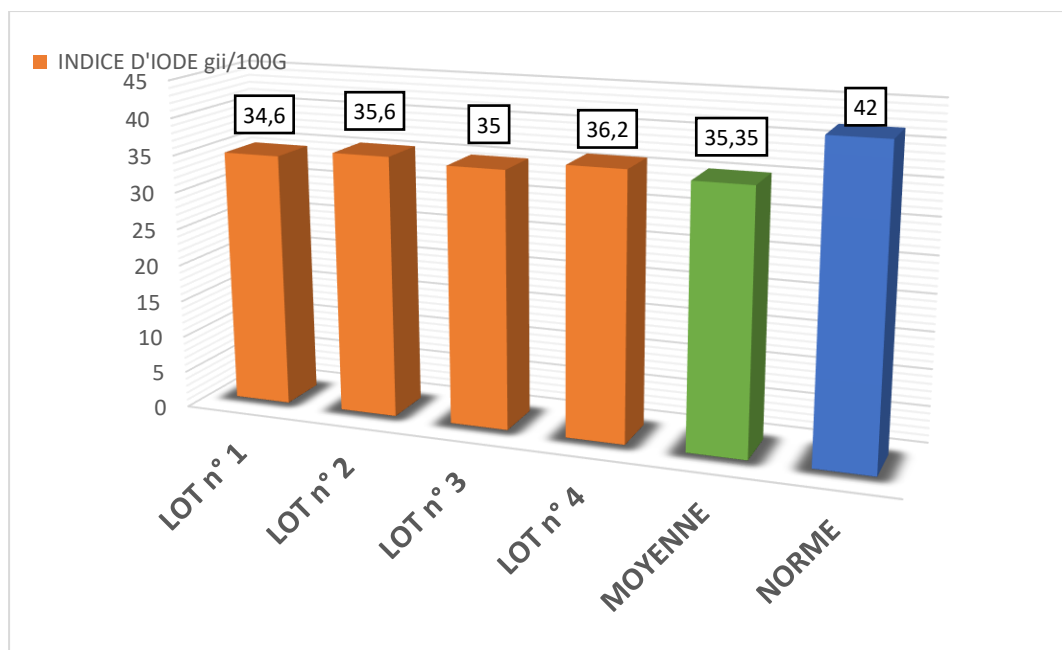


Figure 21 : Indice d'iode présent dans les 4 lots de beurre de cacao analysés

I.1.4.4. Profil du point de fusion de beurre de cacao

Les points de fusion observés sont résumés dans la figure 16.

Les points de fusion du beurre de cacao dans les divers lots se situent dans un intervalle de température allant de 33 à 35,8 °C.

Le lot n° 1 possède le point de fusion le plus faible avec 33 °C. Par la suite, le lot n° 3 présente un point de fusion légèrement supérieur, atteignant 34 °C. Le lot n° 2, quant à lui, présente un point de fusion plus élevé que les lots n° 1 et n° 3, avec 35 °C. Enfin, le quatrième lot présente le point de fusion le plus élevé et important à 35,8 °C.

En moyenne, le point de fusion dans nos lots s'établit à 34,45 °C. Cette moyenne est conforme aux normes de l'entreprise, qui fixent une plage de points de fusion du beurre de cacao entre 33 et 35 °C.

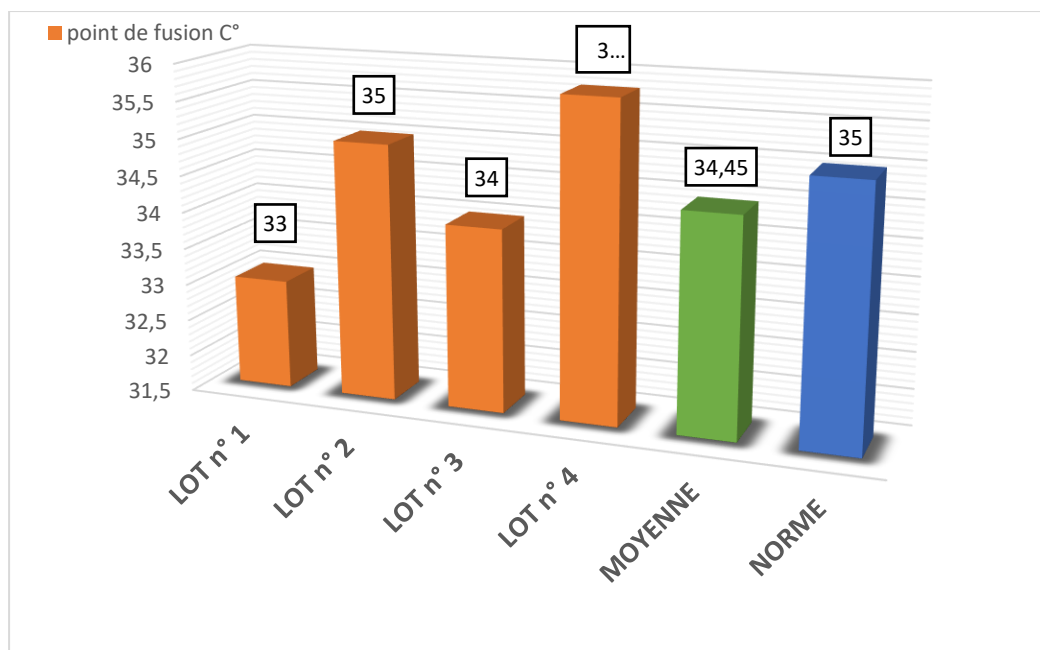


Figure 22 : Point de fusion analysé dans les 4 lots de beurre de cacao

En résumé, les caractéristiques du beurre de cacao, notamment l'acidité de la matière grasse, l'indice de peroxyde, l'indice d'iode et le point de fusion, respectent à la fois les normes de l'ISO et les critères internes de l'entreprise. Par conséquent, le beurre de cacao est conforme aux exigences et peut être utilisé directement dans les fabrications de l'entreprise.

I.1.5 La masse de cacao

Après avoir analysé le taux d'humidité et la teneur de matières grasses dans la masse cacao, nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau VIII

Tableau VIII : Taux d'humidité et en matière grasse analysé dans 4 lots de la masse de cacao

	Lots n° 1	Lots n° 2	Lots n° 3	Lots n° 4	Moyenne	Norme
Humidité %	0.16	0.17	0.20	0.18	0.177	≤0.2
MG%	54	55	53.1	54.3	54.1	≥53

I.1.5.1 Résultats du taux d'humidité de masse de cacao

Le pourcentage d'humidité le plus élevé est de lot n°3 avec pourcentage 0.20 %, ce qui correspond au lot n° 1 présente le pourcentage le plus bas 0.16 %. Ensuite, les lots n° 2 et n°4 ont des taux d'humidité similaires, à savoir 0.17% et 0.18 % respectivement.

La moyenne des taux d'humidité dans les quatre lots s'élève à 0.18 %, ce qui est conforme à la norme interne d'entreprise qui fixe un seuil maximal de 0.20 % pour la teneur en humidité de la masse de cacao.

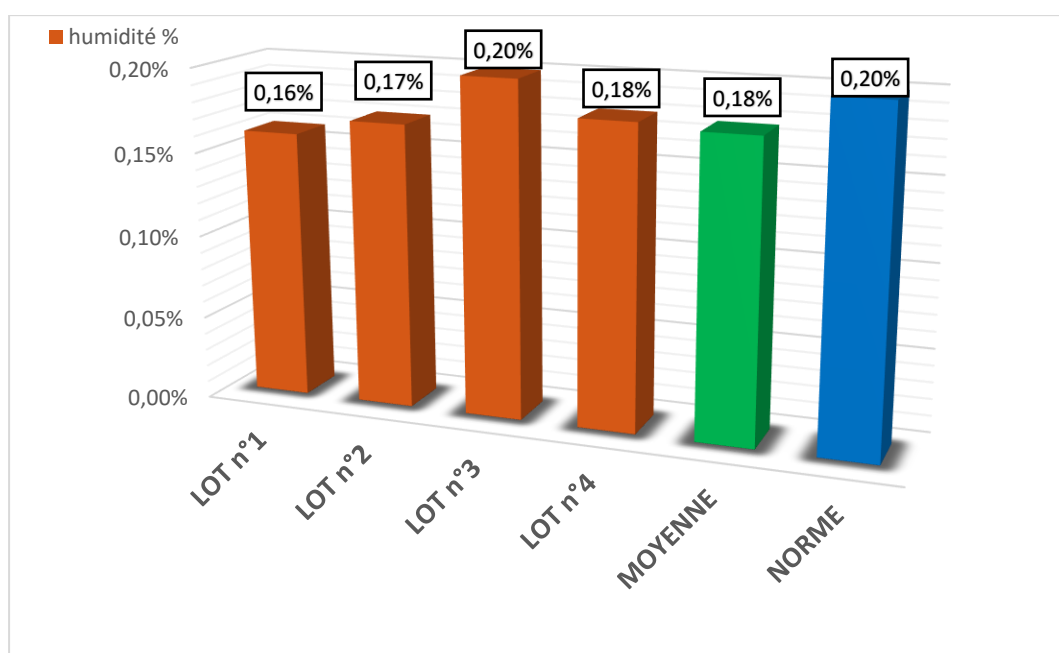


Figure 23 : Taux d'humidité analysé dans quatre lots de la masse de cacao

I.1.5.2 Résultats de taux de matières grasses de masse de cacao

La teneur de matières grasses la plus remarquable est de lot n°2 en pourcentage 55%, par contre lot n°3 présente un teneur plus bas 53.1 %. Ensuite, les lots n° 1 et n°4 ont des pourcentages similaires, à savoir 54 % et 54.3 % respectivement.

