

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département des sciences agronomiques

# MEMOIRE

*En vue de l'obtention d'un diplôme du Master académique en :*  
Sciences Alimentaires  
*Option : Sécurité Agro-alimentaire et Assurance Qualité*

## Thème

Evaluation des caractéristiques physico-chimiques  
et nutritionnelles de quelques marques de chocolats,  
chocolats d'imitation et pâtes à tartiner  
commercialisées en Algérie

**Réalisé et présenté par :**

- OUADFEL Sabrina
- DAHOUMANE Sonia

<b>Président :</b>	Mr AMIR. Y	Professeur (UMMTO)
<b>Encadreur :</b>	Mme BENTAYEB. S	Maître assistante A (UMMTO)
<b>Co-encadreur :</b>	Mme CHAOUCHI. D	Doctorante (UMMTO)
<b>Examineur 1 :</b>	Mr BENGANA. M	Maître de conférence B (UMMTO)
<b>Examineur 2 :</b>	Mme LAMMI. S	Maître assistante A (UMMTO)

Promotion 2017/2018



# Remerciements

*Nous Tenons à Remercier tout d'abord ALLAH, le Digne de Louange, le Très Miséricordieux, qui nous a permis d'accomplir ce travail.*

En second lieu, nous tenons à remercier profondément notre promotrice Mme BENTAYEB. S pour son Encadrement Exceptionnel, ses Conseils avisés, sa très Précieuse aide, sa Disponibilité, sa Patience et son Accompagnement tout au long de la réalisation de ce travail. Quelle Trouve ici L'expression de Notre Profond Respect et Notre Sincère Reconnaissance.

Nos remerciements vont également à notre Co-promotrice Mme CHAOUCHI.D pour ses conseils, son aide et ses suggestions pertinentes.

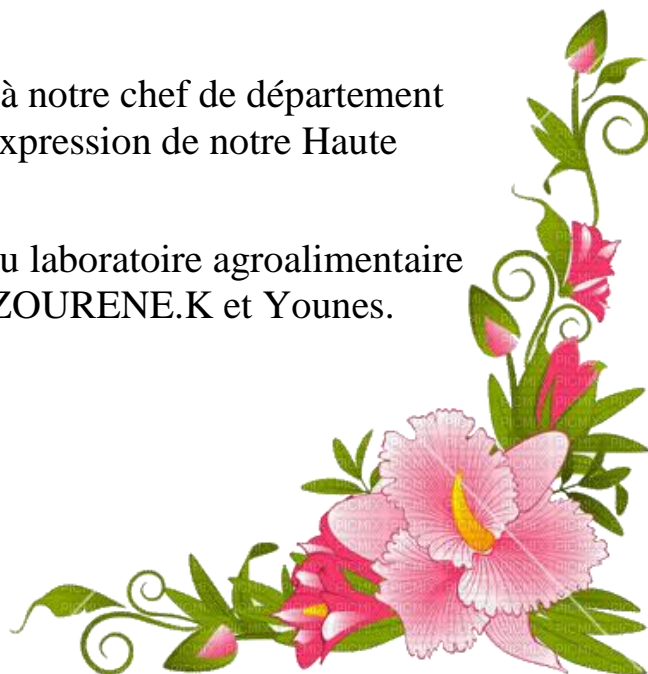
Nos Vifs Remerciements Vont également aux Membres du Jury : Mr. AMIR .Y à Mr. BENGANAM et à Mme LAMMI. S d'avoir Consentis a Examiner notre Travail et de L'enrichir par leurs Propositions. Veuillez accepter L'expression de notre profonde gratitude.

Nos Remerciements les plus Chaleureux vont à Mme REMANE pour avoir été là pour nous. Merci de nous avoir Pris sous votre Aile. Merci pour votre Soutien, votre Encouragement et votre Gentillesse. Merci Pour Tout.

Nous adressons Nos plus Sincères Remerciements à tous les Enseignants du département d'Agronomie et Biologie notamment ceux de Sciences Alimentaires qui, par leurs enseignements et par leurs conseils ont considérablement contribué à notre formation durant tout notre cursus universitaire.

Nos remerciements les plus distingués vont à notre chef de département Mr. MOUHOUS. Veuillez trouver ici l'expression de notre Haute Considération.

Nous tenons à remercier aussi toute l'équipe du laboratoire agroalimentaire pour leurs aide, en particulier Mme IAZZOURENE.K et Younes.



# Dédicace

*Je dédis se modeste travail :*

*A mes parents; qui m'ont soutenue et aidé tout au long de mon parcours:*

*-Ma mère, qui est à l'origine de ma réussite, de part son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils.*

*-Mon père, qui m'a toujours soutenue et encouragé.*

*Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils nous comblent.*

*Mes frères Nassim et Lyes.*

*Mes chères sœurs et cousines Basma, Yousra, Zahra, Souad, Malika, Sarah qui ont été toujours là pour moi, pour me soutenir et m'encourager, je vous aime.*

*Mes amours mes chères nièces et neveux du plus grand Ritadj, Allicia, Manissa, Chaneise, Mayas, Hmidouche, Said.*

*Mes oncles Abdelkader, Ahmed, Abdenneur*

*Je dédie ce travail a une personne très chère, qui sans son aide, son soutien ainsi que sa motivation et son encouragement ce travail n'aurait pas était fait, je te remercie infiniment.*

*Amon très chère binôme, Sonia et sa familles*

*Mes chers amies et sœurs Kamélia, sabrina, naima, Dihia, Messad, Safia, Fettouma, Lylia, Sousou, Nadin merci pour tout les bon moments qu'on a passé ensemble.*

*Toute la promo Sécurité agroalimentaire et assurance qualité merci pour tous les bons moments passés ensemble sans oublié Chelbi, Messaad, Idir, Massine, Karim...etc la liste est grande mais sachez que je vous ai pas oublier*

*اللهم لك الحمد كما ينبغي  
لجلالك وجهتك وعظيم سلطانك*

*Sabrina*

# Dédicace

*Je dédis ce Travail :*

*A Mes Chers Parents qui m'ont soutenue et aidé tout au long de mes études.*

*A mes chères sœurs : « Hanane », « Katia » et « Sophia ».*

*A mes Beaux Frères et leurs familles, à « Na Nouara » et « Maman Eugénie ».*

*A mes très chères nièces, Mes petites Poupées : « Océane » et « Kelly ».*

*A la mémoire de mes grands parents maternels et paternels.*

*A mes chers parrains : Tonton Hocine et Tata Malika qui ont toujours été Là pour moi.*

*A ma très chère deuxième Maman « Zahra ».*

*A tous mes cousins et cousines, Spécialement « Mehdi » et « Yazid », « Dalal », « Zohra », « Manel », « Karima », « Marro ».*

*A Tous Mes Oncles et Tantes.*

*A mes chères amies, Les Hninis « Zahira », « Mira » et « Hayet ». Au A<sub>39-43</sub> et E<sub>86</sub>. Merci pour tous ces moments inoubliables.*

*A Kahina et Messad, Merci pour votre soutien et vos encouragements.*

*A Thiba3ouchines (Mima, Nacrine et Doudou)*

*A ma chère Binôme Sabrina et sa famille. Merci d'avoir travaillé avec moi et de m'avoir aidé et supporté, Baraka LLAHOU Fik,  
Merci beaucoup « Pitchou ».*

*Un grand Merci A Naima, Dihia et Lilia pour leurs aides et conseils.*

*Enfin et Surtout, comme a dit le prophète David Paix et Salut sur lui :*

اللهم لك الحمد كما ينبغي  
لجلال وجهك وعظيم سلطانك

**Sonia**

**AET** : Apport énergétique total.

**AG** : Acide gras.

**AI** : Indice athérogène.

**ANC** : Apport nutritionnel conseillé.

**APAC** : Région Asie-Pacifique.

**CBA** : Alternatifs de beurre de cacao.

**CBE** : Equivalent de beurre de cacao.

**CBS** : Substitut de beurre de cacao.

**CG** : Chocolat de glaçage.

**CPG** : Chromatographie en phase gazeuse.

**CT** : Chocolat en tablette.

**EMEA** : Région Europe, Moyen Orient et Afrique.

**FFC** : Cacao fin.

**ICCO** : Organisation internationale de cacao.

**ISO** : Organisation Internationale de Standardisation.

**Kcal** : Kilo calories.

**MAO** : Monoamineoxydase.

**méq d'O<sub>2</sub>/kg** : milliéquivalent d'oxygène/ kg d'huile.

**MG** : Matière grasse.

**MGV** : Matière grasse végétale.

**NC** : Non conseiller.

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé.

**PEA** : Phényléthylamine.

**PT** : Pâte à tartiner.

**SOS** : Saturé oléique saturé.

**TI** : Indice thrombogène.

**UE** : Union Européenne.

<b>Tableau I</b> : La composition de chocolat autorisée dans l'Union européenne .....	10
<b>Tableau II</b> : Recettes typiques de chocolats d'imitation utilisant des graisses CBS lauriques...	13
<b>Tableau III</b> : Composition en lipides des différents chocolats .....	36
<b>Tableau IV</b> : Composition en macroéléments des différents chocolats .....	37
<b>Tableau V</b> : Composition en oligoéléments des différents chocolats .....	38
<b>Tableau VI</b> : Composition en vitamines des différents chocolats .....	39
<b>Tableau VII</b> : Les quantités de méthylxanthines contenues dans 100 g de chocolat noir .....	40
<b>Tableau VIII</b> : Description des échantillons de chocolats .....	48
<b>Tableau IX</b> : Conditions opératoires appliquées pour l'analyse des esters méthyliques.....	53
<b>Tableau X</b> : Constantes des acides gras insaturés pour le calcul de l' $I_i$ .....	56
<b>Tableau XI</b> : Composition en acides gras des chocolats et pâtes à tartiner et les rapports entre les groupes d'acides gras .....	64

<b>Figure 1 :</b> Fruit du cacaoyer ou cabosse .....	4
<b>Figure 2 :</b> Graines de cacao .....	5
<b>Figure 3 :</b> Les principaux pays producteurs de fèves de cacao dans le monde .....	7
<b>Figure 4 :</b> La consommation de chocolat dans le monde en 2017 .....	8
<b>Figure 5 :</b> Les équivalents de beurre de cacao et les substituts de beurre de cacao dans le chocolat et le chocolat d'imitation .....	11
<b>Figure 6 :</b> Ecabossage du cacao .....	16
<b>Figure 7 :</b> Fermentation en tas des fèves de cacao .....	17
<b>Figure 8 :</b> Aération par brassage des fèves en pleine fermentation .....	18
<b>Figure 9 :</b> Séchage naturel des fèves de cacao .....	20
<b>Figure 10 :</b> Le beurre de cacao .....	26
<b>Figure 11 :</b> Le conchage du chocolat .....	28
<b>Figure 12 :</b> Les courbes de tempérage des chocolats noir, au lait et blanc .....	31
<b>Figure 13 :</b> Moulage du chocolat .....	31
<b>Figure 14 :</b> Processus de transformation des fèves de cacao en chocolat .....	33
<b>Figure 15 :</b> photo originale d'étuve .....	50
<b>Figure 16 :</b> Four à moufle .....	51
<b>Figure 17 :</b> Photo originale de l'évaporateur rotatif .....	52
<b>Figure 18 :</b> Illustration des étapes de dosage des sucres .....	57
<b>Figure 19 :</b> Teneur moyenne en eau et en matières volatiles des échantillons du chocolat....	59
<b>Figure 20 :</b> Le taux moyen en cendres des échantillons du chocolat analysées .....	60
<b>Figure 21 :</b> La teneur moyenne en lipides des différents types de chocolats analysées.....	62
<b>Figure 22:</b> L'indice d'iode des différents types de chocolat analysées .....	70
<b>Figure 23:</b> L'acidité de la matière grasse des échantillons des chocolats analysées .....	71
<b>Figure 24 :</b> L'indice de peroxyde de différents types de chocolats analysées .....	73
<b>Figure 25 :</b> Taux de sucres réducteurs et sucres totaux et le saccharose des échantillons analysés .....	74
<b>Figure 26 :</b> Apport calorique des échantillons analysés .....	76

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction ..... 1

## Partie bibliographique

### Chapitre I : Généralités sur le cacao et le chocolat

1. Généralités sur le cacao.....	3
1.1 Etymologie .....	3
1.2 Le cacaoyer .....	3
1.3 Les variétés de cacaoyer .....	3
1.3.1 La variété Criollo .....	3
1.3.2 La variété Forastero.....	3
1.3.3 La variété de Trinitario.....	4
1.4 Morphologie et composition chimique du cacao.....	4
1.4.1 Morphologie .....	4
1.4.1.1 Le fruit .....	4
1.4.2.1 La graine .....	5
1.4.3 Composition chimique.....	5
2. Généralités sur le chocolat.....	5
2.1 Etymologie .....	5
2.2 Historique .....	6
2.3 Quelques données relatives au marché du cacao et du chocolat.....	7
2.4 Définitions .....	9
2.4.1 Définition du chocolat .....	9

2.4.2 Définition du chocolat d'imitation .....	9
2.5 La Législation sur le chocolat .....	12
2.5.1 La législation Européenne .....	12
2.5.2 La législation aux Etats-Unis .....	14
2.5.3 La législation dans d'autres pays.....	14
2.5.4 La législation du Codex Alimentarius.....	14
 <b>Chapitre II : La technologie de transformation des fèves de cacao en chocolat</b>	
1. Obtention des fèves de cacao .....	15
1.1 Récolte des cabosses.....	15
1.2 Ecabossage .....	15
1.3 Fermentation.....	16
1.4 Brassage.....	19
1.5 Séchage.....	19
1.5.1 Définition .....	19
1.5.2 Modes de séchage.....	19
1.6 Stockage .....	21
2. Obtention de la pâte de cacao.....	21
2.1 Nettoyage et calibrage .....	21
2.2 Torréfaction .....	22
2.3 Concassage, décorticage et dégermage .....	23
2.4 Alcalinisation.....	24
2.5 Mélange des cacaos .....	24
2.6 Mouture .....	25
3. Obtention du beurre et de la poudre de cacao .....	25

3.1 Le beurre de cacao .....	25
3.2 La poudre de cacao .....	26
4. Production du chocolat .....	26
4.1 Malaxage .....	27
4.2 Broyage-affinage .....	27
4.3 Conchage .....	28
4.4 Tempérage .....	29
4.5 Moulage .....	31
5. Conservation du chocolat .....	32

**Chapitre III : Composition chimique du chocolat et impacts sur la santé**

1. La composition chimique du chocolat.....	34
1.1 Les macronutriments .....	34
1.1.1 Les glucides .....	34
1.1.2 Les lipides .....	34
1.1.3 Les protéines .....	36
1.1.4 Les fibres.....	37
1.2 Les micronutriments .....	37
1.2.1 Les macroéléments .....	37
1.2.2 Les oligoéléments .....	38
1.2.3 Les vitamines .....	39
1.3 Les composés phénoliques .....	40
1.4 Les alcaloïdes .....	40
1.4.1 Les méthylxanthines.....	40
1.4.2 Le salsolinol .....	41
1.5 Les amines biogènes.....	41
1.5.1 La sérotonine.....	41

1.5.2 La tyramine .....	41
1.5.3 La phényléthyamine.....	42
1.5.4. L’histamine .....	42
2. Impacts sur la santé .....	43
2.1 Le chocolat et le diabète .....	43
2.2 Le chocolat et l’obésité.....	43
2.3 Le chocolat, le cholestérol et les maladies cardio-vasculaires.....	43
2.4 Le chocolat et la migraine.....	45
2.5 Le chocolat et les calculs rénaux .....	45
2.6 La chocolatomanie.....	46

**Partie pratique**

**Chapitre IV : Matériel et méthodes**

1. Objectif de l’étude.....	47
2. Echantillonnage .....	47
2.1 La sélection des échantillons .....	47
2.2 Prélèvement et présentation des échantillons .....	49
3. Les analyses physico-chimiques.....	49
3.1. Détermination de la teneur en eau et matières volatiles .....	49
3.2. Taux de cendres.....	50
3.3. Détermination de la composition en acide gras .....	51
3.3.1. Extraction des lipides.....	51
3.3.2. Détermination de la teneur en acide gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG) .....	52
3.4. Indices de qualités .....	54
3.4.1. Détermination de l’acidité de la fraction lipidique .....	54
3.4.2. Détermination de l’indice de peroxyde de la fraction lipidique .....	54

3.4.3. Détermination de l'Indice d'iode de la fraction lipidique .....	55
3.5. Dosage/Analyse quantitative des sucres.....	57
3.6. Analyses statistiques.....	58

**Chapitre V : Résultats et discussion**

1. Résultats des analyses physico-chimiques .....	59
1.1 La teneur en eau et matières volatiles.....	59
1.2 Les taux de cendres.....	60
1.3 La teneur en lipides.....	61
1.4 Composition en acide gras.....	63
2. Les indices de qualité .....	70
2.1 L'indice d'iode .....	70
2.2 L'acidité de la matière grasse .....	71
2.3 L'indice de peroxyde .....	72
3. Les sucres totaux, réducteurs et saccharose .....	73
4. Apport énergétique .....	75
<b>Conclusion.....</b>	<b>78</b>

**Références bibliographiques**

**Annexes**

Le chocolat est l'un des aliments et produits de confiserie les plus populaires dans le monde. Il est fabriqué en mélangeant de la masse de cacao, du beurre de cacao et du sucre (Jyoti, 2003).

La consommation moyenne de chocolat est de 8,0 kg/personne/an dans de nombreux pays européens. Les niveaux de consommation ont tendance à être plus élevés dans les pays nordiques européens ou dans ceux qui ont une forte tradition du chocolat ; par exemple la Suisse, le Royaume-Uni, la Belgique et l'Allemagne. Depuis quelques années, le chocolat connaît un succès grandissant dans les pays du Moyen-Orient et asiatiques, demandeurs de chocolat de haute qualité (Torres-Moreno et al., 2011).

La filière chocolat est en repli en Algérie face à la montée des importations. En dix ans, les importations ont été multipliées par 60 selon les statistiques du commerce extérieur de la Douane algérienne. La production algérienne ne résiste, faiblement, que par ses prix. En 2010, l'Algérie a importé pour plus de 40 millions de dollars de chocolats. Durant cette même décennie, la liste des pays fournisseurs de ces produits a doublé, passant de 12 à 27 pour les chocolats (DGVSEES, 2013).

Le chocolat est un produit à base de beurre de cacao et a une composition qui est habituellement bien définie par la législation. Elle donne aux fabricants la possibilité d'introduire une quantité limitée de matières grasses végétales. Ne pas respecter cette composition signifie perdre la capacité d'appeler le produit « chocolat ». Il sera alors désigné sous la dénomination « chocolat d'imitation » ou « substitut de chocolat ».

Malgré l'impossibilité d'étiqueter le produit « chocolat », il existe de nombreuses raisons qui poussent le producteur à ne pas respecter la composition stricte du chocolat. (Talbot, 2009).

Utiliser des matières grasses végétales autres que du beurre de cacao procure deux avantages. D'abord, elles permettent au chocolat de mieux résister aux températures extrêmes. À la chaleur, le produit qui en contient fond moins vite. Au contact du froid, il blanchit moins facilement.

Seconde raison à l'utilisation de ces MGV : leur coût est moins élevé que celui du beurre de cacao. « Le prix du beurre de cacao représente de 8 à 9 % du prix total du chocolat. En utilisant d'autres MGV, les producteurs pourraient réduire ce poste de 1 à 2 % ».

Les types de matières grasses utilisées dans les chocolats d'imitation sont riches en graisses saturées afin d'atteindre la texture désirée à température ambiante (Talbot, 2011).

La composition de ce chocolat d'imitation va à l'encontre des recommandations des organismes de la santé et de plusieurs chercheurs qui préconisent une diminution de la consommation de matières grasses provenant des aliments transformés. En effet, ces derniers sont riches en acides gras saturés notamment acide laurique C12:0, myristique C14:0 et palmitique C16:0, impliqués dans l'hypercholestérolémie et les maladies cardiovasculaires.

C'est à la lumière de toutes ces données que nous avons conduit cette présente étude. Il s'agit d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles de quelques marques de chocolat et chocolat d'imitation en tablettes et pâtes à tartiner commercialisées en Algérie. Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur le chocolat et le chocolat d'imitation. Le deuxième chapitre, aborde la technologie de transformation des fèves de cacao en chocolat. Le troisième chapitre aborde la composition du chocolat et l'impact sur la santé. L'identification des échantillons ainsi que les différentes méthodes analytiques sont décrites au quatrième chapitre. Le dernier chapitre est consacré aux résultats, interprétation et discussion.

## 1. Généralités sur le cacao

### 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 (Daverio, 2005).

### 1.2 Le cacaoyer

Le cacaoyer est un petit arbre haut de 6 à 9 m cultivé dans les forêts tropicales de la zone intertropicale (20° de latitude Nord au Sud de l'Equateur). Cette zone tropicale comprend l'Afrique occidentale, l'Amérique centrale et le Sud ainsi que l'Asie et l'Océanie. Les cacaoyers se présentent sous diverses formes à l'état adulte (10 ans) et peuvent atteindre 12 à 15 m de hauteur lorsqu'ils poussent à l'état sauvage (Moussu, 1990).

### 1.3 Les variétés de cacaoyer

Le cacaoyer *Theobroma cacao* L. présente une très grande diversité. Cette diversité repose sur les caractéristiques morphologiques des cabosses ou des graines, qui présentent toutes une très grande variabilité. Seules les fleurs sont morphologiquement peu variables. On distingue trois grandes variétés : Criollo, Forastero amazonien et Trinitario. De ces trois grands groupes sont nés par croisement des hybrides fertiles qui constituent la majorité des cultivars utilisés en plantation (Braudeau, 1969 ; Kennedy, 1995).

#### 1.3.1 La variété Criollo

Les cacaoyers de la variété Criollo sont très peu cultivés car ils sont moins robustes et plus sensibles aux maladies, aux insectes du cacaoyer et aux intempéries climatiques. Les cacaoyers Criollo purs sont principalement cultivés dans la zone mésoaméricaine (Mexique, Nicaragua, Guatemala, Colombie, Venezuela...), dans l'arc antillais, à Madagascar, Sri Lanka, Indonésie et aux îles Samoa. Ces cacaoyers représentent seulement 1 à 5% de la production mondiale du cacao.

#### 1.3.2 La variété Forastero

Cette variété est rencontrée à l'état sauvage en haute Amazonie. Elle est très diversifiée et largement utilisée en plantation dans tous les pays producteurs. Les Forasteros sont

aujourd'hui très largement cultivés dans les pays producteurs (principalement Côte d'Ivoire et Ghana) et fournissent plus de 80% de la production mondiale de cacao.

### 1.3.3 La variété de Trinitario

Cette variété est issue du croisement entre Criollo et Forastero. Les Trinitario possèdent des caractéristiques intermédiaires entre les deux groupes. Aujourd'hui, les Trinitario sont cultivés dans tous les pays où furent autrefois cultivés les Criollo (Mexique et Amérique Centrale, Trinidad, Venezuela, Colombie...). Ils sont présents également en Afrique et le Cameroun est le premier pays où les Trinitario ont été introduits massivement. Les Trinitario représentent 10 à 15 % de la production mondiale.

### 1.4. Morphologie et composition chimique du cacao

#### 1.4.1 Morphologie

##### 1.4.1.1 Le fruit

Le fruit est appelé «chérelle» pendant sa croissance et porte le nom de cabosse lorsqu'il devient mature (Figure 1). Sa croissance et sa maturation nécessitent entre 5 et 7 mois. La couleur du fruit est considérée comme un marqueur de maturité car la cabosse passe de la couleur verte ou rouge au jaune ou orangé. Le fruit est porté par un pédoncule ligneux qui provient du développement en épaisseur du pédicelle de la fleur. Le fruit est constitué d'un péricarpe charnu, dur, partiellement lignifié qui contient un mucilage et 30 à 60 graines appelées fèves. La taille et le poids de la cabosse varient respectivement entre 10 et 35 cm et entre 200 et 800 grammes (Moussu, 1990).



**Figure 1** : Fruit du cacaoyer ou cabosse (Lanaud, 2003).

## 1.4.2.1 La graine

La graine ou la fève de cacao possède la forme d'une amande plus au moins bombée, elle mesure de 2 à 4 cm de longueur, de 1 à 1.7 cm de largeur et de 0.7 à 1.2 cm d'épaisseur. Elle est entourée d'une pulpe mucilagineuse de couleur blanche, de saveur sucrée et acidulée. Elle est constituée de l'extérieur d'une coque mince, résistante, rosée, nervurée, d'une fine pellicule, translucide, brillante, et de deux cotylédons (figure 2) (Moussu, 1990).



**Figure 2 :** Graines de cacao (Mosiniak et Vonarx, 2017)

## 1.4.3 Composition chimique

Les fèves de cacao non fermentées représentent 4,2% d'eau, 21,6% de protéines, 55,2% d'acide gras, et 15,5% de glucides. Après fermentation ces valeurs diminuent légèrement à 4,0% d'eau, 18,8% de protéines, 53,4% d'acide gras et 21,0% de glucides (Afokawa et *al.*, 2013).

La pulpe de cacao contient entre 82 et 87% d'eau, 10 à 15% de sucres (60% de saccharose et 39% du mélange de glucose et fructose), 1 à 1,5% de pectine et 1 à 3% d'acide citrique. Les protéines, les acides aminés, les vitamines (principalement la vitamine C), et sels minéraux constituent également la pulpe de cabosse mûre (Dias et *al.*, 2003 ; Schwan et Wheals, 2004).

## 2. Généralités sur le chocolat

### 2.1 Etymologie :

L'origine du mot « chocolat » est controversée. Pour les uns, le mot chocolat, composé de « choco » : bruit et de « atle » : eau, dériverait des mots aztèques *tchoco* et *latte* signifiant le bruit fait par le batteur de chocolat lorsqu'il remue la boisson pour la faire mousser. Pour d'autres, il aurait une origine maya et dériverait du mot *xocoalt* (prononcez chocoatl),

signifiant probablement «eau fermentée» et désignant une boisson faite en rajoutant, aux fèves torréfiées et broyées, de l'eau, de la farine de maïs, du piment et des épices (Daverio, 2005).

### 2.2. Historique

Il semble que l'Homme ait su tirer profit il y a bien longtemps des vertus du cacao. En effet, on a retrouvé des traces de boissons à base de cacao sur des poteries datant de 1000 avant JC, en Honduras (Henderson et *al.*, 2007).

Le chocolat provient d'Amérique du Sud et se retrouve dès l'époque précolombienne : Les Mayas et plus tard les Aztèques, étaient les premiers à cultiver le cacao (Beuzard, 2003).

La première rencontre connue des européens avec le cacao n'a eu lieu qu'en 1502, lors du quatrième voyage de Christophe Colomb en Amérique du Sud. En 1524, Cortés expédie la première cargaison de cacao à Charles Quint qui apprécie cette nouvelle boisson et accorde aux Espagnols le monopole du commerce du cacao (Harwich, 2008).

Au fur et à mesure que se développe l'engouement pour le cacao, les Espagnols encouragent sa culture dans les Caraïbes et en Amérique latine. Les Anglais, les Français, les Hollandais et les Portugais l'implantent également dans leurs colonies respectives. De nouvelles plantations naissent au XVII<sup>e</sup> et au XVIII<sup>e</sup> siècle au Brésil, dans le Sud-est asiatique et en Afrique (McFadden et France, 1999).

Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, les premières « manufactures de chocolat » parviennent à industrialiser la torréfaction et le concassage des fèves et ainsi à augmenter fortement le volume et la productivité du cacao traité (François-Louis Cailler et Philippe Suchard en Suisse, Jean-Antoine Menier en France). Mais la véritable rupture dans l'histoire du chocolat a lieu aux Pays-Bas, lorsque Casparus Van Houten découvre le procédé par pression hydraulique permettant la séparation du beurre de la poudre de cacao en 1828. Cette invention ouvre la voie à une production massive d'un chocolat abordable par une large majorité. Elle inaugure l'ère de la boisson chocolatée instantanée et rend possible la fabrication de chocolat « solide » (Harwich, 2008).

Tout au long du XIX<sup>e</sup> siècle s'égrènent les innovations révolutionnant l'industrie du chocolat. En 1847, la famille Fry invente et commercialise en Angleterre les premières tablettes de chocolat. Notons la découverte en 1867 par Henri Nestlé du procédé pour produire de la poudre de lait par évaporation qui a permis la fabrication de chocolat au lait, et

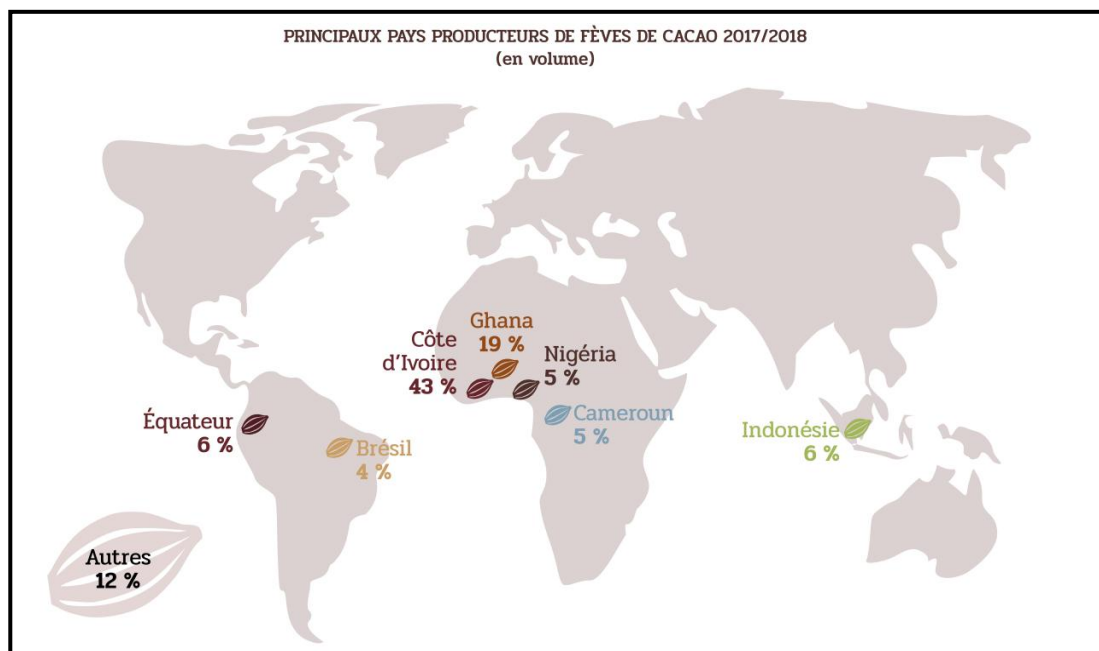
l'invention en 1879 de la conche par Rudolphe Lindt, qui a considérablement amélioré la qualité du chocolat solide (McFadden et France, 1999).

### 2.3 Quelques données relatives au marché du cacao et du chocolat :

Environ 95 % de la production de cacao dans le monde provient de petits exploitants cultivant en moyenne 2 à 5 hectares. On estime à au moins cinq millions le nombre de petits planteurs travaillant dans des plantations de cacao. La culture du cacao requière un travail physique dur, encore manuel dans la plupart des pays (Hutz-Adams et *al.*, 2016).

La plupart du cacao produit dans le monde est de la variété standard Forastero. La production de cacao fin ou FFC (« fine » ou « flavour ») ne représente que 7 % environ de la production mondiale et plus de la moitié provient de l'Équateur (Hutz-Adams et *al.*, 2016).

La figure 3 représente les principaux pays producteurs de cacao dans le monde.



**Figure 3 :** Les principaux pays producteurs de fèves de cacao dans le monde (ICCO, 2018).

Actuellement, l'Europe et l'Amérique du Nord dominent encore quant à la consommation de cacao. Les pays les plus importants sont les États-Unis, l'Allemagne et la France qui importent respectivement chacun 18 %, 8,4 % et 5,5 % de la récolte mondiale (Hutz-Adams et *al.*, 2016).

Le marché mondial du chocolat est très dynamique en raison de la présence d'un grand nombre d'acteurs régionaux et mondiaux. Il est extrêmement compétitif, avec différents acteurs proposant des produits à différents prix. À l'heure actuelle, la plupart des principaux

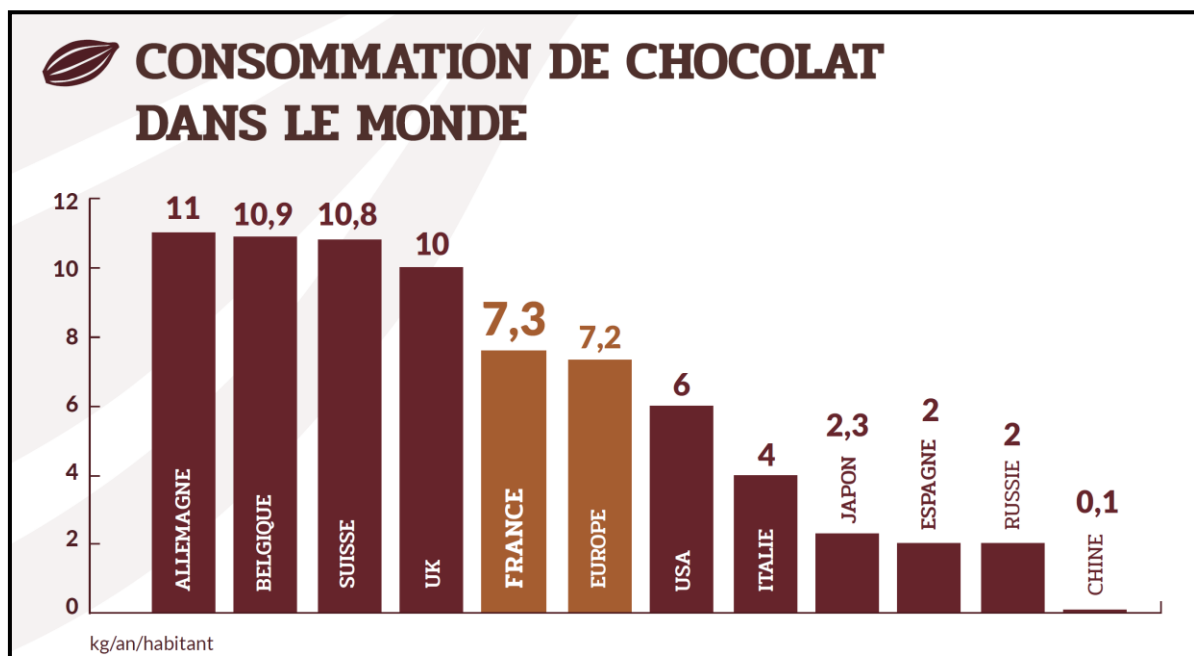
fabricants de chocolat sont basés aux États-Unis ou en Europe et développent leurs activités dans les pays émergents tels que l'Afrique et l'APAC (Asie-Pacifique) (Technavio, 2016).

La zone EMEA (Europe, Moyen Orient et Afrique) a dominé le marché du chocolat en 2015. En 2016, l'Europe était responsable de l'expédition de 2,55 millions de tonnes de chocolat. Les supermarchés et les hypermarchés ont été le canal de distribution le plus populaire pour les produits au chocolat en 2015 (Technavio, 2016).

La consommation mondiale de chocolat est en croissance constante depuis plusieurs décennies. Ces dernières années, cette tendance s'est accélérée suite à une forte progression de la demande de produits chocolatés dans de nombreux pays, en particulier émergents. Certains parlent ainsi d'une « explosion » de la demande internationale : en 2013, quatre millions de tonnes de chocolat ont été écoulées dans le monde, soit une augmentation de 32 % en dix ans (Alliot et *al.*, 2016).

Le chocolat au lait est le type de chocolat le plus répandu sur le marché et a occupé la plus grande part du marché mondial en 2015 (Technavio, 2016).

La figure 4 illustre la consommation mondiale de chocolat (Caobisco, 2017).



**Figure 4 :** La consommation de chocolat dans le monde en 2017 (Caobisco, 2017).

## 2.4 Définitions

### 2.4.1 Définition du chocolat

Le chocolat est un produit obtenu par un procédé approprié de fabrication à partir de matières provenant du cacao et pouvant être combinées avec des produits laitiers, des sucres et/ou des édulcorants, et autres additifs. D'autres produits comestibles, à l'exclusion des farines et amidons ajoutés (sauf pour les produits suivants : Le Chocolat a la taza avec un maximum de 8% m/m de farine et/ou d'amidon de blé, de maïs ou de riz et Le Chocolat familial a la taza avec un maximum de 18% m/m de farine et/ou d'amidon de blé, de maïs ou de riz), et des graisses animales autres que la matière grasse laitière, peuvent être ajoutés pour obtenir divers produits de chocolat. Ces ajouts en combinaison ne doivent pas dépasser 40% du poids total du produit fini (CODEX STAN 87-1981, Rév.1 - 2003).

D'un point de vue physique un chocolat peut se définir comme une dispersion presque anhydre de très fines particules non grasses (saccharose, lactose, protéines, minéraux) dans une phase grasse solidifiée, constituée essentiellement de triglycérides. Ces triglycérides sont issus uniquement de la pâte de cacao dans le cas d'un chocolat noir, mais proviendraient également du lait dans le cas des chocolats au lait ou blancs (Multon, 1992).

### 2.4.2 Définition du chocolat d'imitation

La dénomination « chocolat d'imitation » et « substitut de chocolat » est adoptée par le Codex Alimentarius (2018).

Ce sont des produits qui ressemblent à du chocolat mais ne répondent pas à la définition du chocolat telle que définie par la législation. Cela est généralement dû aux types de graisse utilisés dans le produit. Ils contiennent moins de beurre de cacao que le chocolat et plus de graisse végétale alternatives lauriques ou non lauriques (Talbot, 2011 ; Lillah et *al.*, 2017).

Différentes raisons font que le chocolat d'imitation est préféré au chocolat, notamment un prix plus bas, un travail plus facile (ne pas tempérer), moins d'investissements (pas de tempéreuse- tunnel de refroidissement), des propriétés techniques spéciales (peut se découper-souple).