La moyenne de taux de matière grasse dans les quatre lots présente 54.1 %, ce qui conforme à la norme interne de l'entreprise supérieure et égale 53 % de matière grasse.

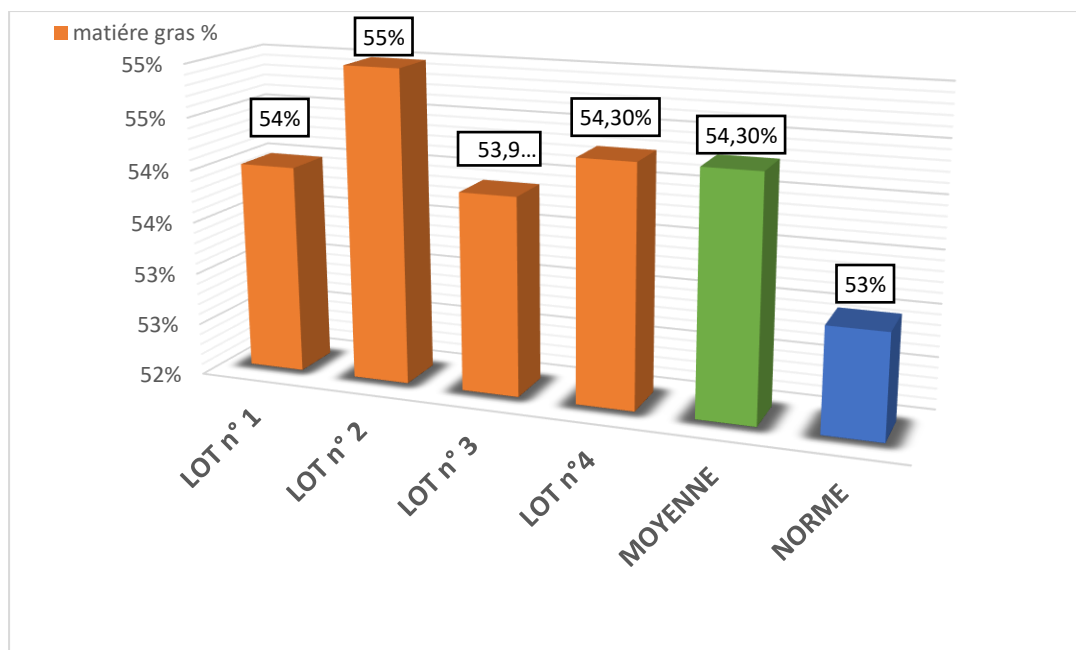


Figure 24 : Taux en matière grasse analysé dans 4 lots de la masse de cacao

En fin, la masse de cacao conforme a les normes d’humidité et les normes de taux de matière grasse donc la masse de cacao des quatre lots acceptable a la fabrication de chocolat.

I.2.6. Lécithine de soja

Après avoir analysé le taux viscosité des quatre lots de lécithine de soja, nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau IX.

Tableau IX : Taux de viscosité des quatre lots de lécithine

	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Moyenne	Norme
Viscosité Pa.s	13	15	14	13	13,75	12-17

La viscosité dans différents lots de lécithine varie entre 13 et 15 Pa.s.

La valeur de viscosité le plus élevé est de 15 Pa.s, ce qui correspond au lot n° 2, tandis que les lots n° 1 et 4 présentent la valeur plus bas avec 13 Pa.s.

La moyenne de taux de la viscosité dans les quatre lots présente 13.75 %, ce qui conforme à la norme interne de l’entreprise qui entre 12 et 17 Pa.s maximum.

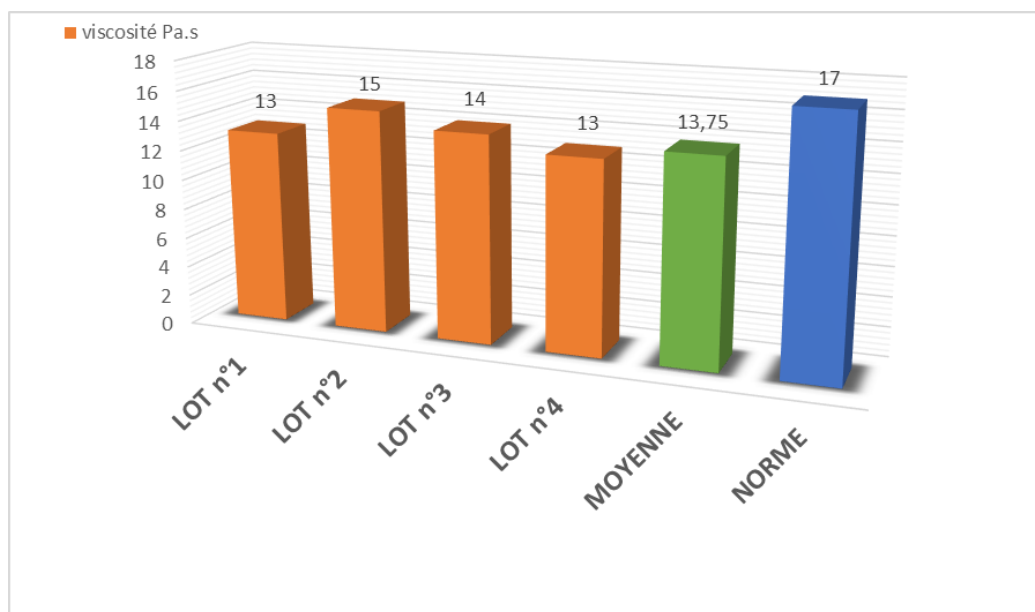


Figure 25 : Taux de la viscosité de quatre lots de lécithine

II.2 Produit semi fini

II.2.1 Chocolat noir

Après avoir fait des mesures sur L'humidité et la viscosité, puis mesure la finesse de quatre différents produits de chocolat noire, nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau

Tableau X : Qualité du chocolat noir selon l'analyse de quatre produits

	Produit 1	Produit 2	Produit 3	Produit 4	Moyenne	Norme
Humidité (%)	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	< 1
Viscosité (Pa.S)	11	11	13	13.5	12.12	10-15
Finesses (µm)	22	21	22.5	24	22.37	18-25

II.2.1.1 Analyse de l'humidité

La valeur d'humidité le plus remarquable est de produit n°3 en 0.9 %, produit n°1 et 4 possèdent le même pourcentage d'humidité avec 0.8 %, la valeur plus faible d'humidité est de produit n°2 avec valeur 0.7 %.

La moyenne des taux d'humidité dans les quatre produits différents à s'élève 0.80 %, ce qui est conforme à la norme interne de l'entreprise qui fixe à l'inférieure de 1 %

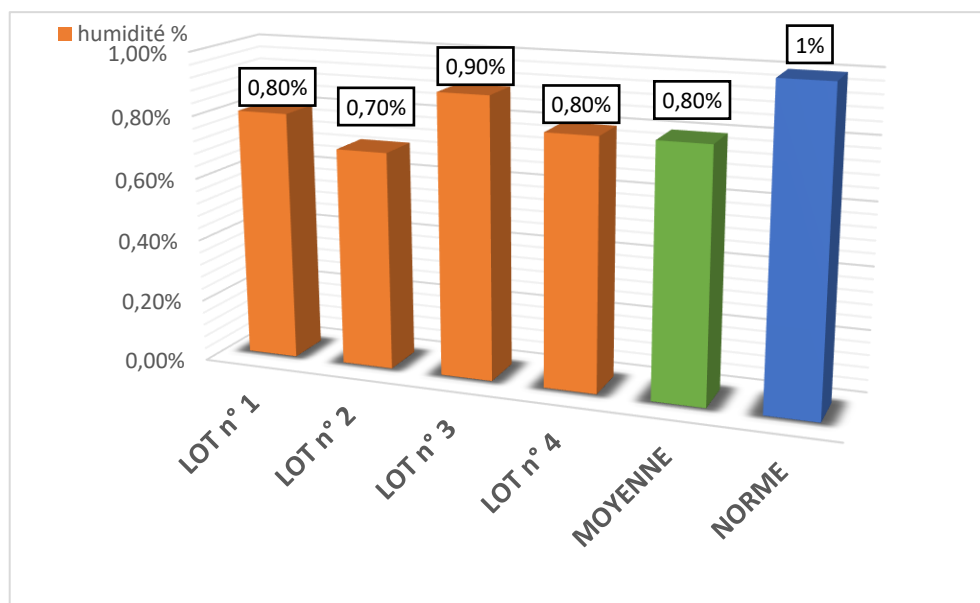


Figure 26 : Valeurs d'humidité de quatre produits de chocolat noire analysés

II.2.1.2 Analyse de la viscosité

Les valeurs de la viscosité de nos différents produits de chocolat noire sont entre 11 et 13.5 Pa. s.