Au niveau du goût, le chocolat d'imitation ne peut vraiment pas être comparé avec le vrai chocolat parce que la plupart du temps, on n'emploie pas de pâte de cacao, mais de la

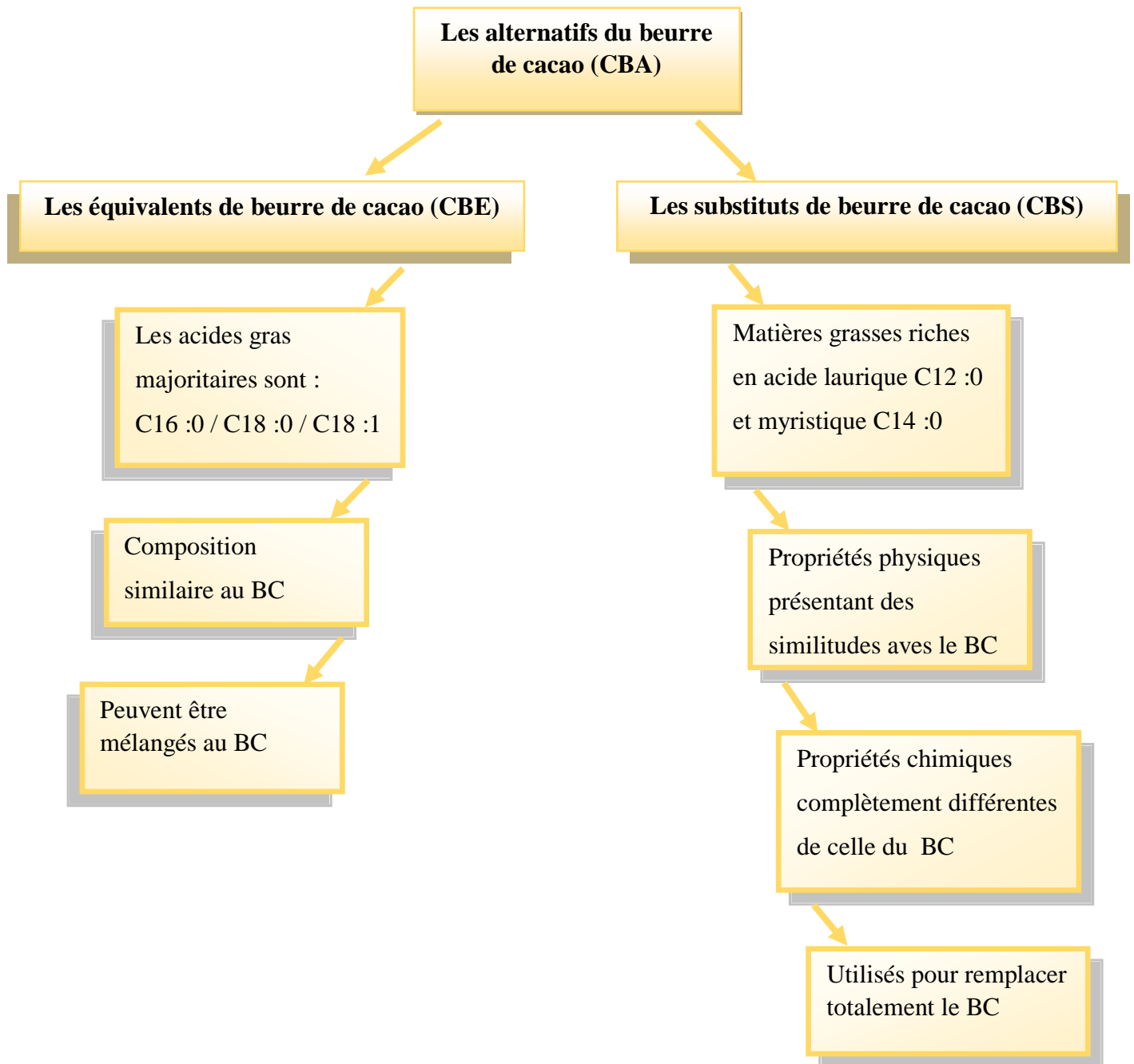
poudre de cacao. De plus, les graisses végétales employées fondent le plus souvent différemment que le beurre de cacao (UNIFA, 2013).

Des recettes typiques sont présentées dans le tableau I. La méthode de production est similaire à celle du vrai chocolat, impliquant le mélange, suivi du raffinage et du conchage, bien que le temps de conchage soit inférieur. Cependant, la nature de ces graisses qui n'exige pas de tempérage signifie que le traitement est plus facile et que le chocolat peut être utilisé instantanément pour enrober ou mouler (Talbot, 2014).

**Tableau I :** Recettes typiques de chocolats d'imitation utilisant des graisses CBS lauriques (Talbot, 2014).

Ingrédients (% p/p)	Noir	Au lait		Blanc
		1	2	
<b>poudre de cacao à faible teneur en MG (10-12%)</b>	14	5	7	-
<b>Lait entier en poudre</b>	-	10	-	-
<b>Lait écrémé en poudre</b>	6	8	19	20
<b>CBS Laurique</b>	32	32	29	32
<b>Sucre</b>	48	45	45	48
<b>Total</b>	100	100	100	100
<b>Lécithine</b>	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,4
<b>Teneur totale en graisse</b>	33,5	35,2	29,9	32,2
<b>Beurre de cacao en pourcentage de matières grasses totales</b>	4,2	1,4	2,3	0
<b>Matières solides totales de cacao</b>	14	5	7	0

Les types de matière grasse pouvant être utilisées dans le chocolat d'imitation sont résumés dans la figure 5 (Jahurul et *al.*, 2012).



**Figure 5 :** Les équivalents de beurre de cacao et les substituts de beurre de cacao dans le chocolat et le chocolat d'imitation (Jahurul et *al.*, 2012).

## 2.5 La Législation sur le chocolat

### 2.5.1 La législation Européenne

Le débat sur la législation relative au chocolat a été centré sur l'Union européenne (UE), où les différentes législations alimentaires des différents pays membres ont dû être harmonisées pour aligner le chocolat sur la directive européenne sur l'étiquetage des denrées alimentaires et sur l'exigence du libre échange entre les états membres (Talbot, 2014).

La directive a été adoptée par tous les États membres le 3 août 2003 et les détails en sont résumés au tableau I. Le changement le plus important était la possibilité de produire du chocolat contenant jusqu'à 5% de graisse végétale de type CBE (Equivalent du Beurre de Cacao).

Néanmoins, il y avait aussi un changement pour les sept pays (Royaume-Uni, Irlande, Danemark, Suède, Finlande, Autriche et Portugal) qui autorisaient déjà cette option. Seuls six types de graisses végétales (Illipé ou tengkawang, sal, karité, Kokum, Palme, Mangue) peuvent être utilisés dans les CBE. Les graisses lauriques et les graisses traitées enzymatiquement qui étaient auparavant utilisées dans certains chocolats n'étaient plus autorisées. L'huile de coco ne peut être utilisée que pour la fabrication de chocolat pour la crème glacée.

Cela exclut automatiquement certains des ingrédients les plus innovants et fonctionnels développés par l'industrie européenne de la graisse au chocolat. Par exemple, un procédé avait été mis au point pour produire des graisses riches en SOS (Triglycérides Saturé-oléique-Saturé) riches en combinant par voie enzymatique des huiles riches en acide oléique en position 2 avec les acides palmitique et stéarique (Chavron, 2003 ; Talbot, 2003 ; Talbot, 2014).

Néanmoins, le fait que les CBE produits de cette manière ne puissent pas être utilisés dans le chocolat de l'UE n'a pas empêché les chercheurs de développer des graisses produites par voie enzymatique destinées à être utilisées comme CBE hors de l'UE à partir d'une variété d'huiles de base (Talbot, 2014).

Le tableau I, résume la composition de chocolat autorisée dans l'Union européenne, telle que décrite dans la Directive 2000/36/CE (Parlement européen et Conseil, 2000) (Talbot, 2014).

**Tableau II :** Résumé de la composition de chocolat autorisée dans l'UE (Talbot, 2014).

Définition	Exigences <sup>a</sup>
<p><b><i>Chocolat</i></b> Le produit obtenu à partir de produits à base de cacao et de sucres des variations sont autorisées pour les vermicelles, les flocons, le Gianduja ou la couverture (voir ci-dessous) chocolat</p>	<p>Total sec de cacao sec <math>\geq 35\%</math> Beurre de cacao <math>\geq 18\%</math> Extrait sec de cacao sec <math>\geq 14\%</math></p>
<p><b><i>Chocolat de couverture</i></b> Désigne le produit obtenu à partir de produits à base de cacao et de sucre</p>	<p>Total sec de cacao sec <math>\geq 35\%</math> Beurre de cacao <math>\geq 31\%</math> Extrait sec de cacao sec <math>\geq 2,5\%</math></p>
<p><b><i>Chocolat au lait</i></b> Le produit obtenu à partir de produits de cacao, de sucres et de lait ou de produits laitiers Des variations sont autorisées pour les vermicelles, les flocons, le Gianduja ou la couverture (voir ci-dessous) chocolat</p>	<p>Total sec de cacao sec <math>\geq 25\%</math> Extrait sec de lait <math>\geq 14\%</math> Extrait sec de cacao sec <math>\geq 2,5\%</math> Graisse totale <math>\geq 25\%</math> Graisse de lait <math>\geq 3,5\%</math></p>
<p><b><i>Chocolat au lait de couverture</i></b> Le produit obtenu à partir de produits de cacao, de sucres et de lait ou de produits laitiers</p>	<p>Total sec de cacao sec <math>\geq 25\%</math> Extrait sec de lait <math>\geq 14\%</math> Extrait sec de cacao sec <math>\geq 2,5\%</math> Graisse totale <math>\geq 31\%</math> Graisse de lait <math>\geq 3,5\%</math></p>
<p><b><i>Chocolat au lait familial</i></b> Le produit obtenu à partir de produits de cacao, de sucre et de lait ou de produits laitiers</p>	<p>Total sec de cacao sec <math>\geq 20\%</math> Extrait sec de lait <math>\geq 20\%</math> Extrait sec de cacao sec <math>\geq 2,5\%</math> Graisse totale <math>\geq 25\%</math> Lait gras <math>\geq 5\%</math></p>
<p><b><i>Chocolat blanc</i></b> Le produit obtenu à partir de beurre de cacao, de lait ou de produits laitiers et de sucre</p>	<p>Beurre de cacao <math>\geq 20\%</math> Extrait sec de lait <math>\geq 14\%</math> Graisse de lait <math>\geq 3,5\%</math></p>

**Notes :** <sup>a</sup>Dans tous les produits, les matières grasses végétales autres que le beurre de cacao peuvent être utilisées à concurrence de 5% maximum du produit fini, après déduction du poids total de toute autre matière comestible utilisée, sans réduire le minimum teneur en beurre de cacao ou en matière sèche totale de cacao.

### 2.5.2 La législation aux Etats-Unis

La législation américaine n'autorise pas l'utilisation de matières grasses végétales autres que le beurre de cacao. Il existe cependant une catégorie de produits, « milkchocolate and vegetable fat coating », qui autorise l'utilisation de graisse végétale sans aucune restriction (Talbot, 2014).

### 2.5.3 La législation dans d'autres pays

D'autres pays ont eu tendance à se conformer à la législation des États-Unis ou des pays européens. Ainsi, la législation canadienne est similaire à celle des États-Unis et n'autorise pas non plus l'utilisation de matières grasses végétales autres que le beurre de cacao (Talbot, 2014).

La situation au Japon est différente. Il a défini des normes pour les gammes de chocolat et pour le "quasi-chocolat". Les normes relatives au «quasi-chocolat» autorisent une quantité de graisse végétale, autre que le beurre de cacao, bien supérieure à celle autorisée par la législation européenne (Hachiya et *al.*, 1989a, 1989b) (Talbot, 2014).

### 2.5.4 La législation du Codex Alimentarius

La Commission du Codex Alimentarius a également modifié ses définitions du chocolat. La révision l'aligne davantage sur la législation de l'UE (Talbot, 2011 ; Talbot, 2014).

L'addition de graisses végétales autres que le beurre de cacao ne doit pas dépasser 5% du produit fini, après déduction du poids total des autres produits comestibles qui ont été ajoutés, sans réduire pour autant les teneurs minimales des matières provenant du cacao. Lorsque cela est requis par les autorités compétentes, la nature des graisses végétales autorisées à cette fin doit être prescrite par la législation en vigueur (CODEX STAN 87-1981, Rév.1 - 2003).

La transformation des graines de cacao en chocolat est un processus complexe qui comporte diverses étapes : fermentation, séchage, torréfaction, décorticage, dégermage et broyage. On procède ensuite à l'extraction d'une partie de la matière grasse (ou beurre de cacao), qui représente 45 % à 60 % de la fève. Ce beurre sert à la fabrication du chocolat. Le produit résiduel, qui est plus ou moins gras selon l'intensité de l'extraction, sert directement à la préparation de divers produits chocolatés, ou est concassé et pulvérisé de façon à obtenir la poudre de cacao (de Brito et *al.*, 2001).

### **1. Obtention des fèves de cacao :**

La transformation technologique du cacao nécessite plusieurs étapes réalisées sur le lieu de la récolte. Elle combine des processus chimiques et microbiologiques pour que les fèves développent finalement un goût de cacao.

#### **1.1 Récolte des cabosses**

Les cabosses de cacao mûrissent généralement tout au long de l'année. Le ramassage se pratique presque sur toute l'année, mais en réalité la grande récolte s'effectue d'octobre à décembre, principalement en Afrique de l'Ouest.

La récolte des cabosses est essentiellement pratiquée par les hommes, car détacher le fruit de l'arbre est un travail laborieux et délicat qui nécessite de l'habileté et de la force (Bouet et *al.*, 1977). Les cabosses qui se trouvent autour des troncs sont coupées à la main ou à l'aide d'une machette, et celles qui entourent les branches supérieures nécessitent l'utilisation d'une partie faucille double tranchante au bout d'une perche (Beckett, 2009).

La cueillette doit se faire toutes les 2-4 semaines, car la récolte fréquente réduit les pertes dues aux rats, écureuils, singes, papillons foreurs et les diverses maladies de pourriture des cabosses (Bouet et *al.*, 1977). Les cabosses doivent idéalement être récoltées à maturité car si elles sont immatures, la biosynthèse de la matière grasse n'est pas achevée et celle de la pulpe n'est pas complète. Si les cabosses sont trop mûres, elles commencent à sécher et cela conduit à une mauvaise fermentation de la pulpe (Barel, 2013).

#### **1.2 Ecabossage**

Une fois la récolte terminée, les cabosses sont immédiatement écabossées ou bien stockées pour quelques jours chez certains producteurs dans le but de permettre aux cabosses

immatures d'achever leur maturation (Barel, 2013). Le temps écoulé entre la récolte et l'écabossage est appelé le délai de stockage.

L'écabossage est l'opération qui consiste à ouvrir les cabosses pour libérer les graines soit en coupant avec une machette soit en frappant la cabosse. L'utilisation de la machette risque d'endommager les graines, créant des blessures favorisant la pénétration des micro-organismes. Pour cette raison, il est recommandé de frapper la cabosse à l'aide d'un gourdin en bois (figure 6) (Barel, 2013).



**Figure 6 :** Ecabossage du cacao (Anonyme, 2012).

### 1.3 Fermentation

La fermentation est une étape primordiale du traitement post-récolte. Elle dure de 2 à 8 jours et cette durée dépend de la variété du cacao et des conditions climatiques, de l'importance de la masse de cacao en fermentation, 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 (De Vuyst et *al.*, 2010). La fermentation induit un ensemble de réactions biochimiques qui ont lieu dans la pulpe et au centre des cotylédons sous l'action des micro-organismes contaminant la pulpe et les fèves de cacao lors de l'ouverture soit par simple contact des mains des agriculteurs soit par le matériel utilisé.

L'opération de fermentation a trois buts principaux : éliminer le mucilage par l'action microbienne, empêcher la germination et enfin déclencher les réactions biochimiques dans les cotylédons pour former les précurseurs d'arômes (Schwan and Wheals, 2004).

Le processus de fermentation peut être décrit par deux phases principales, faisant intervenir des flores microbiennes, des températures et des degrés d'oxydation différents. La première transformation qui a lieu dans la pulpe est celle des sucres en alcool (sous l'action des levures ou fermentation alcoolique).

Pendant la seconde phase, l'éthanol est oxydé en acide acétique (fermentation acétique réalisée par les bactéries du même nom), qui en diffusant dans les fèves provoque la mort du germe et l'activation d'enzymes endogènes importantes pour la production des précurseurs d'arôme. La fermentation est donc l'œuvre de plusieurs microorganismes.

### Les techniques de fermentation

Les fermentations les plus couramment utilisées sont réalisées en tas, en caisses ou en paniers (Guehi et *al.*, 2010 ; Papalexandratou et *al.*, 2011 ; Bankoff et *al.*, 2014).

#### ❖ Fermentation en tas

Au cours de cette fermentation, les fèves de cacao sont placées sur des feuilles de bananiers et recouvertes par celles-ci (figure 7). Cette pratique concerne environ 60 % du cacao produit. L'avantage de cette technique est de diminuer le nombre de brassage, car elle assure de bons échanges gazeux entre les fèves et le milieu extérieur, par contre elle ne protège pas les fèves contre les variations de température (Barel, 2013).



**Figure 7** : Fermentation en tas des fèves de cacao (Mosiniak et Vonarx, 2017)

#### ❖ Fermentation en caisses

Elle se fait dans des caisses en bois ou des caisses en plastique (Guehi et *al.*, 2010). La fermentation dans ces dernières n'est pas très fréquente, car elle produit un nombre élevé de

fèves mal fermentées par rapport aux deux autres méthodes (en tas et caisses en bois). Le cacao fermenté dans des caisses en bois perforées est généralement de bonne qualité car les caisses présentent une bonne isolation thermique, indispensable au bon déroulement de la fermentation (Barel, 2013).

### ❖ Fermentation en panier

C'est une technique traditionnelle très pratiquée au Nigeria. La fermentation est effectuée dans des paniers en fibres végétales contenant 10 à 150 kg de fèves, posés sur le sol et recouverts de feuilles de bananiers (figure 8). On brasse en traversant les fèves d'un panier à l'autre.



**Figure 8 :** Aération par brassage des fèves en pleine fermentation (Mosiniak et Vonarx, 2017)

### ❖ Fermentation en plate-forme

Le procédé de la plate-forme est considéré comme une méthode obsolète (Doyle et *al.*, 2001) mais en raison de ses faibles coûts, il est encore largement utilisé, par exemple en Afrique de l'Ouest (Lainé, 2001).

Cette technique produit un taux de fermentation faible, probablement pour cette raison, il a été historiquement appliqué sur les fèves Criollo, qui nécessitent une courte fermentation (environ 2 ou 3 jours), mais il est considéré comme inapproprié pour la variété Forastero, car elle nécessite une durée de fermentation plus longue (de 5 à 8 jours). La fermentation en

plate-forme favorise la croissance des moisissures indésirables et le développement consécutif de saveurs non souhaitées (Doyle et *al.*, 2001)

### 1.4 Brassage

Le brassage constitue le système d'aération des fèves de cacao en fermentation, et représente un facteur important pour le bon déroulement de celle-ci. 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.

### 1.5 Séchage

#### 1.5.1 Définition

Après l'étape de fermentation, les fèves de cacao sont mises à sécher. Le séchage est la deuxième opération cruciale dans le traitement post-récolte du cacao (Barel, 2013). Le but du séchage est de diminuer la teneur en eau dans les fèves fermentées d'environ 50-60% à 8% (Djedjro et *al.*, 2008), ce qui va bloquer les réactions enzymatiques et éviter le développement de moisissures.

Cette étape va ainsi permettre la bonne conservation du cacao marchand ainsi obtenu. La température de séchage doit être inférieure à 60°C. Deux méthodes de séchage sont observées dans le monde du cacao : le séchage solaire ou naturel et le séchage artificiel.

#### 1.5.2 Modes de séchage

Il existe deux modes de séchage.

##### ❖ Séchage naturel

En général, le séchage solaire est le procédé le plus utilisé par les producteurs qui fournissent la presque totalité de la production mondiale (Djedjro et *al.*, 2008). La durée moyenne de séchage est de 8 à 15 jours. Ce procédé s'effectue sur différents dispositifs (claie, tôle, bâche, aire cimentée, bitume) (figure 9).

L'utilisation de la claie comme aire de séchage contribue à obtenir un cacao plus propre (Kouakou et *al.*, 2013). Le séchage naturel présente l'avantage de s'effectuer sans dépense

d'énergie et de favoriser l'évaporation de l'acide acétique produit au cours de la fermentation (Barel, 1998).

Il est admis que les réactions biochimiques se poursuivent pendant les premiers jours de l'opération. Le séchage solaire cependant l'inconvénient de nécessiter d'importantes surfaces pour l'étalage des fèves et la main d'œuvre pour les brassages réguliers de la masse. De plus, il est très dépendant des variations climatiques du moment. Quand les précautions ne sont pas prises, des reprises d'humidité ont lieu et les fèves moisissent.



**Figure 9 :** Séchage naturel des fèves de cacao (Mosiniak et Vonarx, 2017)

### ❖ Séchage artificiel

Ce séchage est réalisé en utilisant un four avec ventilation d'air chaud (Hii et *al.*, 2009). Il ne concerne que 10% du cacao produit (Barel, 2013). Il est utilisé lorsque les conditions climatiques sont défavorables (région humide ou zones moins ensoleillées) ou pour les grandes quantités de fèves. Cette méthode est surtout exploitée par les coopératives. L'inconvénient majeur est la rétention des acides volatils et une consommation élevée d'énergie. Les différences de tension de vapeur et de diffusion entre l'eau et l'acide acétique observées aux températures du séchage artificiel (à partir de 45°C) font que l'eau s'évapore de la fève en premier lieu, déposant les substances dissoutes en périphérie en créant ainsi une barrière qui s'oppose au départ de l'acide acétique (Jacquet et *al.*, 1980). Ce type de séchage est le principal responsable de la forte acidité volatile des cacaos.

Notons que les séchoirs artificiels sont souvent mal utilisés. En effet, il est indispensable de laisser le temps aux fèves de sécher. Un séchage trop rapide ne permet pas une bonne

élimination de l'acide acétique, l'eau étant extraite trop rapidement. De nombreuses études qui comparent les méthodes de séchage naturel et artificiel concluent que le séchage au soleil naturel donne le meilleur résultat (Bonaparte et *al.*, 1998 ; Zahouli et *al.*, 2010).

### **1.6 Stockage**

Le stockage des fèves en zone de production est une opération très délicate, car la moindre contamination par des moisissures affecte la qualité finale du produit. Les fèves doivent être stockées dans des bonnes conditions en évitant la chaleur et l'humidité de l'air qui favorisent le développement des moisissures et des insectes (Barel, 2013).

Pour certains producteurs, le stockage des fèves de cacao séchées se fait généralement dans des sacs de jute de 60 à 65 kg. Ceux-ci sont solides, mais permettent une reprise de l'humidité. Ils peuvent être empilés les uns sur les autres et ils sont également biodégradables. Pour un stockage adéquat, la teneur en humidité de fèves ne devrait pas dépasser 6 ou 7 %, au-delà de 8 % le risque du développement des moisissures existe. Au-dessous de 5 %, les fèves sont très cassantes. La durée de stockage est variable selon les producteurs.

A l'expédition, les sacs sont transportés dans les cales des navires avec une bonne ventilation pour évacuer l'air humide (Cook, 1982 ; Beckett, 2009).

## **2. Obtention de la pâte de cacao**

Les différentes opérations nécessaires à l'obtention de la pâte de cacao sont réalisées en chocolateries.

### **2.1 Nettoyage et calibrage**

Les fèves de cacao arrivent à la chocolaterie dans l'état dans lequel elles ont quitté les plantations des pays producteurs. Elles ont été fermentées et séchées, mais il s'agit toujours d'une matière première. La partie comestible se trouve à l'intérieur d'une peau dure, poussiéreuse, portant des restes de pulpe séchée (Hulin, 2001).

Les fèves subissent un nettoyage préliminaire qui permet d'éliminer par tamisage les petits cailloux et autres particules indésirables provenant des sacs. Elles passent ensuite sur une bande transporteuse qui les amène d'abord vers des silos, puis de là, vers les installations de nettoyage et de calibrage.

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 (Perrier, 2002).

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 ou qui présentent des défauts, ainsi que toute impureté restée accrochée.

Les fèves saines nettoyées et calibrées sont ensuite rassemblées dans des conteneurs ou bien Directement acheminées vers les installations de torréfaction à l'aide de bandes transporteuses (Hulin, 2001).

### 2.2 Torréfaction

La torréfaction est une étape cruciale qui consiste à griller les fèves entre 100 et 140°C pendant 20 à 40 minutes.

Elle a plusieurs fonctions. En premier lieu, elle développe l'arôme du cacao à partir des précurseurs; c'est elle aussi qui donne aux fèves leur belle couleur «chocolat». En outre, elle dessèche d'une part la pellicule qui enveloppe le «grué» (partie véritablement comestible de la graine), facilitant son élimination, et d'autre part le grué lui-même, abaissant son taux d'humidité à 1,5-2%. Il est ainsi prêt pour le concassage. Enfin elle permet de détruire les moisissures et d'éliminer une partie de l'acide acétique (McFadden *et al.*, 1999 ; Arvy *et al.*, 2003).

La torréfaction est effectuée dans un cylindre métallique animé d'un mouvement rotatif. La Chaleur uniformément répartie pénètre la fève sans brûler la coque. Elle se fait habituellement en continu, mais parfois par charge.

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 fabricants qui veulent que leur chocolat soit fort en arôme sans pour autant augmenter la teneur en cacao cherchent à obtenir ce résultat en prolongeant la torréfaction.

La température de torréfaction varie en fonction de la variété des fèves de cacao, de leur texture et de leur parfum. 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 (Delattre, 1995).

Sont aussi pris en compte la taille des fèves, leur degré de maturité, leur taux d'humidité et le type de séchage qu'elles ont subi. Enfin, l'opération diffère selon le produit que l'on vise à obtenir; ainsi il est conseillé de torréfier à une température plus élevée les fèves destinées à la fabrication du cacao en poudre.

L'ouvrier torréfacteur doit pouvoir saisir le moment où le cacao a atteint la couleur voulue sinon le goût et la qualité peuvent être compromis ; il juge également en fonction de la sonorité du grain, de sa friabilité, de son odeur.

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 (Hulin, 2001).

### 2.3 Concassage, décorticage et dégermage

Le but de ces opérations est de séparer les différents éléments: la coque (ou tégument), l'amande (les cotylédons) et le germe. La torréfaction rend la coque cassante et, de ce fait, facilite le concassage des fèves (Jannel *et al.*, 1997).

Au cours de cette étape, les fèves torréfiées et refroidies, dont la coque a éclaté, sont brisées entre deux rouleaux striés tournant à des vitesses différentes. Puis coques et cotylédons sont séparés à l'aide d'un système de succion pneumatique qui, dans un courant d'air, emporte les débris de coques, plus légers que les cotylédons. Pelures et impuretés restantes sont séparées par densité sur des tamis vibrants, de façon qu'il ne reste que les cotylédons.

Mais sur chacun d'eux subsiste un germe ligneux qui n'est pas comestible; celui-ci est retiré à l'aide d'une dégermeuse, dans la quelle passent les fèves décortiquées (Lerno, 1992).

Au terme de ces opérations de nettoyage, torréfaction et concassage, les fèves de cacao ont perdu quelque 20% de leur poids.

Ce cacao concassé s'appelle le grué de cacao ou nibs qui, en dépit d'une certaine âpreté, sent déjà le chocolat (Lerno, 1992).

### 2.4 Alcalinisation

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. Cette opération s'applique aux grains de cacao destinés à la production de poudre de cacao.

Elle améliore la mouillabilité et donc la miscibilité de la poudre de cacao en gélatisant l'amidon naturellement présent (Martin, 1987). Donc le cacao solubilisé n'est pas vraiment soluble mais se tient mieux en suspension dans un liquide. Sa miscibilité dans les liquides froids peut être favorisée par l'adjonction d'un émulsifiant comme lécithine.

### 2.5 Mélange des cacaos

C'est ici qu'interviennent la science et les premiers secrets de fabrication du chocolatier. 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 (Lerno, 1992).

Cette étape consiste à peser une quantité bien précise de diverses variétés de cacao, puis à verser le tout dans un mélangeur cylindrique situé en amont des broyeurs. Le mélange des fèves est généralement moins précis pour le cacao en poudre que pour le chocolat. Ce dernier exige de la part du chocolatier un immense savoir-faire, la connaissance des arômes caractéristiques des diverses variétés ne s'acquérant qu'après des années d'expérience.

Il existe de subtiles différences entre le parfum de chaque type de fève et l'arôme final est obtenu en mélangeant deux ou trois variétés, voire davantage, après la torréfaction. Le chocolatier doit déterminer la juste proportion de fèves corsées et de fèves à l'arôme délicat pour produire un bon chocolat (McFadden et *al.*, 1999).

### 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 (Chocosuisse, 2008).

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 le produit de la mouture est une masse onctueuse d'une couleur brun foncé, à l'odeur pénétrante, forte en goût, qui se fige au refroidissement.

Suivant leur savoir-faire propre et leurs exigences, les fabricants font varier l'ordre de ces étapes fondamentales de traitement ou les complètent, ajoutant par exemple des processus de nettoyage destinés à détruire champignons, micro-organismes et autres résidus indésirables (Chocosuisse, 2008).

Elle peut alors emprunter deux voies :

- ✓ sous l'action de fortes pressions, elle donne naissance à deux produits : le beurre de cacao et le tourteau qui pulvérisé aboutit à la poudre de cacao.
- ✓ elle est utilisée pour obtenir en bout de chaîne, à la suite de différents processus, du chocolat prêt à l'emploi (Robert, 1990).

### 3. Obtention du beurre et de la poudre de cacao

#### 3.1 Le beurre de cacao

Il est obtenu par l'application de fortes pressions, dans des presses hydrauliques, sur la pâte de cacao portée à une température de 100°C (Hill et *al.*, 1994). C'est une matière fluide à l'arôme prononcé qui une fois filtré est totalement limpide.

Il est ensuite éventuellement neutralisé, raffiné, décoloré et désodorisé. Puis il doit être refroidi et moulé (figure 10). Il est alors entreposé dans des locaux climatisés en attendant le moment d'être fondu. En effet, il interviendra ultérieurement dans la fabrication de chocolat. Il peut être aussi employé dans l'industrie des cosmétiques, de la confiserie (Girard, 1984).



**Figure 10 :** Le beurre de cacao (Anonyme, 2018)

### 3.2 La poudre de cacao

Après pressage de la pâte de cacao dont a été extrait le beurre de cacao, subsiste ce qu'on appelle le tourteau de cacao, qui contient encore de 10 à 20% de matière grasse selon l'intensité de la pression. Par mouture et tamisage, le tourteau donne le cacao en poudre. Au cours de ces opérations sous l'effet de friction, la température s'élève. Une ventilation intense permet de s'y opposer pour que la poudre conserve sa légèreté, son homogénéité et sa couleur brune (Harwich, 1992).

Si un traitement par alcalinisation a eu lieu au préalable, la poudre de cacao est dite solubilisée et prend une coloration plus accentuée. Pour obtenir du chocolat en poudre ou cacao sucré, on ajoute du sucre. Après adjonction au cacao en poudre de divers additifs : sucres, arôme, lait en poudre, on obtient toute la gamme de poudres chocolatées, cacaotées largement utilisées pour la préparation de boissons chaudes ou froides et petits déjeuners instantanés (Harwich, 1992).

### 4. Production du chocolat

C'est essentiellement un mélange de 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. Tout l'art du chocolatier consiste à obtenir un mélange de la pâte de cacao et du sucre (Girard, 1984).

### 4.1 Malaxage

La pâte de cacao, maintenue fluide par la chaleur, est mélangée au beurre de cacao et au sucre en poudre (saccharose). Le tout est malaxé dans un mélangeur jusqu'à obtention d'une masse fluide et grasse. On obtient du chocolat noir. Pour fabriquer du chocolat au lait, on ajoute dans le mélangeur du lait en poudre (Beuzard, 2003).

Le malaxage a lieu dans un pétrin rond avec une base horizontale circulaire sur laquelle passent de lourdes meules de granite. Ces mélanges se font automatiquement ce qui garantit une parfaite régularité de la production (Constant, 1999).

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 déjà un goût agréable mais a un aspect granuleux d'où l'objet de l'opération suivante qui permet de réduire la taille des particules à moins de 25 microns (McFadden et *al.*, 1999).

### 4.2 Broyage-affinage

Le broyage-affinage permet d'abaisser la granulométrie de la pâte de chocolat, encore trop grossière (environ 100 microns), à celle demandée dans les spécifications du produit (jusqu'à 20 microns). Il se fait dans des broyeurs à cinq cylindres superposés de plus en plus serrés et tournant de plus en plus vite. La pression y est de 30 bars (Hulin, 2001).

Un fin film de pâte passe entre les deux premiers cylindres, puis s'étire vers la deuxième paire de rouleaux en glissant à travers une fente à l'écartement soigneusement réglé. Lorsque la pâte de chocolat sort du cinquième cylindre, elle est fine comme du papier à cigarettes. Ce broyage facilite le déchirement des cellules de cacao et l'écrasement des cristaux de sucre.

Les particules solides sont réduites à une taille imperceptible à la langue et au palais, c'est-à-dire à moins de 20 microns.

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 (Perrier et *al.*, 2002).

Pour certains chocolatiers industriels, l'affinage s'arrête là, mais le chocolat de bonne qualité subit un traitement supplémentaire, le conchage.

### 4.3 Conchage

Une fois que la masse de chocolat a été affinée à la taille de particule souhaitée, elle est transformée en un liquide visqueux à écoulement lisse par un processus connu sous le nom de conchage. Le Conchage vise à acquérir le développement de saveur souhaité et des propriétés d'écoulement précises, tout en contribuant au caractère fondant du chocolat (Beckett, 2009).

Il existe de nombreux types de conches actuellement utilisée dans l'industrie du chocolat. Tous fonctionnent selon des principes similaires : temps, température, atmosphère, aération, cisaillement et agitation.

Traditionnellement, le conchage était effectué dans de longues conches constituées d'un bac de granit contenant la masse de chocolat et d'un rouleau de granit qui se déplaçait d'avant en arrière en cisailant le chocolat.

Elles ressemblaient au dispositif de conchage inventé en 1878 par Rudi Lindt. Ils ont maintenant été complètement remplacés par des conques rotatifs horizontaux à plusieurs lames qui contrôlent précisément la température, permettent un rendement élevé et évitent les problèmes de sédimentation et d'accumulation associés aux conches longues et aux conques verticales (figure 11) (Beckett, 2009).



**Figure 11 :** Le conchage du chocolat (Anonyme, 2016)

- **Les effets mécaniques**

Le frottement des particules de cacao les unes contre les autres conduit à l'abrasion des angles, ce qui réduit la dimension des particules. Ces particules polies et arrondies améliorent

la plasticité du chocolat, qui devient lisse, brillant et onctueux. D'autres grains, en s'écrasant, peuvent libérer du beurre de cacao, ce qui procure son velouté au chocolat (Anonyme, 1984).

- **Les effets physiques**

L'addition de beurre de cacao, en fin de conchage, permet au chocolat de devenir parfaitement homogène. En effet, le beurre de cacao enrobe chaque particule de pâte. Le conchage a également pour fonction d'aérer, d'émulsionner la pâte. Sous l'effet de la chaleur, le taux d'humidité s'abaisse (Braudeau, 1969).

- **Les effets chimiques**

La perte d'astringence durant le conchage est attribuée à la réduction des composés phénoliques et des composants volatils tels que les acides, les aldéhydes, les esters et les pyrazines (Martin, 1987).

Le saccharose subit une inversion en glucose et en fructose. Ces deux phénomènes contribuent à une modification organoleptique (Corler, 1992).

L'adjonction de lécithine de soja, émulsifiant naturel, confère au mélange une meilleure fluidité et une stabilisation plus importante. Le résultat est l'obtention d'une pâte fine, onctueuse, moelleuse, fondante, d'apparence, lisse et brillante (Girard, 1984).

### **4.4 Tempérage**

Cette opération complexe assure au chocolat son aspect brillant, sa bonne conservation, son onctuosité, ainsi que sa facilité de travail (moulage).

Pendant les opérations précédentes, la pâte de chocolat a sans cesse été maintenue à une température supérieure au point de fusion du beurre de cacao. Le chocolat doit être tempéré pour passer de l'état liquide à l'état solide.

C'est un processus délicat dans la mesure où le beurre de cacao contient plusieurs types de matières grasses qui ont toutes des points de fusion différents. Si la pâte de chocolat est refroidie trop lentement, une partie des matières grasses reste liquide et se sépare de la masse,

Ce qui crée un voile à la surface du chocolat lorsque celui-ci se solidifie. De plus le beurre se solidifie en différentes structures cristallines, dans un intervalle de température allant de 17 à 35°C environ. Or la température idéale du chocolat destiné au moulage se situe

entre 24 et 28°C, selon les pâtes. Il convient donc d'éviter que ne se produise cette diversité de cristaux, pour obtenir une cristallisation homogène du beurre de cacao (Arvy et *al.*, 2003 ; Beuzard, 2003).

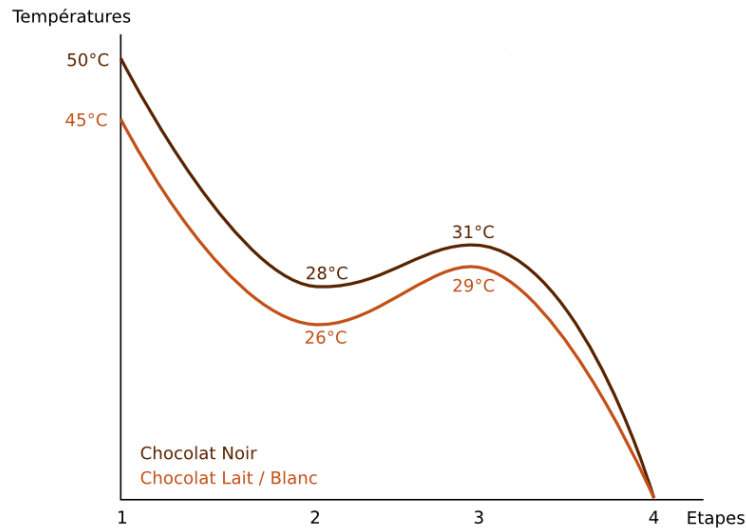
Il faut aussi noter que les graisses végétales issues de plantes tropicales, autorisées à hauteur de 5 %, élèvent le point de fusion du chocolat. Ainsi il se conserve mieux à température plus élevée, ce qui constitue un avantage évident.

Le tempérage consiste à refroidir graduellement la pâte de chocolat, sans cesser de la mélanger, de façon à assurer une meilleure répartition des cristaux de matières grasses dans la masse, puis à réchauffer celle-ci pour lui rendre la fluidité nécessaire au travail. C'est ce que l'on appelle la courbe de cristallisation (Lenro, 1992 ; Perrier, 2002).

Ce cycle de refroidissement et réchauffage est effectué dans une tempéreuse, cuve à double manteau à circulation d'eau, dotée d'un brasseur et chauffée au bain-marie. Ces machines sont automatiques, un thermostat permettant de contrôler la température de l'eau et de maîtriser ainsi la courbe (McFadden et *al.*, 1999).

La pâte, stockée à l'état liquide à 40°C, est préalablement réchauffée avant d'être introduite dans la tempéreuse qui la refroidit. Pour le chocolat noir, la courbe de refroidissement passe de 50- 55°C à 26- 28°C, pour le chocolat au lait de 45- 50°C à 25- 27°C et pour le chocolat blanc de 40°C à 24- 26°C. Elle varie aussi selon l'emploi final du chocolat (moulage, etc.) (Delattre, 1995 ; Hulin, 2001). Le réchauffage, quant à lui, ramène la masse à 31- 33°C pour le chocolat noir, 28-30°C pour le chocolat au lait et 27-29°C pour le chocolat blanc (figure 12).

Le tempérage fait aussi intervenir la notion de durée; le temps nécessaire pour obtenir un bon tempérage peut atteindre 30 à 40 minutes.



**Figure 12 : Les courbes de tempérage des chocolat noir, au lait et blanc (Anonyme, 2018).**

### 4.5 Moulage

Le tempérage a donné à la pâte de chocolat la fluidité nécessaire au moulage. Ainsi après dosage, elle est déversée dans des moules, qui sont soumis à des trépidations afin de répartir la pâte dans les moules et de chasser les bulles d'air (figure 13) (Girard, 1984).

Les moules sont ensuite entrainés 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 (Robert, 1990).



**Figure 13 : Moulage du chocolat (El Gebaly, 2018)**

### 5. 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 % (McFadden et *al.*, 1999).

Une température trop élevée provoque un changement de l'état cristallin du beurre de cacao ; il apparaît un blanchiment gras dû à la remontée à la surface des cristaux de beurre, qui recristallisent ensuite. Ce voile n'affecte pas le goût du chocolat mais en gâche l'aspect. De plus, du fait de sa forte teneur en beurre de cacao, une température trop élevée fera ramollir le chocolat et nuira à son brillant – au delà de 32 °C, il fondra (Hulin, 2001).

Un voile dû à l'humidité est plus ennuyeux. Ce sont cette fois les cristaux de sucre qui remontent ; ils se dissolvent dans l'atmosphère humide puis recristallisent et forment un film gris désagréable. Cela entraîne une détérioration de la texture et du goût du chocolat (Delattre, 1995). Par ailleurs, le chocolat absorbe facilement les odeurs environnantes.