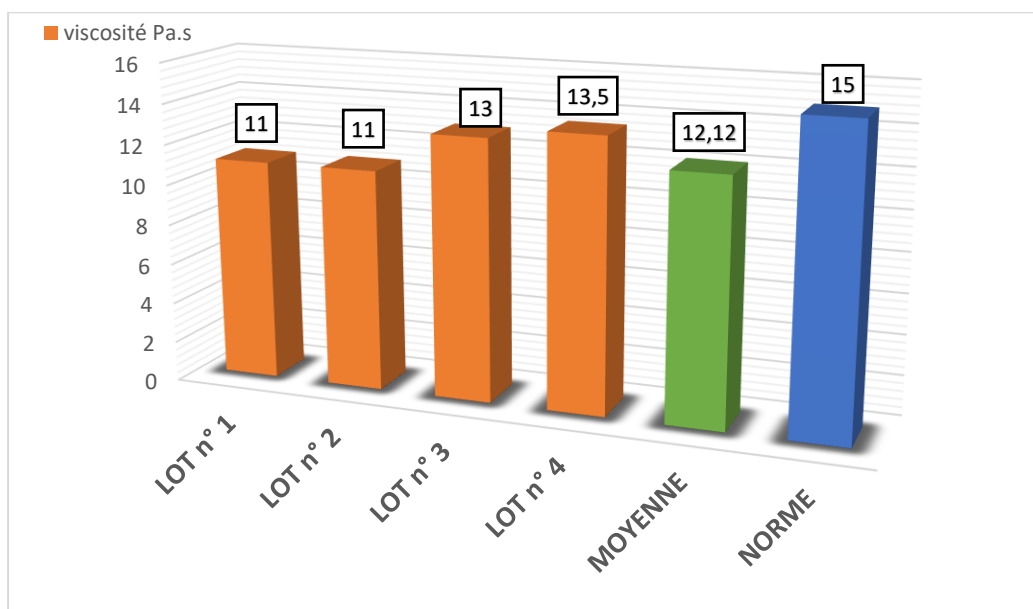


Figure 27 : Viscosité des quatre produits analysés du chocolat noir analysés

Le quatrième produit de chocolat noire la plus faible viscosité, mesurée à 13.5 Pa.s.

La viscosité moyenne de nos produits de chocolat blanc s'établit à 14 Pa.s. Cette valeur est conforme aux normes internes de l'entreprise, qui stipulent que la viscosité Chocolat au lait doit se situer dans l'intervalle de 10 à 15 Pa.s.

II.2.1.3. Analyse de la finesse

Les résultats de l'analyse de la finesse du chocolat blanc montrent des variations comprises entre 21 et 24 μm .

Les produits 1 et 3 présentent des valeurs de finesse très proches, respectivement de 22 et 22,5 μm . En revanche, le produit 4 présente la valeur de finesse la plus significative, à savoir 24 μm . Le produit 3 présente la valeur de finesse la plus faible, à savoir 21 μm

En général, la finesse moyenne de nos produits de chocolat blanc s'établit à 22,37 μm . Cette moyenne est conforme aux normes internes de l'entreprise, qui établissent une plage de finesse pour le chocolat blanc entre 18 et 25 μm .

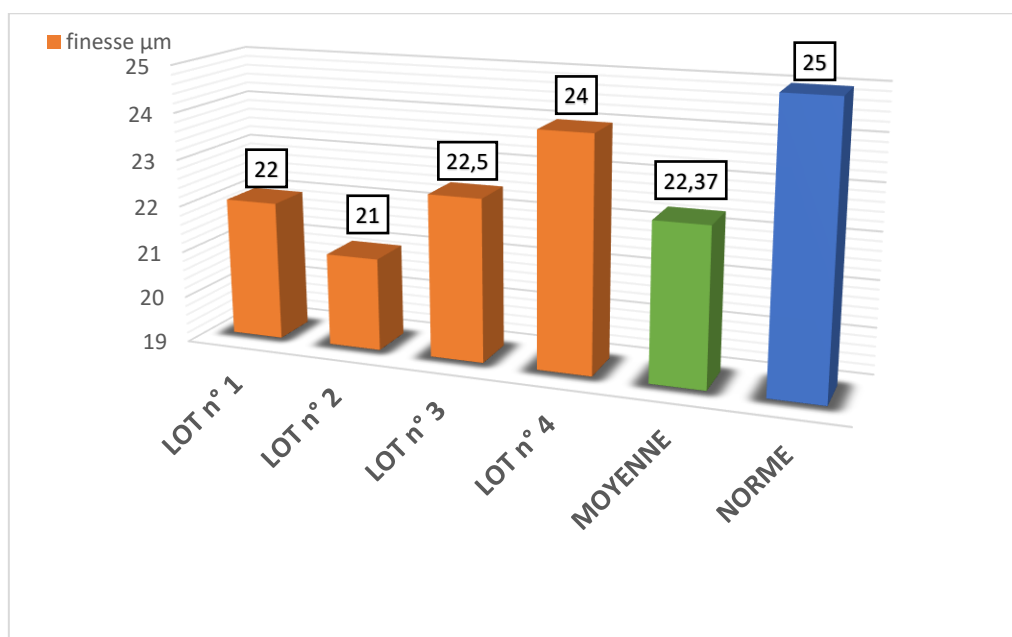


Figure 28 : Valeurs de la finesse des quatre produits de chocolat noire analysés

En résumé, nos chocolats blancs respectent les normes de l'entreprise, les rendant ainsi prêts pour la commercialisation.

II.2.2 Chocolat au lait

Les résultats de notre analyse concernant l'humidité, la viscosité et la finesse du chocolat au lait sont répertoriés dans le tableau XI.

Tableau XI : Qualité du chocolat au lait selon quatre produits analysés

	Produit 1	Produit 2	Produit 3	Produit 4	Moyenne	Norme
Humidité%	0.7	0.7	0.6	1.5	0.87	<1
Viscosité Pa.S	17	19	20	24	20	10-15
Finesses µm	20	21	20	23	21	18-25

II.2.2.1. Analyse de l'humidité

Les niveaux d'humidité des divers produits du chocolat au lait se situent dans une plage allant de 0,6 à 1,5 %.

Le taux d'humidité le plus faible est de 0.6 % revient au produit n° 3. Par la suite, les produits n° 1 et 2 ont le même taux d'humidité avec 0.7 %. En revanche, le produit numéro 4 se distingue avec le taux d'humidité le plus élevé, atteignant 1,5 %. Ce produit a été rejeté par l'industrie en raison d'une fuite d'eau survenue au niveau du conche de ce dernier.

Globalement, la valeur moyenne d'humidité de nos produits de chocolat au lait s'élève à 0.87 %. Cette moyenne est en adéquation avec les directives internes de notre entreprise, qui établissent une norme selon laquelle la teneur en humidité du chocolat au lait ne doit pas dépasser 1 %.

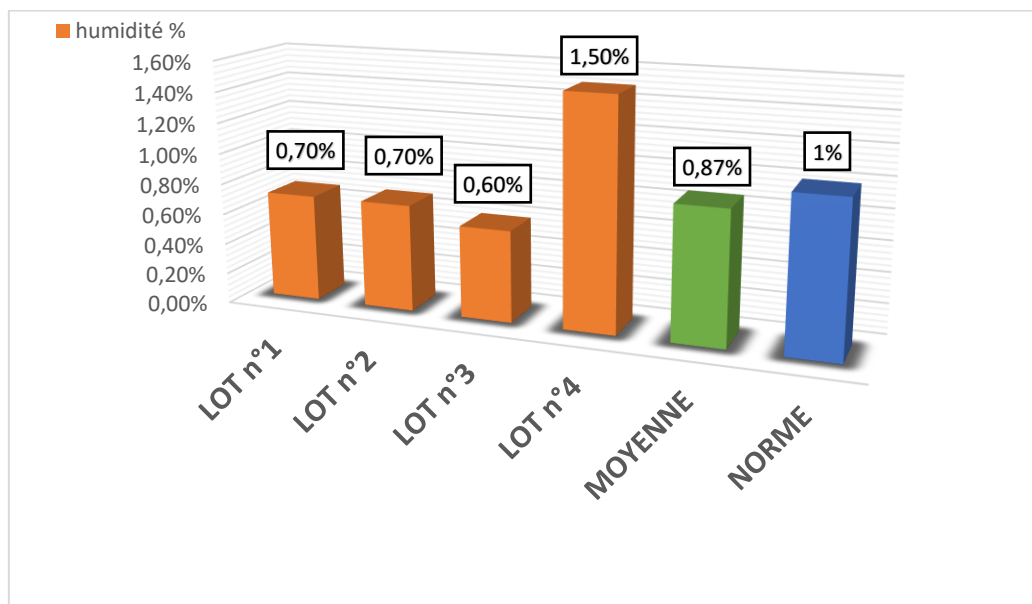


Figure 29 : Valeurs d'humidité de quatre produits de chocolat au lait analysés

II.2.2.2 Résultats de viscosité

Les teneurs en viscosité de nos quatre produits de chocolat au lait se situent entre 17 et 24 Pa.s.

Le produit de chocolat au lait n° 1 présente la viscosité la plus basse, mesurée à 17 Pa.s. Ensuite, les produits n° 2 et 3 présentent des valeurs de viscosité très similaires, respectivement 19 et 20 Pa.s. Enfin, la viscosité la plus élevée est présentée par le produit n° 4, atteignant 24 Pa.s.

D'une manière générale, la viscosité moyenne des quatre produits de chocolat au lait s'établit à 20 Pa.s. Cette moyenne est conforme avec les normes internes de l'entreprise, lesquelles établissent une plage de teneur en viscosité pour le chocolat au lait, située entre 15 et 25 Pa.S

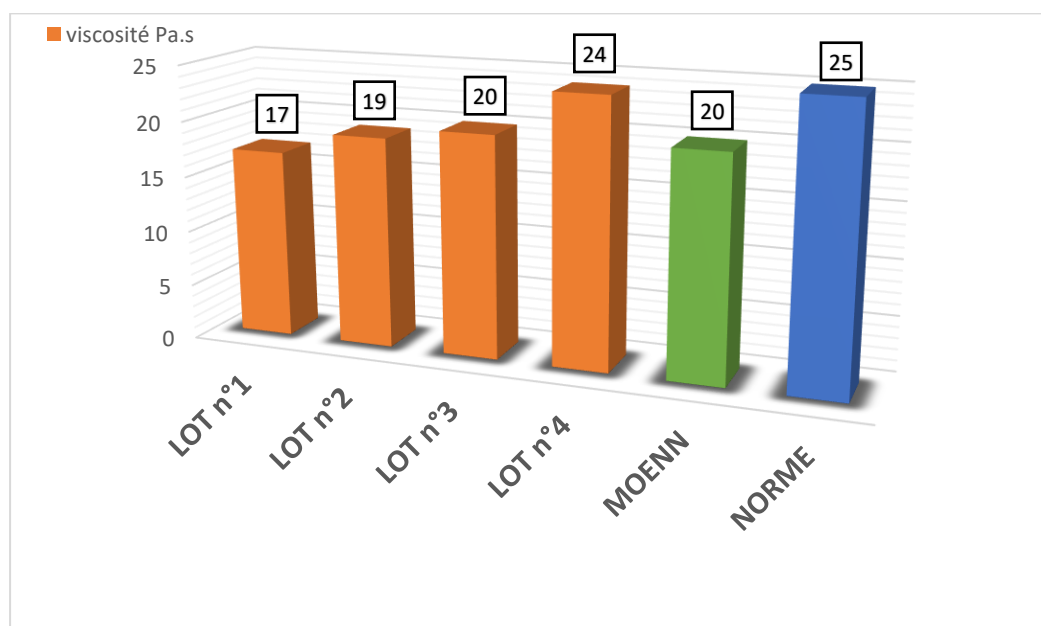


Figure 30 : Taux de la viscosité de quatre produits de chocolat au lait analysés

III.2.2.3. Analyse de la finesse

Les résultats de l'analyse de la finesse du chocolat au lait montrent des variations comprises entre 20 et 23 μm .

Les produits n° 1 et 3 possèdent la finesse la plus basse, établie à 20 μm . En revanche, le produit n° 2 présente une finesse légèrement plus élevée que les produits n° 1 et 3, à 21 μm . Enfin, le produit n° 4 se distingue avec la valeur de finesse la plus élevée, atteignant 23 μm .

En général, la finesse moyenne de nos produits de chocolat au lait s'établit à 21 μm . Cette moyenne est en conformité avec les normes de l'entreprise, lesquelles établissent une plage acceptable pour la finesse du chocolat au lait, située entre 18 et 25 μm .

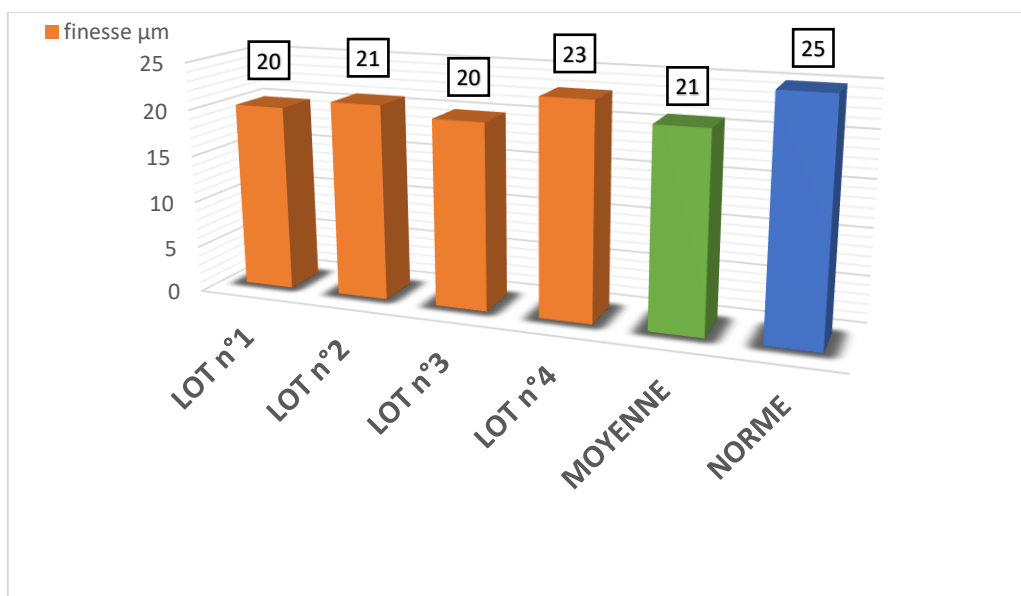


Figure 31 : Valeurs de la finesse des quatre produits de chocolat au lait analysés

En résumé, les caractéristiques de nos produits de chocolat blanc sont conformes aux normes de l'entreprise, ce qui les rend aptes à la mise sur le marché.

II.2.3 Chocolat blanc

Suite à notre analyse portant sur l'humidité, la viscosité et la finesse du chocolat blanc, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau XII.

Tableau XII : Qualité du chocolat blanc selon quatre produits analysés

	Produit 1	Produit 2	Produit 3	Produit 4	Moyenne	Norme
Humidité%	0.6	0.8	0.9	0.9	0.8	< 1
Viscosité Pa.S	14	14	15	13	14	10-15
Finesses μm	21	20	20.5	22	20.87	18-25

II.2.3.1 Résultats du taux d'humidité

Les taux d'humidité de nos différents produits de chocolat blanc se situent dans une plage comprise entre 0,6 % et 0,9 %.

Le produit n° 1 présente un faible taux d'humidité, soit 0,6 %. En comparaison, le produit n° 2 présente un taux plus élevé de 0,8 % par rapport au produit n° 1. Concernant les produits n° 3 et 4, ils possèdent tous les deux un taux d'humidité identique de 0,9%.

La moyenne des taux d'humidité des quatre produits s'élève à 0,8 %. Cette moyenne est en conformité avec la norme interne de l'entreprise, qui stipule que le taux d'humidité du chocolat au lait ne doit pas dépasser 0,9 %.