Il convient donc de le conserver dans un récipient hermétique dans une pièce bien aérée. Enfin il doit être conservé à l'abri de la lumière car une exposition trop longue provoque une oxydation du chocolat et un rancissement (Hulin, 2001). Ainsi, le chocolat en tablettes se conserve plusieurs mois.

Quant aux chocolats fourrés, ils doivent être consommés dans le mois qui suit leur fabrication, et les chocolats au beurre ou à la crème, comme les truffes, doivent l'être au bout de quelques jours (McFadden et *al.*, 1999).

La figure 14 résume les principales étapes de transformation des fèves de cacao en chocolat.

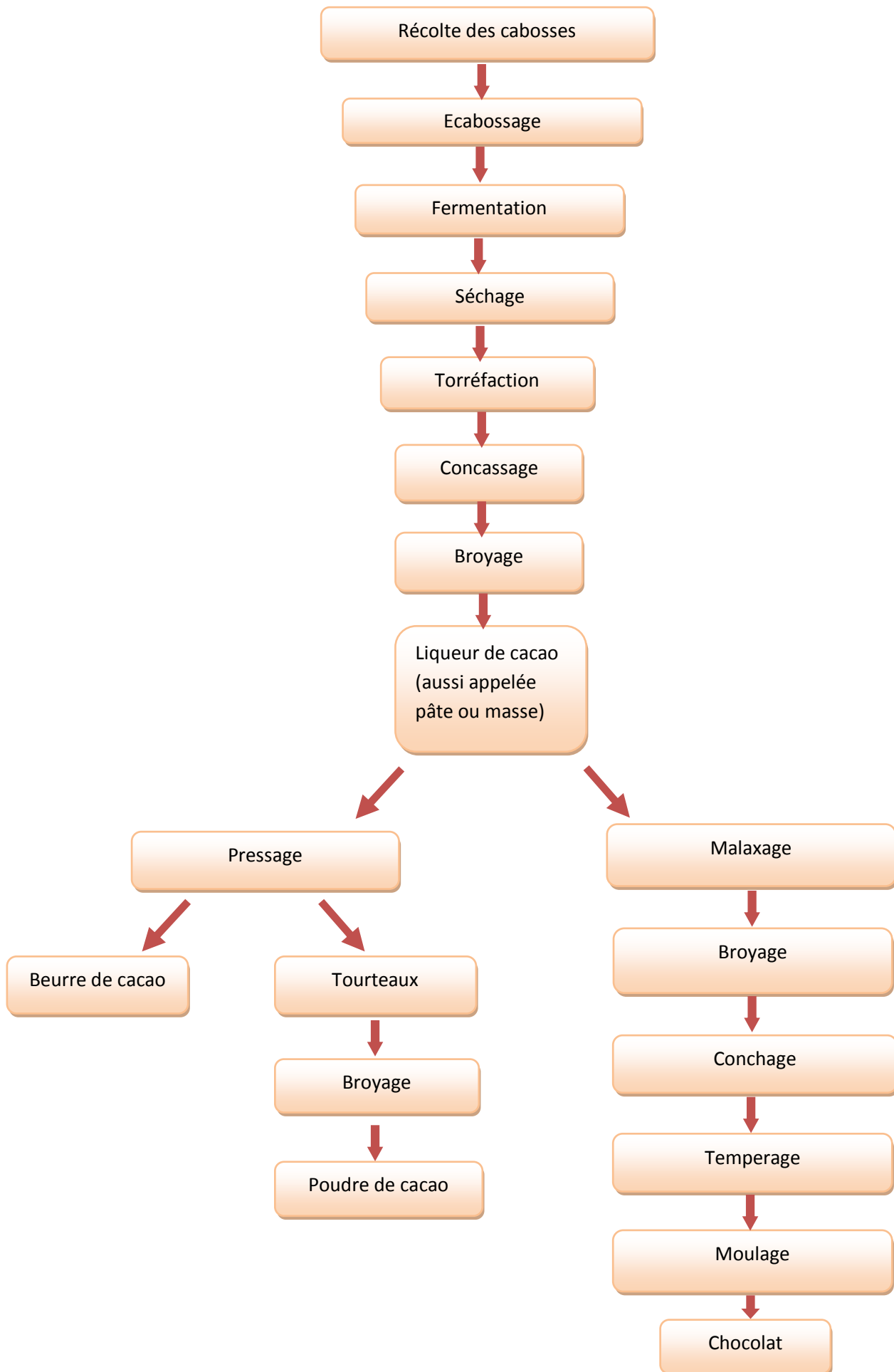


Figure 14 : Processus de transformation des fèves de cacao en chocolat (Pontillon, 1998).

S'intéresser à la composition des aliments est essentiel pour appréhender le rôle que pourrait avoir ces aliments sur le métabolisme. C'est ce que nous proposons de mettre en évidence dans cette partie

## **1. La composition chimique du chocolat :**

### **1.1 Les macronutriments :**

#### **1.1.1 Les glucides :**

La teneur en glucides est estimée à plus de 45% dans le chocolat où on peut trouver différents types (USDA, 2010). Le premier est le saccharose présent dans tous les types de chocolat noir, au lait ou blanc. Le glucose peut également être ajouté à la composition du chocolat à hauteur de 20% maximum. Le lactose est retrouvé dans le chocolat au lait et le chocolat blanc. Le fructose est utilisé pour sucrer le chocolat et pour diminuer la saveur sucrée de ce dernier, il peut être ajouté jusqu'à 5% de la masse totale de chocolat (PNNS, 2007). Le chocolat contient un peu d'amidon provenant de la poudre de cacao (Favier, 1995).

Les glucides doivent représenter entre 45% et 55% de l'apport énergétique total. Or le chocolat noir renferme environ 47% de calories glucidiques, ce qui du point de vue quantitatif est convenable. Concernant l'aspect qualitatif, le glucide essentiel du chocolat est le saccharose. Comme il ne doit pas représenter plus de 10% de l'apport énergétique total, le chocolat est un aliment déséquilibré au niveau de la qualité glucidique (Favier, 1995).

#### **1.1.2 Les lipides :**

La fraction lipidique représente environ 30% du chocolat (Favier, 1995). Elle est constituée par le beurre de cacao avec un apport de graisses lactiques dans le chocolat au lait (Robert, 1990). Des matières grasses végétales autres que le beurre de cacao peuvent être retrouvées dans certains types de chocolats à hauteur de 5% (Codex Stan).

Les lipides du beurre de cacao sont presque exclusivement sous forme de triglycérides (94%). De petites quantités de diglycérides (4%), des acides gras libres (1,3%) et de rares monoglycérides sont présents ainsi qu'une fraction d'insaponifiables tel que stérols et des traces de vitamines D (Daverio, 2005).

Parmi les triglycérides, il ya 3% de saturés, 83% de monoinsaturés et 14% de monosaturés et insaturés. Ainsi le beurre de cacao est quasiment constitué de 3 triglycérides

monoinsaturés : 21% POP (2-oléodipalmitine), 37% POS (1-palmito-2-oléo-3-stéarine) et 25% SOS (2-oléodistéarine) (Martin, 1987).

Le beurre de cacao contient 62,5% d'acides gras saturés par rapport aux acides gras totaux avec notamment l'acide palmitique (26,6%) et l'acide stéarique (34,7%). Les acides gras monoinsaturés avec comme principal représentant l'acide oléique (34,1% des AG totaux) représentent (34,4%) des acides gras totaux (Feinberg, 1987). Le cholestérol est principalement retrouvé dans le chocolat au lait et le chocolat blanc (18,2 mg et 23 mg dans 100 g) respectivement puisque ces derniers contiennent du lait, qui est riche en cholestérol, puisque riche en graisses animales (ANSES, 2013).

Les lipides doivent représenter 30 à 35% de l'apport énergétique total. Or le chocolat noir fournit plus de 52% de calories d'origine lipidique. Donc d'un point de vue nutritionnel, le chocolat est un aliment très riche en lipides.

De plus, sa composition en acides gras ne correspond aucunement à la répartition actuelle conseillée entre les différents acides gras, qui est de : acides gras saturés 25%, acides gras monoinsaturés 50% et acides gras polyinsaturés 25%. Toutefois, parmi les acides gras saturés, l'acide stéarique tient une place à part (Kris-Etherton, 1993).

La teneur moyenne en acides gras saturés et insaturés est différente selon le type de chocolat (blanc, noir ou au lait) (Berg *et al.*, 2008), comme en atteste le tableau III.

**Tableau III:** Composition en lipides des différents chocolats (CIQUAL – ANSES 2013).

Teneur pour 100 g de chocolat	ANC pour 2000 kcal/jour	Chocolat noir à 70% de cacao	Chocolat au lait	Chocolat blanc
Lipides totaux hors cholestérol (g)	84g/j	41,9	31,6	32
Acides gras saturés	9,8g/j	30,6	18,6	19,6
<b>AG 4:0 butyrique</b>	NC	0,044	0,248	0,235
<b>AG 6:0 caproïque</b>	NC	<0,04	0,173	0,164
<b>AG 8:0 caprylique</b>	NC	< 0,04	0,14	0,132
<b>AG 10:0 caprique</b>	NC	0,044	0,198	0,158
<b>AG 12:0 laurique</b>	<5g/j	0,048	0,209	0,31
<b>AG 14:0 myristique</b>	<5g/j	0,106	0,578	1,07
<b>AG 16:0 palmitique</b>	<5g/j	10,8	7,76	8,95
<b>AG 18:0 stéarique</b>	NC	19,5	8,47	8,53
Acides gras insaturés	NC	8 ;32	9,77	10,33
<b>AG 18:1 oléique</b>	14,3 g/j	7,05	8,69	9,31
<b>AG 18:2 linoléique</b>	4,4 g/j	1,13	1	0,938
<b>AG 18:3<math>\alpha</math>-linoléique</b>	1,8 g/j	0,101	0,078	0,0838
<b>AG 20:4 arachidonique</b>	NC	< 0,04	0	0
<b>AG 20:5 EPA</b>	250 mg/j	0	0,00607	0
<b>AG 22:6 DHA</b>	250 mg/j	0	0	0
Cholestérol (mg)	300 mg/j	3,16	18,2	23

### 1.1.3 Les protéines :

Dans le chocolat, les protéines représentent 5 à 10%. Ces protéines d'origine végétale sont apportées par la pâte de cacao, mais aussi par la poudre de lait ajoutée dans certains chocolats (Berg *et al.*, 2008 ; Alais *et al.*, 2008).

Sur le plan qualitatif, le chocolat noir contient les 8 acides aminés indispensables à l'organisme (Isoleucine, leucine, lysine, phénylalanine, méthionine, thréonine, tryptophane et valine) (Robert, 1990).

Les protéines présentes dans le chocolat sont mal utilisées au niveau digestif. Cela peut s'expliquer par le fait qu'au cours de la fermentation, les protéines se combinent aux tanins, ce qui donne des complexes insolubles, insensibles à la dégradation par la pepsine au niveau gastrique (Lanteaume *et al.*, 1972).

Les protéines doivent représenter 10 à 15% de l'apport énergétique total. Or dans le chocolat noir, elles correspondent à moins de 4% de l'apport énergétique total (Robert, 1990).

#### 1.1.4 Les fibres :

Les fibres sont des polysaccharides complexes. 100 g de chocolat noir en contiennent 9 g : 4 g de lignine, 2 g de cellulose, 1,8 g de gommages, 1,2 de pentosanes (Lerno, 1992).

Les fibres permettent une élimination accrue de cholestérol et des sels biliaires par diminution du cycle entérohépatique, conséquence de l'augmentation du transit intestinal. La ration quotidienne de fibres devrait être de 20 à 40 g. Mais dans le cas du chocolat, leur présence en faible quantité n'a qu'un effet mineur sur le transit compte tenu de la faible hydratation et de la pauvreté en résidus du chocolat (Robert, 1990).

### 1.2 Les micronutriments :

#### 1.2.1 Les macroéléments :

Le chocolat contient en majorité du potassium, viennent ensuite le phosphore, le magnésium, le sodium et le calcium comme le récapitule le tableau IV.

**Tableau IV :** Composition en macroéléments des différents chocolats (CIQUAL – ANSES 2013).

Pour 100 g	ANC	Chocolat noir à 70% de cacao	Chocolat au lait	Chocolat blanc
Potassium (mg)	4000	727	251	350
Phosphore (mg)	750	248	182	230
Magnésium (mg)	H : 420 F : 360	206	58	27
Sodium (mg)	2360	7	133	67
Sel (mg)	6000	18	338	170
Calcium (mg)	900	60	202	257

Le chocolat noir est plus riche en potassium, phosphore et magnésium que les autres types de chocolats. En effet, il apporte 18% des apports nutritionnels conseillés (ANC) en potassium, 33% des ANC en phosphore et 57% en magnésium pour 100g de chocolat noir consommés.

Le calcium est surtout apporté par le chocolat au lait et le chocolat blanc. Ces deux chocolats apportent, pour 100g, environ 25% des ANC. Mais ce calcium est mal utilisé en raison de la présence des oxalates qui forment avec lui des oxalates de calcium insolubles ne pouvant être absorbés au niveau du tube digestif (Massey et *al.*, 1993).

Cent grammes (100g) de chocolat noir fournissent 7 mg de sodium. Cette pauvreté en sodium autorise sa consommation par les personnes suivant un régime désodé notamment les hypertendus et les patients sous corticoïdes (Favier, 1995).

### 1.2.2 Les oligoéléments :

Le tableau V présente la teneur des différents types de chocolats en oligoéléments essentiels. Le chocolat noir en contient plus que les autres types, notamment le fer, manganèse, cuivre et zinc.

**Tableau V:** Composition en oligoéléments des différents chocolats (CIQUAL – ANSES 2013).

Pour 100 g	ANC	Chocolat noir à 70% de cacao	Chocolat au lait	Chocolat blanc
<b>Fer (mg)</b>	H : 9 F : 16	10,7	2	0,2
<b>Manganèse (mg)</b>	3	1,1	0,4	0
<b>Sélénium (µg)</b>	H : 60 F : 50	3,5	3,5	3,0
<b>Cuivre (mg)</b>	H : 2 F : 1,5	1,4	0,41	0
<b>Zinc (mg)</b>	H : 12 F : 10	2,85	1,2	0,9
<b>Iode (µg)</b>	150	10	23,5	0,8

## 1.2.3 Les vitamines :

D'après le tableau VI, les différents chocolats ne contiennent pas la même quantité de vitamines.

**Tableau VI :** Composition en vitamines des différents chocolats (CIQUAL – ANSES 2013).

Pour 100 g	ANC	Chocolat noir à 70% de cacao	Chocolat au lait	Chocolat blanc
<b>Caroténoïdes (µg)</b>	H : 2400 F : 1800	32	22	75
<b>Vitamine A (rétinol) (µg)</b>	H : 800 F : 600	0	45	0
<b>Vitamine D (mg)</b>	5	Traces	Traces	Traces
<b>Vitamine C (mg)</b>	110	0	0	0
<b>Vitamine B1 (mg)</b>	H : 1,3 F : 1,1	0,18	0	0
<b>Vitamine B2 (mg)</b>	H : 1,6 F : 1,5	0,3	0,4	0,5
<b>Vitamine B3 (mg) ou Vitamine PP</b>	H : 14 F : 11	0,87	0,53	0,20
<b>Vitamine B5 (mg)</b>	5	0,26	0,45	0,59
<b>Vitamine B6 (mg)</b>	H : 1,8 F : 1,5	0,37	0,04	0,07
<b>Vitamine B9 (µg)</b>	H : 330 F : 300	35	11	10
<b>Vitamine B12 (µg)</b>	2,4	0,27	0,39	0
<b>Vitamine E (mg)</b>	900	0,74	0,84	1,14
<b>Vitamine K (mg)</b>	10 à 40			
<b>Vit K1</b>		0	5,7	0
<b>Vit K2</b>		0	0	0

Le chocolat est un aliment très pauvre en vitamines et ce d'autant plus que les vitamines C et K<sub>2</sub> ne sont pas présentes et la vitamine D est retrouvée à l'état de trace. Les

vitamines A et K<sub>1</sub> sont présentes dans le chocolat au lait et absentes dans les deux autres. La vitamine B<sub>1</sub> n'est contenue que dans le chocolat noir.

### 1.3 Les composés phénoliques :

D'après les recherches de Counet et *al.*, (2005), le chocolat noir contient 170 mg de flavonoides pour 100 g de chocolat, avec : en grande majorité des flavanols, catéchine et épicatechine, et les oligomères proanthocyanidoliques qui en découlent, les flavonols telle que la quercétine et des polyphénols n'appartenant pas à la classe des flavonoides : l'acide ferrulique, un acide hydroxycinnamique et des stilbènes, le trans-resveratrol et le trans-piceide, en faibles quantité (Counet et *al.*, 2005).

Le chocolat renferme des tanins à hauteur 1 g /100 g (Robert, 1990). Ils sont retrouvés sous forme de polymères de catéchine et d'épicatechine résultant de la condensation de trois à dix molécules de flavan-3-ol (Jannel-Oudot et Misler, 1997 ; Wollgast et Anklam, 2000).

Tous ces polyphénols sont directement antioxydants et protègent également les anti oxydants comme les vitamines C et E (Paris et *al.*, 1981).

### 1.4 Les alcaloïdes :

C'est une famille très variée qui a pour caractéristiques la présence d'au moins un atome d'azote, une forte activité biologique et une solubilité variant avec le pH (Brunetto et *al.*, 2005).

#### 1.4.1 Les méthylxanthines :

Le tableau VII donne les quantités de méthylxanthines contenues dans 100 g de chocolat noir.

**Tableau VII** : Les quantités de méthylxanthines contenues dans 100 g de chocolat noir (Robert H, 1990).

Méthylxanthines	Chocolat noir (100 g)
<b>Théophylline</b>	1 mg
<b>Théobromine</b>	500 mg
<b>Caféine</b>	68 mg

La théobromine est la principale base purique du cacao, suivie de la caféine et de la théophylline qui est présente en très faibles proportions en comparaison des deux autres xanthines (Brunetto et *al.*, 2005).

#### 1.4.2 Le salsolinol :

Le chocolat contient du salsolinol, un alcaloïde dérivé de la dopamine qui est produit naturellement dans l'organisme (Beuzard, 2003).

Il est présent dans le chocolat noir à une concentration de 19,75 µg/g. Le chocolat au lait ne contient que 5,2 µg/g de salsolinol (Melzig et *al.*, 2000).

Le salsolinol favorise entre autres l'élévation du taux d'une amine biogène, la phényléthylamine, en inhibant l'enzyme qui la régule (Melzig et *al.*, 2000).

#### 1.5 Les amines biogènes :

##### 1.5.1 La sérotonine :

Est une amine biogène au niveau périphérique et un neuromédiateur au niveau du système nerveux central (Borel, 1987).

Cette molécule a des effets divers et variés, elle agit par exemple sur le système cardiovasculaire et sur les muscles lisses : elle peut provoquer dilatation et relâchement à une faible concentration et la contraction à une concentration plus élevée. Au niveau central, la sérotonine compte de nombreux effets, ils ne sont pas tous élucidés. Elle joue en particulier un rôle antidépresseur (Rambali et *al.*, 2002).

Dans l'organisme, la sérotonine est synthétisée à partir d'un acide aminé, le tryptophane, qui est aussi présent dans le cacao (3 mg/g) et dans le chocolat (2,7 mg/100 g) (Robert, 1990).

##### 1.5.2 La tyramine :

Le chocolat renferme une substance connue pour provoquer des fausses allergies alimentaires : la tyramine. Son mécanisme d'action est double : d'une part, elle est histaminolibératrice et d'autre part, elle entraînerait lors de son passage dans les poumons, une libération de prostaglandines et d'autres agents vasoactifs susceptibles d'action au niveau céphalique (Monneret-Vautrin, 1984).

Elle a une structure moléculaire proche de celle des amphétamines et possède des propriétés psychostimulante, antidépressive et vasodilatatrice (Brenckmann, 1997).

Elle agit indirectement sur le système sympathique en augmentant la libération de noradrénaline. La tyramine augmente de manière significative la pression systolique, mais à une dose de 21 mg, ce qui est très loin de ce que contient le chocolat (1,2 mg/100 g) (Rambali et *al.*, 2002).