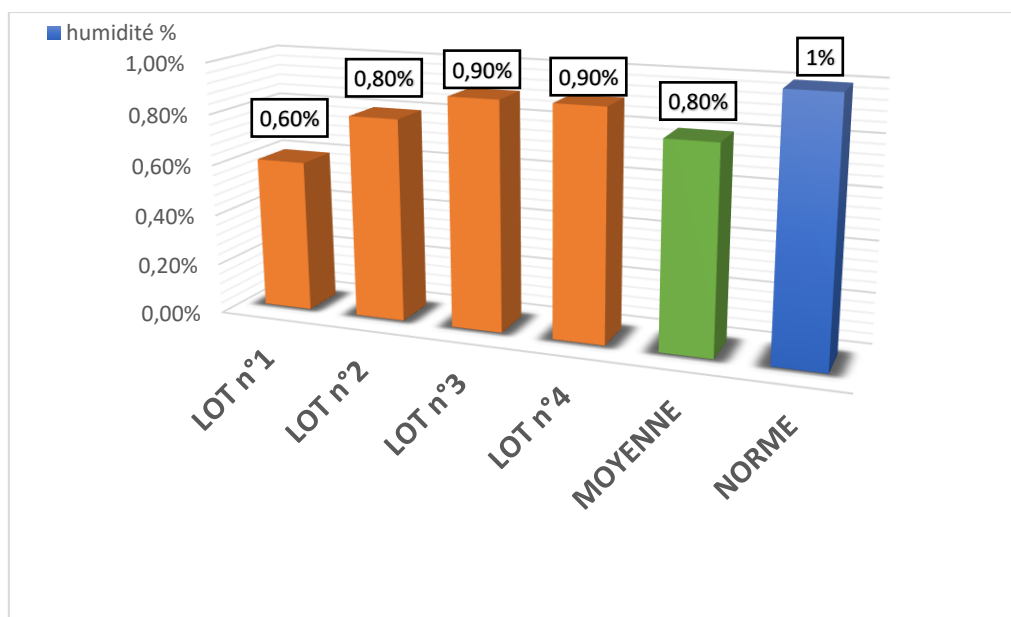


Figure 32 : Valeurs d'humidité de quatre produits de chocolat blanc analysés

II.2.3.2. Analyse de la viscosité

Les valeurs de la viscosité de nos différents produits de chocolat blanc sont entre 13 et 15 Pa. s.

Le quatrième produit de chocolat blanc la plus faible viscosité, mesurée à 13 Pa.s. Ensuite, les premier et deuxième produits présentent une viscosité identique de 14 Pa.s, tandis que, le troisième produit possède la viscosité la plus significative.

La viscosité moyenne de nos produits de chocolat blanc s'établit à 14 Pa.s. Cette valeur est conforme aux normes internes de l'entreprise, qui stipulent que la viscosité Chocolat au lait doit se situer dans l'intervalle de 10 à 15 Pa.s.

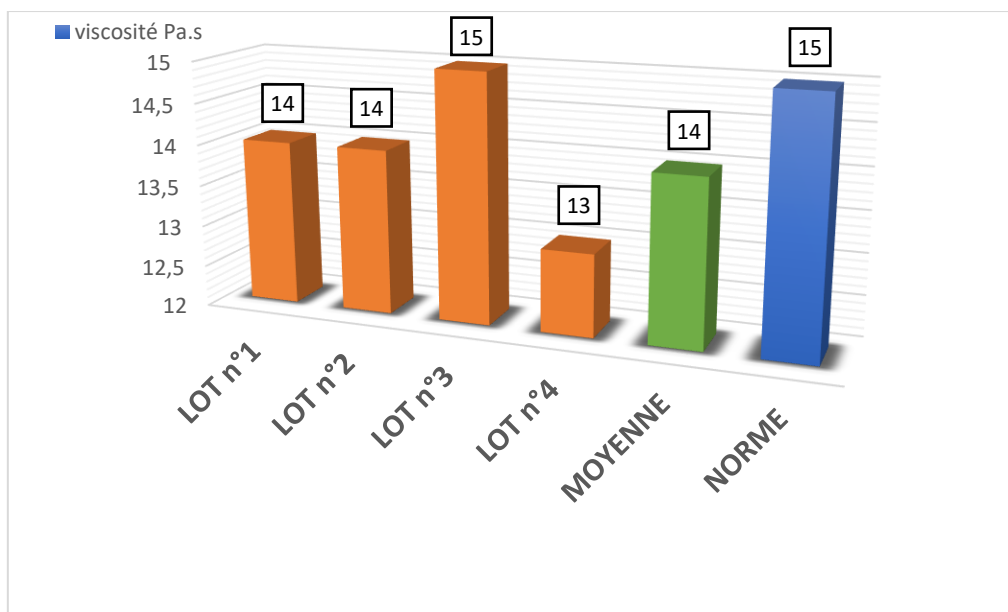


Figure 33 : Taux de la viscosité des quatre produits de chocolat blanc analysés

II.2.3.3. Résultats de la finesse

Les résultats de l'analyse de la finesse du chocolat blanc montrent des variations comprises entre 20 et 22 μm .

Les produits 2, 3 et 1 présentent des valeurs de finesse très proches, respectivement de 20, 20,5 et 21 μm . En revanche, le produit 4 présente la valeur de finesse la plus significative, à savoir 22 μm . En général, la finesse moyenne de nos produits de chocolat blanc s'établit à 20,87 μm . Cette moyenne est conforme aux normes internes de l'entreprise, qui établissent une plage de finesse pour le chocolat blanc entre 18 et 25 μm .

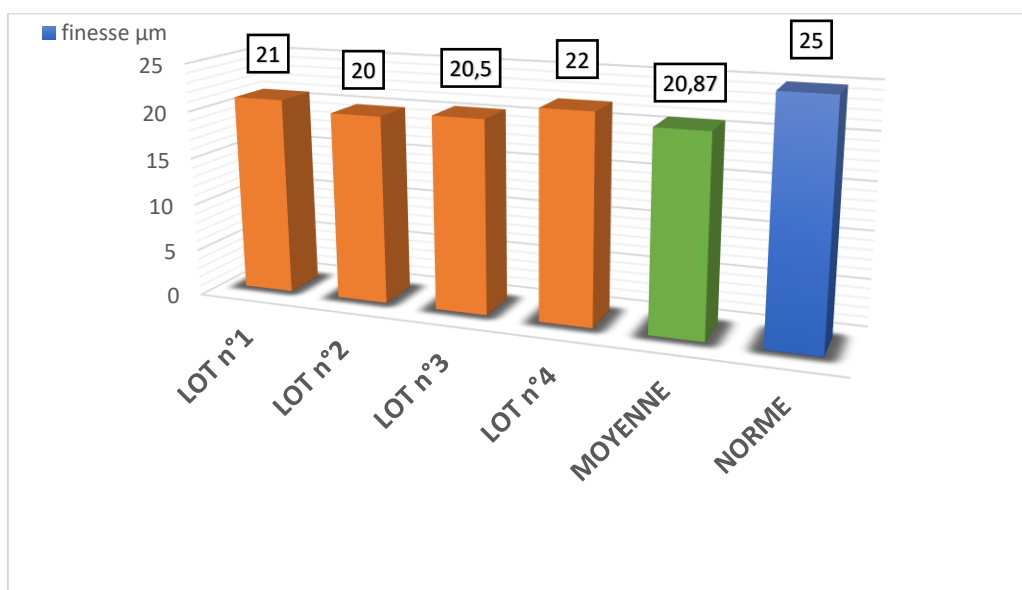


Figure 34 : Valeurs de la finesse des quatre produits de chocolat au lait analysés

En résumé, nos chocolats blancs respectent les normes de l'entreprise, les rendant ainsi prêts pour la commercialisation.

Conclusion

Conclusion

Notre étude, qui a été réalisée au sein de l'entreprise PALMARY située à Kharrouba, dans la wilaya de Boumerdes, porte sur la surveillance et l'inspection de toutes les étapes de fabrication du chocolat, tout en incluant des analyses physico-chimiques des matières premières liées au chocolat ainsi que du produit final.

Notre mémoire insiste également sur l'importance de garantir la traçabilité des matières premières et des produits finis, tout en respectant de manière stricte les normes de qualité et de sécurité alimentaire. L'industrie chocolatière est soumise à des réglementations rigoureuses en matière de qualité, et se conformer à ces normes est indispensable pour établir et maintenir la confiance des consommateurs.

Les analyses physico-chimiques des matières premières se sont principalement concentrées sur la mesure de l'humidité des produits tels que la poudre de lait, la poudre de cacao alcalinisé et l'humidité du sucre cristallisé. Par ailleurs, nous avons également effectué des mesures du pH pour le cacao alcalinisé.

En outre, nous avons réalisé des mesures de l'acidité et de la teneur en matière grasse de la poudre de lait. De plus, nous avons effectué des analyses de l'acidité, de l'indice d'iode, de l'indice de peroxyde et du point de fusion du beurre de cacao. En complément, nous avons mesuré la teneur en matière grasse dans la masse de cacao ainsi que son humidité.

En ce qui concerne les analyses physico-chimiques réalisées tout au long du processus de fabrication du chocolat, depuis les étapes initiales jusqu'à l'obtention du produit final, nous avons principalement effectué les mesures suivantes : l'évaluation de la finesse de la poudre de chocolat et de la pâte de chocolat, la mesure de la viscosité du chocolat, la détermination de son taux d'humidité, ainsi que la quantification de la cristallinité des lipides.

Ces analyses jouent un rôle crucial dans la garantie de la qualité du produit final, car elles permettent aux fabricants de maintenir un contrôle précis sur les conditions de production tout au long du processus.

Nous avons constaté que les résultats de ces analyses sont conformes aux normes internes de l'entreprise ainsi qu'aux normes du Journal Officiel Algérien. Par conséquent, les chocolats préparés par notre industrie sont prêts pour la commercialisation, à l'exception d'un seul produit de chocolat au lait,

Conclusion

Le produit numéro quatre. Ce produit ne respectait pas les normes d'humidité en raison d'une fuite d'eau domestique survenue au niveau du conche. Cette fuite était due à un trou dans la paroi intérieure de cette conche, ce qui a conduit au retrait immédiat du produit.

Pour conclure, la production de chocolat est un processus complexe qui harmonise à la fois la tradition et l'innovation. Les analyses physico-chimiques jouent un rôle essentiel dans la garantie de la qualité et de la sécurité des produits finis, tout en répondant aux attentes des consommateurs en termes de saveur et de durabilité. Ce secteur continue de progresser, offrant de nouvelles opportunités aux entreprises chocolatières qui aspirent à innover et à s'adapter aux évolutions des préférences des consommateurs.

Références bibliographiques

A

Ackar D., Lendić KV., Valek M., Šubarić D., Miličević B., Babić J. et Nedić I., 2013. Polyphénols du cacao : peut-on considérer le cacao et le chocolat comme des aliments fonctionnels potentiels ? J. CHEM. doi : 10.1155/2013/289392.

Afoakwa E.O., Paterson A. et Fowler M., 2007. Facteurs influençant les qualités rhéologiques et texturales du chocolat - Une revue. Tendances FOOD SCI. TECHNOL. 18 : 290–298. doi : 10.1016/j.tifs.2007.02.002

Afoakwa EO., Paterson A., Fowler M. et Ryan A., 2008. Formation de saveur et caractère du cacao et du chocolat : une revue critique. CRIT REV ALIMENTATION SCI NUTR. 48 : 840-857.

Afoakwa EO., Quao J., Takrama J., Budu AS., et Saalia FK., 2013. Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. J FOOD SCI TECHNOL. 50(6):1097-105. doi: 10.1007/s13197-011-0446-5.

Antonio V, 2003. Browning of white chocolate during storage. BEARDEN MM, MIQULE ME.

Arunkumar K, et Jegadeeswari V. 2019. Évaluation des fèves transformées de différentes accessions de cacao (*Theobroma cacao* L.) pour les paramètres de qualité. J. PHYTOL. 2019 : 11 : 1–4

Aprotosoiaie AC, Luca SV. et Miron A. 2015. Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products-An Overview. Compr. Rev Food Sci. SÉCURITÉ ALIMENTAIRE. 15 : 73–91. doi : 10.1111/1541-4337.12180.

B

Barel, M. 2013. Qualité du cacao. L'impact du traitement post- récolte. EDITION QUAE. Versailles, France.

Barišić V., Kopjar M., Jozinović A., Flanjak I., Ačkar Đ., Miličević B., Šubarić D., Jokić S. et Babić J., 2019 Aug. The Chemistry behind Chocolate Production. Molecules. :30 24(17) :3163. doi: 10.3390/molecules24173163. PMID : 31480281 ; PMCID : PMC6749277.

Beckett ST, Fowler MS. et Ziegler. 2017. GR Beckett's Industrial Chocolate Fabrication and Use. 5e éd. WileyBlackwell; West Sussex, ROYAUME-UNI.

Bois GAR. et Lass RA. 1985. *Cacao*. 4. Londres, Royaume-Uni : LONGMAN GROUP

C

Caligiani A, Marseglia A. et Palla G. 2016. Cacao : production, chimie et utilisation. Encycl. SANTE ALIMENTAIRE. :185–190. doi : 10.1016/B978-0-12-384947-2.00177-X.

Calvo AM, Botina BL, García MC, Cardona WA, Montenegro AC. et Criollo J. 2021. Dynamics of cocoa fermentation and its effect on quality. SCI REP.:11(1):16746. doi: 10.1038/s41598-021-95703-2.

Cambell W., Drake MA. et Larick DK. 2003. L'impact de l'enrichissement en acide linoléique conjugué (ALC) sur la qualité du lait liquide. J. DAIRY SCI. : 86 : 43–51. doi : 10.3168/jds.S0022-0302(03)73582-6.

Campbell L B. et Pavlasek S J. 1987. Dairy products as ingredients in chocolate and confections, Food Techonology.: 41, 78-85.

Campos CM .et Benedet THD. 1994. Aceitabilidade de bombons (sabor passas aorum)—recheio adicionado de proteínas de soja. Boletim da Sociedade Brasileira Ciência e Tecnologia de Alimentos. : 28 :113–117.

Carneiro, A. P. G., Fonteles, T. V., Costa, M. G. M., Rocha, E. M. F. F., & Rodrigues. et M. C. P. (2011). Texture parameters in milk chocolates bars. *FOOD AND NUTRITION*, 22(2), 259-264.

Cinquanta L, Di Cesare C, Manoni R, Piano A, Roberti P. et Salvatori G. 2016 Jun 26. Mineral essential elements for nutrition in different chocolate products. *Int J Food Sci Nutr*. 2016 Nov;67(7):773-8. doi: 10.1080/09637486.2016.1199664. EPUB. PMID: 27346251.

D

Dand R. 1997. *Le commerce international du cacao*. New York, États-Unis : JOHN WILEY & SONS, INC : . p. 102.

Damodaran S. 2017. *Chimie alimentaire de Parkin KL Fennema*. 5e éd. Groupe Taylor & Francis, LLC ; BOCA RATON, Floride, États-Unis.

Do Carmo Brito BN, Campos Chisté R., da Silva Pena R., Abreu Gloria MB. et Santos Lopes A. 2017. Les amines bioactives et les composés phénoliques dans les fèves de cacao sont affectés par la fermentation. *CHIMIE ALIMENTAIRE*. : 228 : 484–490. doi : 10.1016/j.foodchem.2017.02.004.

Drouven H, Fabry I. et Göpel G. 1996. *Technology for sweets*, DROUVEN & FABRY GMBH, 124 p.

E

Efraim P, Pezoa-García NH, Jardim DCP, Nishikawa A, Haddad R. et Eberlin MN. 2010. Influence de la fermentation et du séchage des fèves de cacao sur la teneur en polyphénols et l'acceptation sensorielle. *SCIENCES ET TECHNOLOGIES DANS L'ALIMENTATION*. : 30 (11) : 142-150.

F

Ferri C, Desideri G, Ferri L, Proietti I, Di Agostino S, Martella L, Mai F, Di Giosia P. et Grassi D. 2015. Cocoa, tension artérielle et santé cardiovasculaire. *J. Agric. Chimie alimentaire*. : 63 :9901–9909. doi : 10.1021/acs.jafc.5b01064.

G

Glicerina V, Balestra F, Dalla Rosa M. et Romani S. 2016. Caractéristiques microstructurales et rhéologiques du chocolat noir, au lait et blanc : une étude comparative. *J FOOD ENG*. : 169 :165–171. doi : 10.1016/j.jfoodeng.2015.08.011.

Girard S, 1994. Le guide du chocolat et de ses à côtés.

Gutiérrez TJ. 2017. Fabrication de chocolat à la pointe de la technologie: un examen. *Compr. REV FOOD SCI. Sécurité alimentaire*. : 16 :1313–1344. doi : 10.1111/1541-4337.12301

Goya L, Martín MA, Sarriá B, Ramos S, Mateos R. et Bravo L. 2016. Effet du cacao et de ses flavonoïdes sur les biomarqueurs de l'inflammation : études sur la culture cellulaire, les animaux et les humains. *Nutriments*. : 8 : 212. doi : 10.3390/nu8040212.