### **1.5.3 La phényléthylamine :**

La phényléthylamine est la structure de base des amines biogènes (adrénaline, noradrénaline, dopamine, sérotonine) (Richard et Senon, 1999).

C'est une amine qui a des effets amphétamine-like, c'est à dire des effets antidépresseur, stimulant, euphorisant. Dans le cerveau, la phényléthylamine agit comme la dopamine sur le noyau accubens qui est soupçonné d'être responsable des conduites addictives des drogués (Fleaux-Mulot, 2004).

Le chocolat que buvaient les Aztèques n'était pas sucré et très concentré en cacao et pouvait provoquer des effets hallucinogènes, mais le chocolat contient des quantités de phényléthylamine beaucoup trop faible (1 mg/100 g) pour ressentir quelque effet amphétaminique (Rogers et Smit, 2000).

### **1.5.4 L'histamine :**

C'est un neurotransmetteur des systèmes nerveux central et périphérique. Elle joue entre autres un rôle dans l'inflammation et surtout dans les réactions allergiques de toutes sortes. Ses récepteurs centraux permettent la régulation du système cardiovasculaire, de la diurèse et la ration alimentaire (Rambali et *al.*, 2002).

Le cacao est un aliment qui favorise la libération d'histamine. Tout d'abord il en contient une petite quantité. Son ingestion abondante, associée à la consommation de féculents, favorise une prolifération de la flore de fermentation, également source de libération d'histamine. De plus, le cacao contient de la tyramine qui est elle-même libératrice d'histamine. Or l'histamine peut être à l'origine d'une intolérance alimentaire (Jannel-Oudot et Mislser, 1997).

## 2. Impacts sur la santé :

### 2.1 Le chocolat et le diabète :

Le chocolat contient des glucides à index glycémique particulièrement bas de 22, par rapport au glucose (100) utilisé comme référence. Il provoque donc un pic glycémique peu élevé. Chez les personnes souffrant de diabète insulino-dépendant, qui ont besoin de collations, l'impact glycémique d'une barre chocolatée ne s'avère pas plus marqué que celui d'une pomme ou d'une collation de céréales. Les glucides contenus dans le cacao jouent donc un rôle physiologique intéressant par l'énergie qu'ils apportent sans risque d'hypoglycémie réactionnelle car ils ne provoquent pas de pic insulinoïque brutal. Le chocolat noir à 60 % de cacao minimum n'est donc pas interdit aux diabétiques à condition qu'il soit consommé en fin de repas et en quantité raisonnable (Albanel, 2000 et Beuzard, 2003).

Les chocolats « de régime », ont une teneur en glucides plus faible (chocolats diététiques) : le saccharose est remplacé par du fructose. Ils sont fabriqués à l'intention des diabétiques car l'effet sur la glycémie est moindre; cependant le fructose favorise la synthèse des triglycérides peu recommandés pour la santé puisqu'ils contribuent à augmenter les risques cardio-vasculaires (dans le cas d'une consommation régulière) (Daverio, 2005).

### 2.2 Le chocolat et l'obésité :

Riche en glucides et en lipides, le chocolat est un aliment très énergétique: 100 g de chocolat noir fournissent en moyenne 520 kcal (550 kcal pour 100 g de chocolat au lait) (Beuzard, 2003). Pourtant, quand il est introduit dans une alimentation équilibrée, le chocolat ne fait pas grossir. Le chocolat n'étant pas la base de notre alimentation, il peut être consommé par tous (Albanel, 2000).

Le chocolat est présent dans beaucoup de produits destinés au grignotage mais c'est plus ce mode de consommation qui est responsable de la prise de poids (Daverio, 2005).

### 2.3 Le chocolat, le cholestérol et les maladies cardio-vasculaires :

Le chocolat en raison de sa richesse lipidique, a été soupçonné d'augmenter le taux de cholestérol sanguin. Or l'hypercholestérolémie est un des facteurs impliqués dans la survenue de maladies cardio-vasculaires. En effet, elle conduit progressivement à la constitution de dépôts lipidiques sur les artères formant des plaques d'athérome qui aboutissent à l'athérosclérose (Steinberg et al., 2003).

Cependant le beurre de cacao du chocolat est considéré comme ayant un effet neutre sur le taux de cholestérol. Le chocolat serait protecteur des maladies cardio-vasculaires grâce aux flavonoïdes qu'il contient. D'après de nombreux travaux, le chocolat contribuerait à réduire les risques coronariens lorsqu'il est consommé avec modération (Wollgast et Anklam, 2000).

Selon des études conduites *in vitro*, le chocolat réduit la peroxydation lipidique des LDL. Chez l'homme, Selon les travaux de chercheurs italiens de l'Institut national de recherche sur les aliments et la nutrition, à Rome, la consommation de 100 g de chocolat noir élève la capacité antioxydante totale du plasma sanguin d'environ 20 %. Ce qui n'est pas le cas du chocolat au lait. Certes, cette étude, la première chez l'homme, ne portait que sur douze personnes, mais elle apporte un argument de plus en faveur d'un effet protecteur contre les maladies cardiovasculaires. Et elle devrait sans doute motiver des études épidémiologiques, encore indispensables pour statuer sur les effets présumés bénéfiques du chocolat (Janneloudot et Misler, 1997).

Il est nécessaire, de rappeler que les acides gras : acide stéarique, acide palmitique et acide oléique du beurre de cacao se trouvent sous forme de triglycérides : POP, SOS, POS (Feinberg, 1987). Or dans l'intestin grêle, la lipase pancréatique exerce son activité lipolytique essentiellement sur les liaisons esters des triglycérides situés à l'extérieur c'est-à-dire en position 1 et 3. Il en résulte la libération d'un 2-monoglycéride avec l'acide oléique et de deux acides gras libres, l'acide stéarique et l'acide palmitique.

En outre, les monoglycérides sont plus facilement absorbés que les acides gras libres par la muqueuse intestinale. En conséquence, l'acide oléique est donc mieux absorbé que les acides gras saturés (Lairon et Borel, 1989).

De plus, l'acide oléique est hypocholestérolémiant comparé aux acides gras saturés et l'acide stéarique est hypocholestérolémiant par rapport à l'acide palmitique d'après l'étude de Kris-Etherton. Par ailleurs, le beurre de cacao referme également 2,9% d'acide linoléique, connu pour ses propriétés hypocholestérolémiantes (Feinberg, 1987).

Depuis l'adoption de la directive européenne le 23 juin 2000, les fabricants de chocolat sont autorisés à substituer jusqu'à 5 % du beurre de cacao sur le produit fini par une autre graisse végétale. Auparavant, pour mériter son nom, le chocolat devait contenir au moins 20 % de beurre de cacao. Or autoriser que 5 % du produit fini proviennent d'une autre graisse équivaut à remplacer un quart du beurre de cacao. Ce qui n'est pas sans conséquences. Car le beurre de cacao ne favorise pas la formation de cholestérol, contrairement aux autres graisses

végétales autorisées (illipé, huile de palme, saI, karité, kokum, gurgi et noyaux de mangue) (Talbot, 2011).

#### **2.4 Le chocolat et la migraine :**

La migraine est une affection caractérisée par des crises de maux de tête pulsatifs intenses, souvent accompagnés de nausées et de vomissements, plus rarement de troubles visuels ou de variations de l'humeur (Corler, 1992).

Dans le chocolat, les principaux agents biochimiques suspectés de provoquer une migraine sont les amines biogènes (la tyramine mais aussi la PEA). Ces deux molécules possèdent une action vasodilatatrice. Dans l'organisme elles sont oxydées en substances inactives grâce à l'action des MAO. Si l'organisme présente un déficit en MAO ou si une personne prend un traitement inhibiteur des MAO, l'accumulation de tyramine et de PEA est susceptible de provoquer une migraine (Marcus, 1997 ; Richard et Senon, 1999).

Cependant certaines objections peuvent être avancées. Tout d'abord, la dose: sachant que 100 g de chocolat contiennent moins de 1 mg de phényléthylamine, une consommation habituelle (environ 30 g) ramène cette quantité à moins de 0,3 mg. Ceci est insuffisant pour déclencher une migraine, d'autant que la phényléthylamine est rapidement détruite dans notre tube digestif avant même qu'elle ne pénètre dans la circulation sanguine. De même une migraine peut être provoquée par une forte dose de tyramine et le chocolat n'en contient qu'une petite quantité (Marcus, 1997).

D'après certaines études, le chocolat est suspecté dans 19 à 26 % des cas de migraine mais le plus souvent d'autres facteurs se surajoutent, en particulier s'il est associé à d'autres aliments riches en tyramine (fromage, charcuterie). A ce jour, rien ne permet de dire que le chocolat à lui seul provoque des migraines. C'est une affaire de susceptibilité individuelle (Marcus, 1997).

#### **2.5 Le chocolat et les calculs rénaux :**

Le chocolat est un aliment riche en acide oxalique (200 mg pour 100 g de chocolat noir) (Robert, 1990).

L'ingestion de chocolat peut entraîner une hyperoxalurie passagère susceptible de créer des conditions urinaires favorisant le développement de lithiase chez les patients à risques

(Nguyen et *al.*, 1994). La consommation de chocolat doit être déconseillée aux personnes souffrant de calculs biliaires, urinaires, de goutte et d'insuffisance rénale (Brieu, 2002).

### **2.6 La chocolomanie :**

On ne peut pas parler du chocolat sans aborder le problème de la consommation excessive (Max, 1989).

Une étude *in vitro*, menée par une équipe de l'Institut de recherche de pharmacologie moléculaire de Berlin, montre que le salsolinol peut se fixer sur les mêmes récepteurs dopaminergiques que la cocaïne. Selon les auteurs, 100 g de chocolat suffiraient à ce que le salsolinol active les récepteurs en question. Ceci pourrait expliquer une dépendance légère sans sensation de manque lors d'une consommation importante de chocolat. Certains le considèrent comme le principal composé psychoactif du chocolat responsable de l'addiction (Richard et Senon, 1999).

De plus, non seulement le chocolat contient de l'anandamide (acide gras cannabinoïde), molécule susceptible d'avoir une activité cannabinoïdique, mais il stimule également sa sécrétion. Cependant, l'anandamide est trouvée dans le chocolat à l'état de traces et est faiblement absorbée par voie orale, il faudrait consommer environ 30 kg de chocolat pour obtenir l'effet du cannabis (Di Tomaso et *al.*, 1996 ; Allain, 2000).

## 1. Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est une analyse physico-chimique d'une sélection de marques de chocolat en tablettes et de glaçage et pâte à tartiner de date récente, présents sur le marché algérien. Une attention particulière est prêtée à l'estimation de la qualité de la matière grasse en déterminant les indices de qualités (acidité, indice de peroxyde, indice d'iode), teneur en eau, et le profil en acides gras. D'autres analyses ont également fait l'objet de cette étude, telles que la teneur en sucres et le taux de cendres.

Les analyses effectuées ont été réalisées au niveau de différents laboratoires à savoir: le laboratoire physico-chimique de technologie alimentaire du département sciences agronomiques, (UMMTO) et le laboratoire d'analyses instrumentales (ENSA).

## 2. Echantillonnage

### 2.1 La sélection des échantillons

Notre démarche pour procéder à cette étude n'est pas arbitraire et nous nous sommes alignés sur la méthodologie suivie par différents auteurs (Tavella et *al.*, (2000) ; Martin, (2005) ; Karabulut, (2007) ; Baylin et *al.*, (2007) ; Saunders et *al.*, (2008) ; Richter et *al.*, (2009).

Pour la sélection des échantillons, nous avons opté pour un échantillonnage aléatoire stratifié, basé sur l'étude effectuée par Karabulut, (2007) et Saunders et *al.*, (2008) qui préconisent de petites enquêtes pour s'assurer que les produits retenus soient les plus disponibles sur le marché

Ainsi, Nous avons sélectionné onze types de chocolat. Ces produits commercialisés sous divers emballages sont présentés dans le tableau VIII. Afin de faciliter leur reconnaissance, nous avons présenté ces produits sous forme de photographies tels qu'ils sont présents sur le marché (Annexe I).

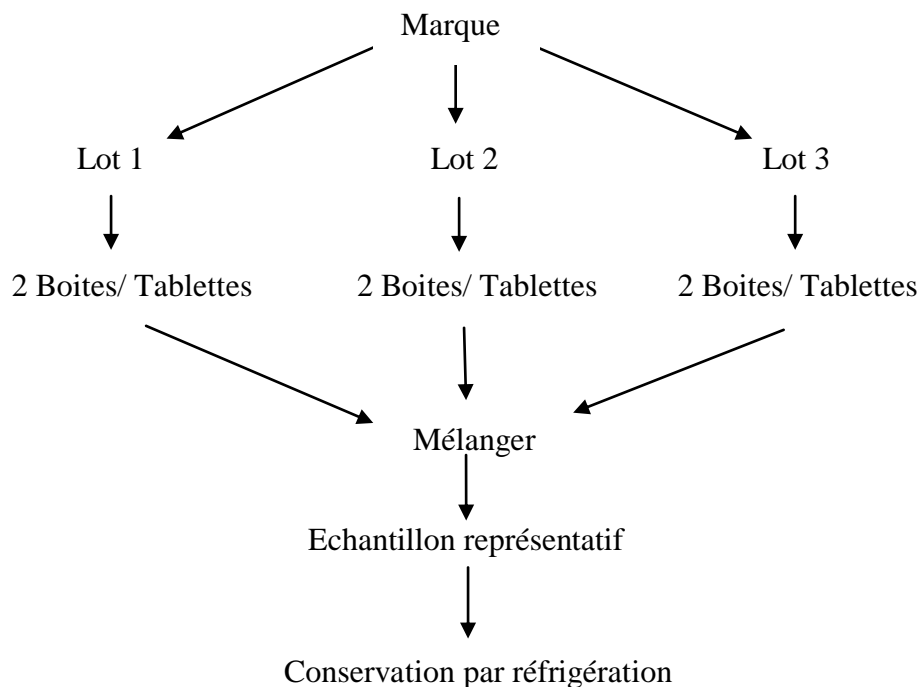
Tableau VIII : Description des échantillons de chocolats.

Type	Code	Nom du produit	Date de fabrication			Composition	Utilisation
Chocolat en tablettes	CT1	Ambassadeur noir	27/01/2018	03/04/2018	23/12/2017	Sucre, beurre de cacao, masse de cacao, émulsifiant: lécithine SIN 322, arômes(NI)	A croquer
	CT2	Ambassadeur lait	27/01/2018	03/04/2018	23/12/2017	Sucre, beurre de cacao, masse de cacao, poudre de lait, émulsifiant: Lécithine sin 322, arômes (NI)	A croquer
	CT3	Maxon noir	20/01/2018	15/03/2018	05/04/2018	Sucre, graisse végétale (huile de palme partiellement hydrogénée), poudre de cacao alcalinisée, poudre de cacao naturelle, additifs alimentaires: émulsifiant (lécithine de soja E322), arôme artificiel (éthyle vanilline)	A croquer
	CT4	Maxon lait	01/04/2018	18/04/2018	24/04/2018	Sucre, graisse végétale (huile de palme partiellement hydrogénée), poudre de lait entier, poudre de cacao, lactosérum, additifs alimentaires: émulsifiant (lécithine de soja E322), arômes artificiels (vanilline, arôme lait)	A croquer
	CT5	Mina noir	02/2018	04/2018	04/2018	Sucre, matière grasse végétale hydrogène, poudre de cacao(30), masse de cacao, additifs à des fins alimentations: lécithine émulsifiant BPF, arôme chocolat	A croquer
	CT6	Mina lait	01/2018	03/2018	04/2018	Sucre, matière grasse végétale hydrogénée, poudre de lait(14), poudre de cacao, additifs à des fins alimenaires: lécithine émulsifiant, arôme lait artificiel	A croquer
Chocolat de glaçage	CG1	Chocodada noir	23/04/2018	23/04/2018	29/01/2018	Sucre, graisse végétale hydrogénée, poudre de cacao 10/12, additifs alimentaires: (SIN 322i) lécithine de soja (émulsifiant), arômes artificiels	De glaçage, Dessert
	CG2	Chocodada blanc	27/05/2018	05/02/2018	27/05/2018	Sucre, graisse végétale hydrogénée, poudre de lait, additifs alimentaires: (SIN 322i) lécithine de soja (émulsifiant), arômes artificiels	De glaçage, Dessert
Chocolat pâte à tartiner	CP1	Maxon	11/04/2018	12/04/2018	17/04/2018	Sucre, graisse végétale, poudre de cacao, lactosérum, lait en poudre, pate de noisette, additif alimentaire: Emulsifiant (lécithine de soja SIN322), arôme artificiel noisette, vanilline.	A tartiner
	CP2	Noisilla	18/01/2018	01/04/2018	02/04/2018	Cacao, sucre, graisses végétales hydrogénées, poudre de lait 26%, émulsifiant, lécithine de soja, arôme noisette, arôme vanille.	A tartiner
	CP3	Nutella	07/11/ 2017	11/01/2018	10/12/2017	Sucre, huile de palme, noisette (13%), poudre de lait écrémé (8,7%), poudre de cacao (0,02%), émulsifiant (lécithine de soja)(0,43%)(SIN 322), arôme(0;02%), additifs alimentaires	A tartiner

## 2.2 Prélèvement et présentation des échantillons

Le prélèvement des échantillons des aliments sélectionnés a été effectué en se référant aux études menées par différents auteurs ayant traité ce point (Tavella et *al*, (2000) ; Martin, (2005) ; Greenfield et Southgate, (2007).

Trois échantillons (2 boîtes/tablettes), provenant de trois lots différents, ont été achetés pour former un échantillon représentatif de chaque marque :



## 3. Les analyses physico-chimiques :

### 3.1. Détermination de la teneur en eau et matières volatiles (ISO, international standard, 1998. Méthode 662).

#### ➤ Principe :

Chauffage d'une prise d'essai à  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  jusqu'à l'élimination complète de l'eau et des matières volatiles, et détermination de la perte en masse.



Figure 15 : photo originale d'étuve

➤ **Mode opératoire:**

Le mode opératoire est détaillé dans l'annexe II.

➤ **Expression des résultats :**

La teneur en eau et en matières volatiles a été déterminée par la formule suivante :

$$H_{(\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

$H(\%)$  : teneur en eau exprimé en pourcentage.

$M_0$  : masse en (g) de la capsule vide.

$M_1$  : masse en (g) de la capsule vide + prise d'essai avant chauffage.

$M_2$  : masse en (g) de la capsule vide + prise d'essai après chauffage.

### 3.2. Taux de cendres :

➤ **Principe :**

Le principe repose sur l'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de 550°C jusqu'à combustion complète la matière organique (ISO 6884, 2008).



**Figure 16 :** Four à moufle

➤ **Mode opératoire :**

Le mode opératoire est détaillé dans l'annexe III.

➤ **Expression des résultats :**

Les résultats sont exprimés à 0,01 % près et rapportés à la matière sèche.

$$\text{TC}(\%) = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100$$

$P_0$  : poids du creuset vide.

$P_1$  : poids du creuset + prise d'essai.

$P_2$  : poids du creuset + résidu calciné.

### 3.3 Détermination de la composition en acide gras

#### 3.3.1 Extraction des lipides

L'extraction dans le chloroforme-méthanol est bien connue (Méthode de Folch). Cette méthode a été choisie en raison de ses douces conditions de travail (ni chaleur ni pression élevées), ce qui évite d'éventuelles modifications de la matière grasse extraite. De nombreux auteurs ont également opté pour cette méthode (Tavella et *al.*, 2000 ; Martin et *al.*, 2005 ; Priego-Capote et *al.*, 2007 ; Greenfield et *al.*, 2007) .

Elle combine la capacité de pénétration de l'alcool dans les tissus avec le pouvoir dissolvant du chloroforme pour les lipides. Cette méthode d'extraction est préférable quand

l'extrait est utilisé pour mesurer les acides gras. La méthode est efficace pour les aliments complexes et fait partie des méthodes officielles AOAC (Greenfield et *al.*, 2007).

Nous avons suivi le protocole analytique appliqué par plusieurs auteurs (Parcerisa et *al.*, 1999 ; Priego-Capote et *al.*, 2007) (Annexe IV).