Guiltinan, MJ, Verica, J, Zhang, D. et Figueira, A. (2008) Génomique de *Theobromacacao* , "la nourriture des dieux" dans la génomique des plantes tropicales cultivées (Moore PH et Ming R., eds), p. 145–170. HEIDELBERG : Springer

Gardner R. Perspectives nutritionnelles. [(consulté le 20 janvier 2020)] ;Disponible en ligne : <https://www.nutritionaloutlook.com/herbs-botanicals/cacao-pulp-its-not-just-waste-product-cocoa-anymore> (consulté juillet 2023).

H

Halib H, Ismail A, MohdYusof BN, Osakabe N. et Mat Daud ZA. 2020 Nov30. Effects of Cocoa Polyphenols and Dark Chocolate on Obese Adults: A Scoping Review. *Nutrients*.:12(12):3695. doi: 10.3390/nu12123695. PMID: 33266002; PMCID: PMC7760201.

Hii C. L, Law, C. L, Cloke, M. et Suzannah S. 2009. Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, pp: 153-161.

Heemskerk R.1986. Chocolate compound and coating engineering confectionaryproduction. : 1-6.

Hurst WJ, Tarka SM, Dobson G. et Reid C. 2001. M Détermination des concentrations d'acide linoléique conjugué (CLA) sur le chocolat au lait. *J. AGRIC. Chimie alimentaire.* : 49 :1264–1265. doi : 10.1021/jf000789x.

J

Jahurul, M.H.A., Zaidul, I.S.M, Sahena, F, Sharifudin, M.S, Norulaini, N.N, Md. Eaqub Ali, Hasmadi, M, Ghafoor, K, Wahidu; et and Omar. 2016. Physicochemical properties of cocoa butter replacers from supercritical carbon dioxide extracted mango seed fat and palm oil mid-fraction blends, pp: 143 – 149.

Jackson K.1994. Receptions. In: *Industrial Chocolate Manufacture and use* (ed. S.T. Beckett), CHAPMAN AND HALL, London. :258-280.

K

Komes D, Belščak-Cvitanović A, Škrabal S, Vojvodić A. et Bušić A. 2013. L'influence de l'enrichissement des fruits secs sur les propriétés sensorielles des chocolats amers et au lait et le contenu bioactif de leurs extraits affectés par différents solvants. *LWT.* : 53 :360–369. doi : 10.1016/j.lwt.2013.02.016.

Korkubilmez M. 2005. Farklı OrijinliKakao Çekirdeklerinden EldeE dilen Kakaol ikörlerinin Çikolatanın LezzetineOlanEtkisi .Yükse kLisan sTezi, OsmangaziÜniversitesi Fen BilimleriEnstitüsü , Eskişehir.

L

Lamport DJ, Christodoulou E. et Achilleos C. 2020 Feb 14. Beneficial Effects of Dark Chocolate for Episodic Memory in Healthy Young Adults: A Parallel-Groups Acute Intervention with a White Chocolate Control. *Nutrients.* :12(2):483. doi: 10.3390/nu12020483. PMID: 32075015; PMCID: PMC7071338.

Larsson SC, Akesson A, Gigante B. et Wolk A. 2016. Consommation de chocolat et risque d'infarctus du myocarde : étude prospective et méta-analyse. *CŒUR.* : 102 :1017–1022. doi : 10.1136/heartjnl-2015-309203.

Ley D.1994). Conching. In: *Industrial Chocolate Manufacture and Use* (ed. S.T. Beckett) 2nd edn., CHAPMAN AND HALL, London. : 117-138.

Liu J, Liu M, He C, Song H, Guo J, Wang Y, Yang H. et Su X. 2014. A comparative study of aroma-active compounds between dark and milk chocolate: Relationship to sensory perception. *J. SCI. FOOD AGRIC.*:95:1362–1372. doi: 10.1002/jsfa.6831.

M

Magagna F, Guglielmetti A, Liberto E, Reichenbach SE, Allegrucci E, Gobino G., Bicchi C. et Cordero C. 2017. Empreinte chimique complète du cacao de haute qualité aux premiers stades de la transformation : efficacité des combinaisons non ciblées et

ciblées approches de classification et de discrimination. J. AGRIC. Chimie alimentaire. : 65 (30):6329–6341.

Maitland C E C. 1973. Silesia confiserie annual 2 (3), SILESIA/GERHARD HARKE KG, NEUS, Germany; : 832 p.

McFadden C .et France C. 1999. Le grand livre du chocolat, pp : 253.

Muijnck L. 1997. Lecithin in Chocolate and Coating AOCS Conference, Seattle, May.
Özel Ö (2002) İstanbul İlinde Çikolata Sektöründe Tüketici Eğilimlerine Markalar Arası Rekabet Gücü. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Mrmošanin JM, Pavlović AN, Krstić JN, Mitić SS, Tošić SB, Stojković MB, Micić RJ .et Đorđević. 2018. MS Quantification multiélémentaire dans le chocolat noir par ICP OES. J. COMPOSITIONS ALIMENTAIRES. ANAL. : 67 : 163–171. doi : 10.1016/j.jfca.2018.01.008

Meng CC, Jalil AM. et Ismail A. 2009. Teneur en phénols et en théobromine des chocolats noirs, au lait et blancs commerciaux sur le marché malaisien. Molécules. : 14 : 200–209. doi : 10.3390/molecules14010200.

Montagna MT, Diella G, Triggiano F, Caponio GR, De Giglio O, Caggiano G, Di Ciaula A. et Portincasa P. 2019 Dec 6. Chocolate, "Food of the Gods": History, Science, and Human Health. INT J ENVIRON RES PUBLIC HEALTH. : 16(24):4960. doi: 10.3390/ijerph16244960. PMID: 31817669; PMCID: PMC6950163.

P

Petyaev IM. et Bashmakov YK. 2017. Chocolat noir: opportunité d'une alliance entre la science médicale et l'industrie alimentaire ? Devant. Nutr. : 43. doi : 10.3389/fnut.2017.00043

Pipitone, L. 2016. Aperçu de l'offre et de la demande de cacao Dans : ICCO Cocoa Market Outlook Conference September. Londres : Organisation internationale du cacao (ICCO) https://www.icco.org/about-us/international-cocoa-agreements/cat_view/294-cocoa-market-outlook-conference-september-2016.html .

R

Rusconi M, Conti A. et *Theobroma cacao* L. 2010. la Nourriture des Dieux : Une approche scientifique au-delà des mythes et des affirmations. PHARMACOL. RES. : 61 : 5–13. doi : 10.1016/j.phrs.2009.08.008.

Redgwell RJ. 2000. Hansen CE Isolement et caractérisation des polysaccharides de la paroi cellulaire des fèves de cacao (*Theobroma cacao* L.). Plante. : 210 : 823–830. doi : 10.1007/s004250050685.

Roebbers T.1981. 2010. Cocoa Products and Cba's, the Manufacturing Confectioners, October,47-50. Saftlas A F, Triche E W, Beydoun H, Bracken M B . Does Chocolate Intake During Pregnancy Reduce the Risks of Preeclampsia and Gestational Hypertension? *Annal Epidemiology.* : 20,584-591.

S

Saputro AD, Van de Walle D, Caiquo BA, Hinneh M, Kluczykoff M.et Dewettinck K. 2019. Comportement rhéologique et propriétés microstructurales du chocolat noir produit par la combinaison d'un broyeur à boulets et d'un dispositif de liquéfaction comme système de production de chocolat à petite échelle. *LWT.* : 100 : 10–19. doi : 10.1016/j.lwt.2018.10.039.

Schaffer R.2002. Significance of an Ideal Pre-crystallisation in ComparisionWith Final Crystallisation ZDS Conference, Sollich KG Bad Salzufflen.

Scholey A.et Owen L. 2013. Effets du chocolat sur la fonction cognitive et l'humeur : Une revue systématique. *NUTR. REV.* : 71 :665–681. doi : 10.1111/nure.12065.

Sirbu D, Grimbs A, Corno M, Ullrich MS.et Kuhnert N. 2018. Variation des profils de triacylglycérols dans les fèves de cacao fermentées non fermentées et séchées de différentes origines. *RES ALIMENTAIRE. INT.* : 111 :361–370. doi : 10.1016/j.foodres.2018.05.025.

StipanukMH. 2019. Caudill MA Aspects biochimiques, physiologiques et moléculaires de la nutrition humaine. Elsevier : Milton, Ontario, Canada.

T

Todorovic V, Redovnikovic I.R, Todorovic Z, Jankovic G, Dodevska M.et Sobajic S. 2015. Polyphenols, methylxanthines, and antioxidant capacity of chocolates produced in Serbia. *J. FOOD COMPOST. ANAL.*:41:137–143. doi: 10.1016/j.jfca.2015.01.018.