➤ **Expression des résultats**

$$MG\% = \frac{P_2 - P_0}{P_1} \times 100$$

**Avec:**

**P0:** poids du ballon vide;

**P1:** poids du ballon plus échantillon;

**P2:** poids du ballon plus solvant.



**Figure 17 :** Photo originale de l'évaporateur rotatif.

### 3.3.2 Détermination de la teneur en acide gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

La chromatographie directe des corps gras n'est pas toujours possible en raison de leurs températures d'ébullition trop élevées et leurs instabilités thermiques. Généralement, les acides gras sont analysés sous forme estérifiée. Cette transformation chimique permet d'abaisser leurs points d'ébullition et obtenir ainsi des dérivés thermostables (Wolff, 1968).

### 3.3.2.1 Préparation des esters méthyliques d'acides gras (EMAG/FAME)

La méthode choisie est celle utilisée par plusieurs auteurs à l'instar de Alonso et *al.*, 2000 et Vucic et *al.*, 2015). Le mode opératoire est détaillé en annexe VIII.

### 3.3.2.2 Analyse des esters méthyliques d'acides gras par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

Le principe de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) consiste, après formation d'esters méthyliques des acides gras, à les entraîner à travers une colonne contenant un liquide inerte à une haute température, de telle sorte que selon le partage entre le gaz entraîneur et le liquide, les divers esters sortent de la colonne à des moments différents.

Les conditions opératoires appliquées pour l'analyse des esters méthyliques sont représentées dans le tableau IX.

**Tableau IX :** Conditions opératoires appliquées pour l'analyse des esters méthyliques.

<b>Chromatographe</b>	Chromopack CP 9002
Détecteur	FID
Injecteur	SPLIT 1/100
Gaz vecteur	Azote
<b>Colonne capillaire</b>	DB 23 (50% cyanopopyl)
Longueur	30 m
Diamètre intérieur	0,32 mm
Epaisseur	0,25 µm
<b>Températures</b>	
Injecteur	250 °C
Détecteur	250 °C
Four	150 °C-----240 °C à 5°C/min
Quantité injectée	1 µl
Vitesse du papier	0,5 cm/mn

Les acides gras sont identifiés par leurs temps de rétention en comparaison à un chromatogramme de référence d'un mélange standard d'esters méthyliques de composition et

concentration connues. Le mélange de standards utilisé contient 28 composés, allant du C4:0 methyl butyrate au C22:6 methyl docosaheptaenoate. La teneur en acides gras est exprimée en pourcentage des acides gras totaux.

### 3.4. Indices de qualités

#### 3.4.1. Détermination de l'acidité de la fraction lipidique:

➤ **Principe:**

L'acidité est le pourcentage d'acides gras libres exprimé conventionnellement en acide oléique. Sa détermination est basée sur la neutralisation des acides gras libres par une solution KOH à chaud en présence de phénolphtaléine (ISO 660, 2008).

➤ **Mode opératoire :**

Le mode opératoire est détaillé dans l'annexe V.

➤ **Expression des résultats**

$$A(\%) = \frac{V \cdot c \cdot M}{10 \cdot m}$$

V : volume en ml de la solution de KOH utilisée pour le titrage.

C : concentration exacte en mole/l de la solution de KOH.

M : Masse molaire (g/mole) de l'acide gras retenu pour l'expression du résultat (acide oléique = 282 g/mole, acide laurique = 200 g/mole).

m: masse de la prise d'essai (g).

#### 3.4.2 Détermination de l'indice de peroxyde de la fraction lipidique :

➤ **Principe:**

C'est la quantité de substances de l'échantillon qui oxyde l'iodure de potassium. La méthode utilisée est basée sur le traitement d'une prise d'essai en solution dans l'acide acétique et du chloroforme par une solution d'iodure de potassium (KI), et le titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré (ISO 3960, 2008).

➤ **Mode opératoire:**

Le mode opératoire est détaillé dans l'annexe VI.

➤ **Expression des résultats :**

$$IP = \frac{V - V_0}{P} \times N \times 1000$$

**V:** est le volume de thiosulfate de sodium de l'échantillon.

**V<sub>0</sub>** : est le volume pour la titration à blanc.

**p** : le poids de la prise d'essai en gramme.

**N** : normalité de thiosulfate de sodium.

### 3.4.3 Détermination de l'Indice d'iode de la fraction lipidique :

#### 3.4.3.1 Détermination de l'indice d'iode par un protocole analytique

➤ **Principe :**

L'indice d'iode est utilisé pour quantifier les insaturations présentes dans les chaînes carbonées d'un triglycéride, le caractérisant ainsi et vérifiant sa qualité. L'indice d'iode est une mesure du nombre de doubles liaisons dans un corps gras. Il spécifie la masse d'iode (I<sub>2</sub>) en grammes consommée par 100 g d'un échantillon d'huile ou graisse.

Cette une méthode titrimétrique, plus simple, plus rapide, plus écologique (avec des produits chimiques nettement moins toxiques) et moins coûteuse que la méthode de Wijs (dix fois moins cher). L'eau est utilisée comme solvant principal et l'éthanol est utilisé pour dissoudre la matière grasse et préparer une solution standard d'iode (Shimamoto et *al.*, 2016).

➤ **Le mode opératoire :**

Le mode opératoire est détaillé en annexe VII.

➤ **Expression des résultats :**

Le calcul de l'indice d'iode est donné par la formule suivante :

$$Ii = \frac{(V_0 - V) \times N \times 12.96}{m}$$

Où :

$Ii$  : indice d'iode.

$V_0$  : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc en ml.

$V$  : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour titrer l'excès d'iode en ml.

$N$  : normalité de thiosulfate de sodium.

$m$  : prise d'essai en gramme.

12,69 : masse d'iode correspondant à 1ml de thiosulfate de sodium pour 100g de corps gras.

### 3.4.3.2 Détermination à partir de la composition en acides gras

L'indice d'iode mesure les insaturations ou le nombre moyen des doubles liaisons dans une matière grasse. Par conséquent, il est logique que l'indice d'iode puisse être facilement calculé à partir d'une analyse de la composition en acides gras. Les constantes pour les acides gras insaturés les plus courants nécessaires pour le calcul de l'indice d'iode sont mentionnées dans le tableau X (O'Brien, 2004).

**Tableau X :** Constantes des acides gras insaturés pour le calcul de l' $Ii_2$

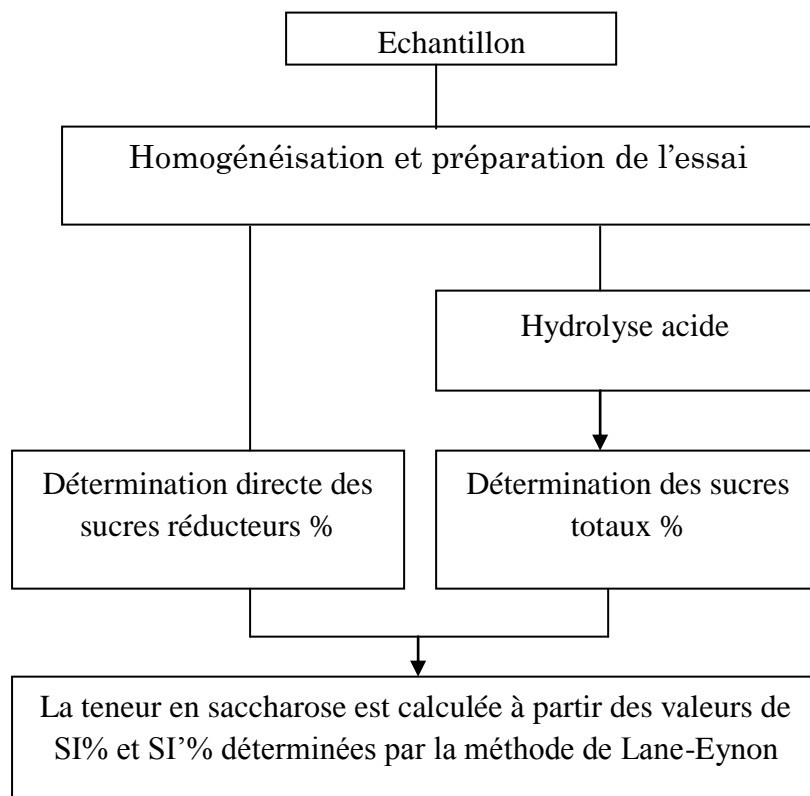
Acide gras	Constantes
Acide pailitique (C-16:1)	0.950
Acide oléique (C-18:1)	0.860
Acide linoléique (C-18:2)	1.732
Acide linoléique (C-18:3)	2.616

Cette détermination Elle peut être utilisée pour la vérification de l'indice d'iode obtenu par protocole expérimental et elle permet d'obtenir deux résultats à partir d'une seule analyse (O'brien, 2004).

### 3.5 Dosage/Analyse quantitative des sucres

#### ➤ Principe

Cette méthode analytique est utilisée pour le dosage du saccharose contenu dans les confiseries, telles que les confiseries, les produits de boulangerie, les chocolats et autres produits contenant du cacao et les haricots rouges cuits. L'analyse doit être effectuée par titrage selon le diagramme représenté dans la figure 18 (JCAM, 2007).



**Figure 18 :** Illustration des étapes de dosage des sucres par la méthode de Lane-Eynon (JCAM, 2007).

Le mode opératoire est détaillé en annexe IX.

#### ➤ Expression des résultats :

**Sucres réducteurs :**

$$SR (\%) = \frac{SI \times 0,25}{m}$$

Où :

**SI** : Concentration du sucre inverti (mg/100ml) obtenu à partir d'une correspondance avec le volume de titration obtenu (V2) à partir du Tableau de Lane-Eynon (Annexe XII).

m : Masse de l'échantillon (g).

**Sucres totaux :**

$$ST(\%) = \frac{SI \times 1,25}{m}$$

Où :

**SI'** : Concentration du sucre inverti (mg/100ml) obtenu à partir d'une correspondance avec le volume de titration obtenu (V<sub>2</sub>') à partir du Tableau de Lane-Eynon (Annexe XII).

**m** : Masse de l'échantillon (g)

**Saccharose**

$$\text{Saccharose (\%)} = (ST - SR) \times 0,95$$

Où :

**ST** : Sucres totaux (%)

**SR** : Sucres réducteurs

### 3.6 Analyses statistiques

Le traitement statistique des résultats des analyses physico-chimiques (indice de peroxyde, acidité, humidité, indice d'iode, taux de cendres) est réalisé par l'utilisation du logiciel **STATBOX**. Il consiste en une analyse de la variance à un facteur (marque).

L'intégration des résultats de nos analyses s'est fait selon les seuils de probabilité suivants :

-Probabilité  $\geq 0.05$  —————→ \*différence non significative (NS).

-Probabilité  $\leq 0.01$  —————→ \*différence significative (S).

-Probabilité  $\leq 0.05$  —————→ \*\*différence hautement significative (HS).

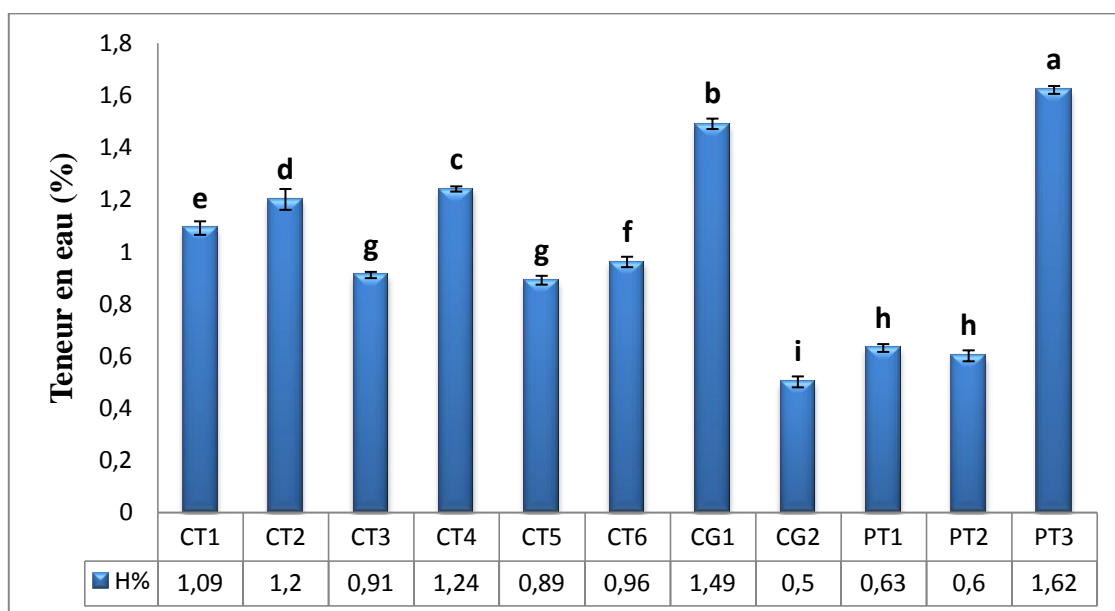
-Probabilité  $\leq 0.001$  —————→ \*\*\*différence très hautement significative (THS)

## 1. Résultats des analyses physico-chimiques :

### 1.1 La teneur en eau et matières volatiles :

La teneur en eau est un paramètre important pour la conservation des aliments. En effet, la teneur en eau dans un aliment est fortement liée à son activité de l'eau. Ce paramètre détermine l'intensité des réactions chimiques et enzymatique ainsi que la vitesse de développement des micro-organismes.

La teneur en eau des échantillons des chocolats en tablettes, pâtes à tartiner et chocolats de glaçage est représentée dans la figure 19.



**Figure 19:** Teneur moyenne en eau et en matières volatiles des échantillons du chocolat (%).

La figure 19 illustre les résultats de la teneur en eau des différents échantillons analysés. Elle varie entre 0.5% et 1.62%. L'analyse de la variance ( $p \leq 0.05$ ) révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les marques de chocolats et pâtes à tartiner analysés. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer neuf (09) groupes homogènes (figure 19).

La teneur en eau moyenne des chocolats en tablettes analysés est de 1.04%. Elle se rapproche de la valeur trouvée par Chire Fajardo et *al.*, (2016) qui est 1.17%. Cependant, Minifie, (1999) et Beckett, (2009), rapportant des valeurs inférieures à 1%. Les teneurs en eau des chocolats au lait analysés varient entre 0.96 et 1.24%. Elles correspondent à celles trouvées par Chire Fajardo et *al.*, (2016) et Beckett, (2009) qui sont de (0.28-1.8%). Les

teneurs en eau des chocolats noirs analysés varient entre 0.89 et 1.09%. Elles correspondent à celles trouvées par Chire Fajardo et *al.*, (2016) (0.17-2.08%).

Selon Yadav et *al.*, (2011), l'humidité relative, la température et le type d'emballage influence significativement la teneur en eau du chocolat. Le temps de stockage possède une influence moindre.

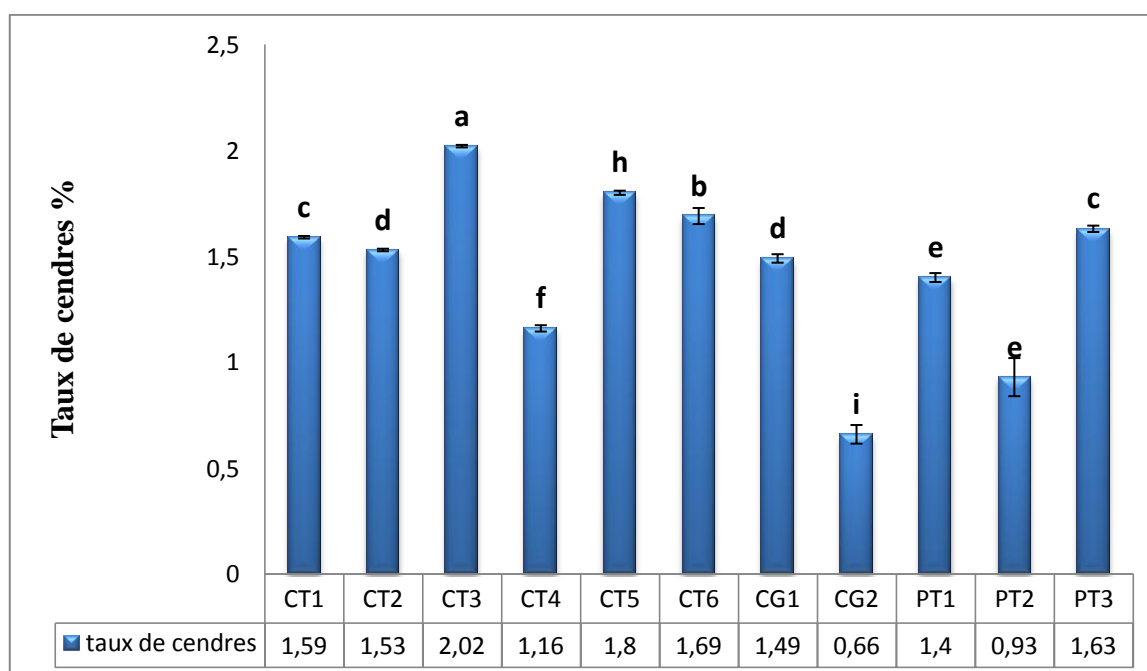
Les teneurs en eau des chocolats de glaçage sont de 0.5% et 1.49%. Elles se rapprochent de celles trouvées par Avinash Singh et *al.*, (2018) (0.91-1.29%).

Dans la catégorie des pâtes à tartiner, la teneur en eau varie entre 0.6 et 1.62%. Elle correspond à celle trouvée par Aमेvor et *al.*, (2018) (0.9-1.4%). PT3 présente la teneur en eau la plus élevée.

### 1.2 Les taux de cendres :

Les cendres totales de la matière végétale sont les restes des corps inorganiques obtenus, après la calcination, jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Le taux de cendres représente la fraction minérale de l'aliment (Compos et *al.*, 2008).

Les taux de cendres des échantillons du chocolat analysés sont représentés dans la figure 20.



**Figure 20:** Le taux moyen en cendres des échantillons du chocolat analysées (%)

Le taux de cendres des différents types de chocolats varient de 0,66 à 2,02%. L'analyse de la variance  $p \leq 0.05$  révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les marques de chocolats analysées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer neuf (09) groupes homogènes figure 20.

D'après les résultats obtenus, la teneur moyenne en cendres des chocolats noirs est de 1,80%. Elle concorde avec la valeur trouvée par Chire Fajardo et *al.*, (2016) qui est de 1,78%, et celle donnée par Kirk, (2009) (1-2,35%).

Concernant les chocolats au lait, la teneur en cendres varie de 1,16% à 1,69%. Ces valeurs sont conformes à celles trouvées par Chire Fajardo et *al.*, (2016) qui varient entre 1,25-2,29%.

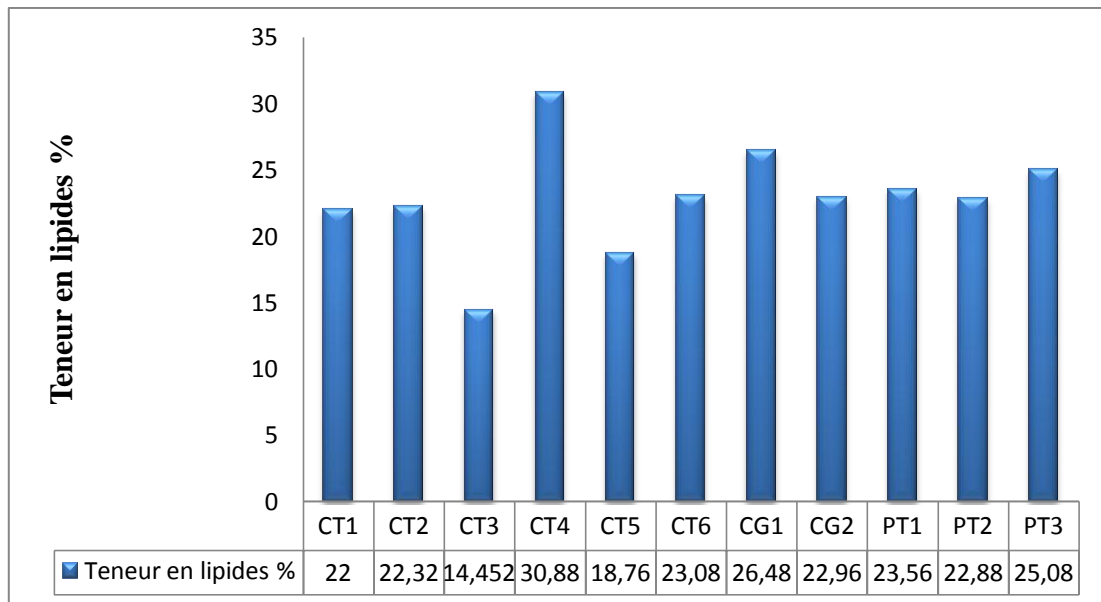
La teneur en cendres du chocolat de glaçage blanc est de 0,66%. Elle est légèrement supérieure à celle trouvée par Avinash Singh et *al.*, (2018) qui est de 0,40%.