V

Verna R. 2013. L'histoire et la science du chocolat. *Malais. J. Pathol.* : 35 :111–121

Voigt J, Janek K, Textoris-Taube K, Niewienda A.et Wöstemeyer J. 2016. Purification partielle et caractérisation des précurseurs peptidiques des composants aromatiques spécifiques au cacao. *Chimie alimentaire.* : 192 :706–713. doi : 10.1016/j.foodchem.2015.07.068.

W

Wickramasuriya AM.et Dunwell JM. 2018 Jan. Cacao biotechnology: current status and future prospects. *Plant Biotechnol J.*:16(1):4-17. doi: 10.1111/pbi.12848. EPUB. PMID: 28985014; PMCID: PMC5785363.

Wohlmuth EG. Recettes. Dans : Beckett ST, éditeur. Fabrication et utilisation de chocolat industriel. 4e éd. ÉditionBlackwell ; CHICHESTER, ROYAUME-UN.

Y

Yadav, J. P. Pandey and S. K. Garg. 2011. Biochemical changes during storage of chocolate, pp: 242-247.

Z

Zhao H, Jeune AK.et James BJ. 2018. Effets de la transformation polymorphe des graisses et de la distribution granulométrique des particules non grasses sur les changements de surface du chocolat modèle non tempéré, à base de masse de cacao solide. J FOOD SCI. : 83 :998–1004. doi : 10.1111/1750-3841.14108.

Site web

IOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 55. Arrêté interministériel du 19 Safar 1443 correspondant au 26 septembre 2021 portant adoption du règlement technique fixant les spécifications des produits de cacao et de chocolat destinés à la consommation humaine.

European Cocoa Assosiation (eca). Cocoa Story: The production process – from cocoa beans to semi finished products. <https://www-eurococoa-com>, (consulté juillet 2023).

Hengel. 2017. La conservation du chocolat. <https://www.hengel.com> (consulté juillet 2023).

Organisation internationale du cacao (OCI). Consommation de confiseries chocolatées au détail dans le monde 2012/13-2018/19.Hambourg, Allemagne : StatistaResearchDepartment ; 2015. (Consulté le 21 avril 2020 <https://www.statista.com/statistics/238849/global-chocolate-consumption/> (consulté 27/0723).

Istituto Nazionale di Ricerca per gliAlimenti e la Nutrizione (INRAN) [(consulté juillet 2023)] ;Disponible en ligne : http://www.clitt.it/contents/scienze-files/6160_rodato_quaderno-files/6160_TabelleComposAlim.pdf

<https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/chocolat> (consulté juillet 2023).

Statista Research Departement. 2020. <https://fr.statista.com/statistiques> (consulté juillet 2023).

Agence Ecofin. 2019. <https://www.agenceecofin.com/cacao> (consulté juillet 2023).

World CocoaFoundation (2012) Mise à jour du marché du cacao
[.http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/Cocoa-Market-Update-as-of-3.20.2012.pdf](http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/Cocoa-Market-Update-as-of-3.20.2012.pdf) .

World CocoaFoundation (2014) Mise à jour du marché du cacao
[.http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/Cocoa-Market-Update-as-of-4-1-2014.pdf](http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/Cocoa-Market-Update-as-of-4-1-2014.pdf) .

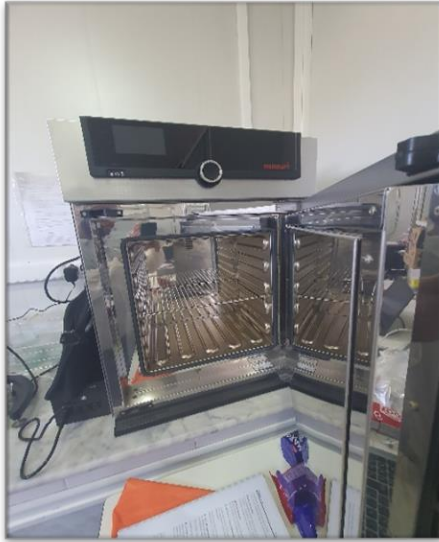
Annexe I

Matériels utilisés dans les analyses physico-chimiques

- Capsule.
- Un plateau porte échantillon.
- Une pince.
- Becher 250 ml.
- Entonnoir.
- Erlenmeyer.
- Papier filtre.
- Nacelles en verre.
- Fioles coniques.
- Fiole jaugée.
- Pipette, de 25 ml de capacité.
- Surette, 25 ml et 50 ml de capacité, graduée en divisions de 0, 1 ml.
- Tubes capillaires.
- Bain de refroidissement.
- Eprouvettes graduées, de 50 ml de capacité.
- Fioles coniques.
- Spatule.
- Eau distillée.
- Erlenmeyer.
- Burette.
- Bicher.
- Une petite assiette.
- Un chiffon.

Annexe II

Appareillages utilisés dans les analyses physico-chimiques



Etuve



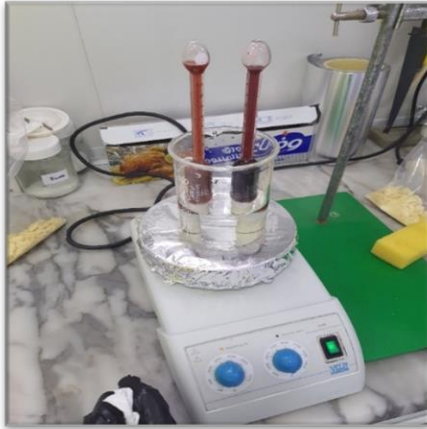
Dessicateur



Dessicateur automatique



ph mètre



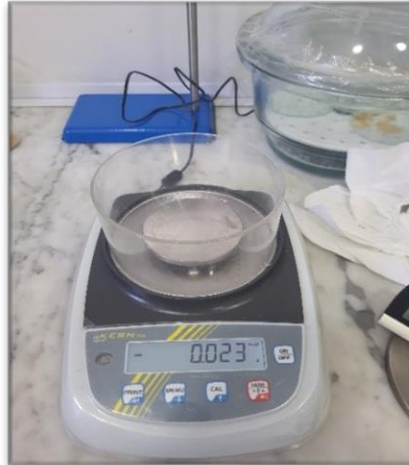
Agitateur magnétique chauffa



centrifugeuse



Bain marie et thermomètre



Balance analytique



Viscosimètre



micromètre

ANNEXE III

Réactifs utilisés dans les analyses physico chimique

- Acide sulfurique (H₂SO₄)
- Alcool Amylique
- Acide acétique.
- Empois d'amidon.
- Iodure de potassium.
- Solution de Wijs (Monochlorure d'iode).
- Tétrachlorure de carbone.
- Thiosulfate de sodium 0.1 N.
- Hydroxyde de sodium
- Solution de phénolphtaléine
- Chloroforme
- Acide acétique cristallisable
- Oxyde d'éthylque éthanol à 95% mélange (v/v).
- Hydroxyde de potassium, solution éthanolique 0.1N

Annexe IV

Les appareils utiliser dans la fabrication de chocolat



Conche



tank de stockage



Raffineuse à cinq rouleaux



raffineuse a deux rouleaux



Moulage de chocolat



emballage



Fondoir



Ligne de refroidissement

Résumé

Le chocolat est un produit largement consommé par toutes les générations, et les industries chocolatières sont en développement successive. Une concurrence entre les producteurs du chocolat a été apparait pour l'amélioration de la qualité de ce dernier pour conquérir les marchés notionnelles et intentionnelles. L'amélioration de la qualité du chocolat demande le bon processus de fabrication et la bonne évaluation des caractéristiques physico chimique.

Dans ce but nous avons réalisé des analyses physico chimiques des matières premières du chocolat ainsi que les produits finis.

Notre évaluation repose sur une confrontation de ces caractéristiques avec les normes du JORA, ISO et les normes internes de l'entreprise.

Nous avons constaté que les matières premières ainsi que les produits finis de l'unité PALMARY respectent les normes de qualité, avec des caractéristiques physico-chimiques acceptables.

Mots -clés

Chocolat, cacao, processus de fabrication du chocolat, matières premières, qualité du chocolat, analyses physico chimiques.

Summary

Chocolate is a product widely consumed by all generations, and the chocolate industry has been developing successively. Competition between chocolate producers has arisen to improve the quality of chocolate in order to conquer notional and intentional markets. Improving chocolate quality requires the right manufacturing process and the right assessment of its physical and chemical characteristics.

To this end, we have carried out physico-chemical analyses of chocolate raw materials and finished products.

Our assessment is based on a comparison of these characteristics with JORA, ISO and internal company standards.

We found that the raw materials and finished products of the PALMARY

PALMARY meet quality standards, with acceptable physico-chemical characteristics.

Keywords

Chocolate, cocoa, chocolate manufacturing process, raw materials, chocolate quality, physicochemical analysis.