Pour les pâtes à tartiner, le taux de cendres moyen est de 1,32%. Elle se rapproche de la valeur rapportée par Amevor et *al.*, (2018).

### 1.3 La teneur en lipides :

Les lipides font partie des constituants majeurs des denrées alimentaires. Les lipides sont caractérisés par leur degré d'insaturation. Cette propriété contribue fortement aux propriétés nutritionnelles des aliments mais aussi détermine leur sensibilité à l'oxydation donc à leur conservation (Human et *al.*, 2006). La teneur en graisse peut également affecter la libération de la saveur (Beckett, 2000).

Les teneurs en lipides obtenues sont présentées dans la figure 21.



**Figure 21:** La teneur moyenne en lipides des différents types de chocolats analysés (%).

La figure 20 illustre les résultats de la teneur en lipides des différents échantillons analysés. Elle varie de 14,45% à 30,88%.

La teneur moyenne en lipides des chocolats noirs analysés est de 18,40%. Elle est inférieure à celle donnée par Suzuki, (2011) qui est 26,82%. Elle est également non comprise dans l'intervalle donné par Kirk, (2008) qui est de 30 à 40 %. Minifie, (1999) mentionne l'existence de chocolat de bonne qualité contenant moins de 28% de matière grasse.

Les teneurs en lipides des chocolats au lait sont dans l'intervalle 22,32- 30,88%. Teneurs inférieures à celles trouvées par Chire Fajardo et *al.*, (2016) dans les chocolats péruviens qui sont de 27,43% à 46,08%.

Pour les chocolats de glaçage, les teneurs en lipides sont de 22,96% et 26,48%. Valeurs nettement inférieurs par rapport à celles trouvées par Avinash Singh et *al.*, (2018) dans les chocolats indiens qui sont de 68,32% à 80,46%.

Les résultats d'analyses des échantillons pâtes à tartiner, donnent une teneur moyenne en lipides de 23,84%. Ce qui concorde avec les résultats de Jeyarani, (2013)(24,43%). Amevor et *al.*, (2018), donnent une valeur supérieure (44,81%) dans les pâtes à tartiner turques.

### 1.4 Composition en acide gras

La méthode classique pour l'identification des graisses et des huiles a été remplacée par une analyse de la composition en acides gras déterminée par CPG. Le procédé classique est basé sur l'identification d'une matière grasse ou d'une huile spécifique par une combinaison de son indice d'iode, de sa densité relative, de son indice de réfraction et de son indice de saponification. Les avantages de la chromatographie en phase gazeuse est qu'elle permet l'identification d'huiles ne pouvant être identifiées par les méthodes classiques, en plus d'offrir la possibilité d'identifier les proportions de différentes huiles dans un mélange. En outre, cette méthode est rapide et s'applique aussi bien aux huiles raffinées que brutes (O'Brien, 2004).

L'analyse des acides gras fournit un moyen rapide et précis de détermination de la répartition des acides gras des graisses et des huiles. Cette information est bénéfique pour tous les aspects du développement de produits, du contrôle du processus, et de la commercialisation parce que les caractéristiques physiques, chimiques, et nutritionnelles des graisses et des huiles sont influencées par les types et les proportions des acides gras constitutifs et leur position sur le glycérol (O'Brien, 2004).

En raison des préoccupations nutritionnelles croissantes et de la conscience scientifique concernant les conséquences sanitaires des acides gras saturés (AGS), des acides gras *trans* (AGT), et des acides gras essentiels (AGPI : n-3 et n-6), la composition des graisses alimentaires est d'un grand intérêt (Anwar et *al.*, 2006).

Les proportions relatives (exprimées en % des acides gras totaux) des acides gras saturés (AGS), monoinsaturés (AGMI), polyinsaturés (AGPI) et *trans* (AGT) présents dans les chocolats et pâtes à tartiner ainsi que les rapports entre les groupes d'acides gras sont rapportés dans le tableau XI. Les AG identifiés correspondent à des nombres de carbones allant de 4 (acide butyrique C4:0) à 22 (acide béhénique C22:0).

**Tableau XI:** Composition en acides gras (en % des esters méthyliques d'acides gras totaux) des chocolats et pâtes à tartiner et les rapports entre les groupes d'acides gras.

		Chocolat en tablette		Chocolat d'imitation en tablette				Chocolat d'imitation de glaçage		Pâte à tartiner		
		CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CG1	CG2	PT1	PT2	PT3
Composition en acides gras	<b>C4:0</b>	-	-	-	-	-	0,13	-	-	-	-	-
	<b>C6:0</b>	-	-	-	0,12	-	0,22	0,10	0,15	-	-	-
	<b>C8:0</b>	-	-	1,43	1,48	1,28	1,80	2,65	2,68	-	-	-
	<b>C10:0</b>	-	-	2,30	2,42	2,02	2,53	2,70	2,78	-	-	-
	<b>C12:0</b>	0,00	-	47,77	49,26	46,02	43,85	43,94	46,03	0,28	0,19	0,09
	<b>C14:0</b>	0,00	0,61	19,62	20,16	20,12	18,75	15,24	15,84	0,94	1,23	0,57
	<b>C14:1</b>	-	-	-	-	-	0,27	-	-	0,12	-	-
	<b>C15:0</b>	-	0,15	-	-	-	0,24	-	-	-	0,08	-
	<b>C16:0</b>	25,09	27,40	11,39	11,56	11,67	12,43	10,08	8,98	28,52	38,88	26,13
	<b>C16:1</b>	0,46	0,20	-	-	-	0,29	-	-	0,44	0,17	0,46
	<b>C17:0</b>	0,33	0,23	-	-	-	0,14	-	-	0,17	0,11	0,15
	<b>C18:0</b>	36,09	34,53	12,60	10,02	12,54	10,86	16,14	16,38	6,63	7,23	4,64
	<b>C18:1t</b>	-	-	-	-	-	-	2,32	2,64	-	-	-
	<b>C18:1</b>	32,99	32,24	3,76	3,45	4,39	5,40	6,15	3,08	37,52	42,52	55,50
	<b>C18:2t</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>C18:2</b>	3,11	3,06	0,94	0,98	1,10	1,17	0,67	0,66	22,39	8,27	11,47
	<b>C18:3t</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	-	-
	<b>C18:3</b>	1,33	1,33	0,18	-	0,18	0,38	-	0,15	2,10	0,24	0,35
	<b>C20:0</b>	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	0,31
<b>C20:1</b>	0,24	0,24	-	-	-	-	-	0,21	0,38	0,13	-	
<b>C22:0</b>	0,17	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-	-	
Rapports entre les principaux groupes d'acides gras	<b>AGS %</b>	61,69	62,92	95,12	95,01	93,69	92,06	90,86	92,84	36,54	47,71	31,90
	<b>AGT %</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,32	2,64	0,19	0,00	0,00
	<b>AGMI %</b>	33,69	32,69	3,76	3,45	4,39	5,69	6,15	3,29	38,34	42,83	55,96
	<b>AGPI %</b>	4,45	4,40	1,12	0,98	1,28	1,54	0,67	0,81	24,49	8,52	11,82
	<b>n-6/n-3</b>	2,34	2,30	5,22	-	5,97	3,09	-	4,38	10,65	34,25	32,61
	<b>AI*</b>	0,66	0,80	28,20	31,90	24,37	18,15	16,86	28,82	0,52	0,86	0,42
	<b>TI**</b>	3,54	3,73	21,07	24,18	18,77	13,27	13,49	21,97	1,87	2,21	1,12

\*AI = (C12:0 + (4\*C14:0) + C16:0)/(MUFA + (n-6) + (n-3)), \*\*TI=(C14:0 + C 16:0 + C18:0)/(0.5\*MUFA + (0.5\*n-6) + (3\*n-3) + (n-3/n-6))

L'identification des matières grasses utilisées dans les différents échantillons de chocolat et de pâte à tartiner selon leur composition en acides gras revient à les comparer à celle du beurre de cacao et d'autres huiles et matières grasses d'origine végétale (Annexe XI).

Les principaux acides gras présents dans la matière grasse, utilisée dans la fabrication des chocolats CT1 et CT2 sont l'acide palmitique (C16:0), l'acide stéarique (C18:0), l'acide oléique (C18:1) et l'acide linoléique (C18:2) (Tableau XI). Les teneurs enregistrées correspondent à celles du beurre de cacao rapportées par Jahurul et *al.*, (2012), qui sont de 25–33,7%, 33,7–40,2%, 26,3–35%, 1,7–3% pour l'acide palmitique (C16:0), l'acide stéarique (C18:0), l'acide oléique (C18:1) et l'acide linoléique (C18:2), respectivement. Ces acides gras représentent 98% des acides gras totaux et leur teneur varie selon le pays d'origine (Asep et *al.*, 2008). Il ressort de cette comparaison que seuls les échantillons de chocolat CT1 et CT2 sont composés exclusivement de beurre de cacao tel qu'indiqué sur l'emballage du produit. Ils « méritent » alors l'appellation « Chocolat ».

Les deux produits CT1 et CT2, commercialisés sous le nom d'ambassadeur sont produits par la chocolaterie Bimo qui fait partie du groupe Bimo Industrie Algérie. Ce dernier possède, depuis 1997, la première unité de transformation des fèves de cacao en Algérie qui alimente les autres unités telles que la Chocolaterie en poudre de cacao, beurre de cacao et masse de cacao.

Les autres échantillons analysés à savoir CT3, CT4, CT5, CT6 commercialisés sous la dénomination « végécao » et CG1, CG2 sous « végécao de glaçage » sont très riches en acide laurique (C12:0) dont la teneur varie entre 43,85% et 49,26%. Ceci suggère l'utilisation de substitut laurique de beurre de cacao (CBS). En effet, selon Talbot et *al.*, (2014), les graisses alternatives type laurique sont largement utilisées comme graisses de confiserie. Elles se caractérisent par la présence de grandes quantités d'acides laurique (45 à 55%) et myristique (15 à 20%). Lorsqu'elles sont utilisées dans des recettes de chocolat, elles sont souvent appelées substituts du beurre de cacao (CBS). Ces derniers présentent certaines similitudes physiques avec le beurre de cacao, mais chimiquement, ils sont complètement différents. Par conséquent, ils conviennent au remplacement total du beurre de cacao (Jahurul et *al.*, 2012).

Les échantillons analysés présentent également la particularité d'être riches en acide stéarique C18:0, notamment pour CG1 et CG2 avec 16,14% et 16,38%, respectivement. Ce qui ne correspond ni à la composition en acides gras de l'huile de palmiste ni à celle de coprah (Annexe). Selon Tekin et *al.*, (2002), un contenu élevé en acide stéarique suggère qu'une huile de base interestérifiée ou partiellement hydrogénée riche en acide stéarique a été mélangée à des huiles liquides pour obtenir le taux de solides désiré. Plusieurs propositions peuvent être avancées afin d'identifier le type d'huile ou graisse utilisée :

- Mélange de stéarine de palmiste hydrogénée et stéarine de palmiste. En effet, Talbot et *al.*, (2014), en comparant le profil de deux substituts de beurre de cacao lauriques à savoir la stéarine de l'huile de palmiste et la stéarine de l'huile de palmiste hydrogénée a rapporté une augmentation de la teneur en C18:0 de 2% à 11% et une diminution du C18:1 de 7% à une teneur inférieure à 0,1% avec « zéro » acides gras *trans*. L'hydrogénation de l'huile de palmiste augmente le point de fusion au-dessus de 35°C, entraînant une sensation en bouche et une fusion médiocres. Le fractionnement est la méthode alternative préférée. Les stéarines produites fondent très rapidement et ont une excellente fusion. Ces fractions sont souvent utilisées telles quelles, mais sont parfois hydrogénées pour des applications spécifiques, en particulier dans les climats chauds (Talbot et *al.*, 2014).
- Mélange d'huile de palmiste et d'huile de palme fractionnées et/ou interestérifiées par voie enzymatique (Biswas et *al.*, 2017). La composition des huiles et des graisses de triacylglycérol (TAG) est modifiée par interestérification enzymatique afin de modifier les propriétés physiques, notamment le profil de fusion, similaire à celui du beurre de cacao (CB) pour une utilisation dans des applications de confiserie. La modification chimique dans la production de ces types de TAG n'est généralement pas applicable en raison d'un déficit de spécificité de position (Biswas et *al.*, 2017).

Le profil en acides gras des pâtes à tartiner PT1, PT2 et PT3 montre de très faibles teneurs en C12:0 et C14:0, ce qui exclut la présence d'huile de palmiste et/ou de coprah. Le profil de PT2 correspond à celui de l'huile de palme (Annexe). Les échantillons PT1 et PT3 présentent une composition en acides gras qui ne correspond pas à une seule huile. Ceci

suggérerait l'utilisation d'un mélange d'huiles végétales telles que l'huile de palme et/ou ses fractions (teneur élevée en C16:0) et l'huile de tournesol (Teneur élevée en C18:1 et C18:2).

#### ❖ Acides gras mono-insaturés

Les AGMI ne provoquent pas d'accumulation de cholestérol comme le font les acides gras saturés et ne rancissent pas aussi facilement que les acides gras polyinsaturés. En outre, ils ont un effet positif sur la concentration des lipoprotéines de haute densité (HDL), transportant le cholestérol des parois des vaisseaux sanguins vers le foie, où il est dégradé par les acides biliaires, qui sont ensuite éliminés de l'organisme. En même temps, les AGMI réduisent la concentration de lipoprotéines de faible densité (LDL) qui, lorsqu'elles circulent sur l'ensemble de l'organisme, se déposent dans les vaisseaux sanguins (Markiewicz-Keszycka et *al.*, 2013).

Dans la catégorie des chocolats, ce sont les échantillons CT1 et CT2 qui présentent les teneurs les plus élevées en AGMI (32,99% et 32,24%, respectivement). Les autres échantillons (considérés comme du végécao) montrent de faibles teneurs en AGMI qui varient entre 3,08% et 6,15%.

Dans la catégorie des pâtes à tartiner, PT3 présente la teneur la plus élevée (55,50%) et PT1 la valeur la plus faible (37,52%).

#### ❖ Acides gras *trans* (AGT)

A partir du tableau, nous relevons la présence d'AG *trans* dans 2 échantillons : CG1 et CG2 (2,32% et 2,64%, respectivement).

Il existe des preuves cohérentes des effets néfastes des acides gras *trans* (AGT) d'origine industrielle sur le développement des maladies cardiovasculaires (MCV) car ils conduisent à une augmentation de lipoprotéines très athérogène, du LDL-Cholestérol et du cholestérol total et une diminution du HDL-cholestérol, cardioprotecteur. Ainsi, l'OMS recommande que l'apport en AGS et AGT devrait être limité à moins de 10% et 1% des besoins énergétiques journaliers, respectivement (Vucic et *al.*, 2015).

Environ 80% des acides gras *trans* (AGT) présents dans l'alimentation humaine proviennent d'aliments industriels, tandis que 20% proviennent du lait et de la viande de ruminants (Markiewicz-Keszycka et al., 2013).

Différentes approches ont été mises en œuvre pour réduire les quantités d'AGT dans les aliments transformés. Limiter la teneur en AGT industriels a été mise en œuvre dans certains pays, comme le Danemark depuis 2003, suivie par l'Autriche, la Suisse, l'Islande, la Norvège, la Hongrie, la Suède, et plus récemment la Lettonie et la Géorgie, tandis que d'autres ont imposé l'étiquetage obligatoire (Canada, États-Unis, le Brésil, etc.), accompagné de recommandations nutritionnelles et des programmes de sensibilisation sur les effets néfastes des AGT (Cavillo et al., 2009 ; Costa et al., 2016).

Le Danemark a établi les normes les plus rigoureuses, qui limitent la teneur en AGT dans les graisses/huiles à 2,0 g d'AGT/ 100 g. Les graisses ou les huiles contenant moins de 1 g d'AGT/100g sont considérées comme « sans AGT » (Stender et Dyerberg, 2003 ; Hernandez Martinez et al., 2011).

### ❖ Rapport n-6/n-3

Le rapport des acides gras n-6 / n-3 dans le régime alimentaire varie dans la plupart des cas entre 15:1 et 16,7:1. Cependant, il est recommandé de maintenir une proportion nettement inférieure d'acides gras n-6. Un faible rapport n-6/n-3 est plus souhaitable pour réduire le risque de nombreuses maladies chroniques à forte prévalence dans les sociétés occidentales, ainsi que dans les pays en voie de développement (Simopoulos, 2008),

Selon Simopoulos (2008), un ratio optimal en acides gras n-6/n-3 est spécifique à différentes maladies. Dans le régime alimentaire des asthmatiques, il devrait être de 5:1, un ratio de 10/1 a des conséquences indésirables. Chez les patients souffrant de polyarthrite rhumatoïde et de cancer du côlon, l'auteur recommande le rapport n-6/n-3 de 2-3:1. Le rapport le plus bas n-6 /n-3 chez les femmes atteintes d'un cancer du sein est associé à une diminution du risque. Le Comité d'experts de l'Organisation mondiale de la santé et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture a recommandé un ratio d'acides gras n-6/n-3 inférieur à 4, étant donné qu'il est relié à une réduction considérable (70%) du nombre de décès causés par des maladies cardiovasculaires (Markiewicz-Keszycka et al., 2013).

Les rapports n-6/n-3 dans les chocolats et pâtes à tartiner analysés sont présentés dans le tableau XI. Les échantillons CT1 et CT2 présentent les meilleurs rapports (2,34% et 2,3% respectivement) correspondant aux recommandations de l'OMS (n-6/n-3<4). Les pâtes à tartiner présentent les ratios les plus élevées, notamment PT2 et PT3 (34,25% et 32,61% respectivement) et ne sont donc pas en accord avec celles proposées comme étant favorables.

#### ❖ Acides gras saturés (AGS)/Indices athérogènes (AI) et thrombogènes (TI)

Actuellement, on pense que l'augmentation de la concentration sanguine de LDL, processus important dans la formation des athéromes, n'est pas attribuable à tous les acides gras saturés. En effet, une alimentation riche en acides gras à courte chaîne (C<10) ou en C18:0 n'augmente pas la cholestérolémie. Les acides gras saturés incriminés sont les acides laurique C12:0, myristique C14:0 et palmitique C16:0. Les acides gras saturés thrombogènes seraient ceux à longue chaîne (C14:0, C16:0 et C18:0) (Ulbricht et Southgate, 1991 ; Markiewicz-Keszycka et *al.*, 2013).

C'est dans cette optique qu'Ulbricht et Southgate, (1991) ont proposé des indices athérogènes (AI) et des indices thrombogènes (TI). Sur la base des valeurs AI et TI, des conclusions peuvent être tirées concernant la qualité de la matière grasse dans l'alimentation humaine.

Dans la catégorie des chocolats, les échantillons PT1 et PT2 présentent les plus bas et meilleurs indices AI et TI avec des moyennes de 0,73 et 3,63 respectivement. Les autres échantillons présentent des indices très élevés variant entre 16,86 et 31,90 pour l'indice athérogène (AI) et entre 13,49 et 24,18 pour l'indice thrombogène (TI).

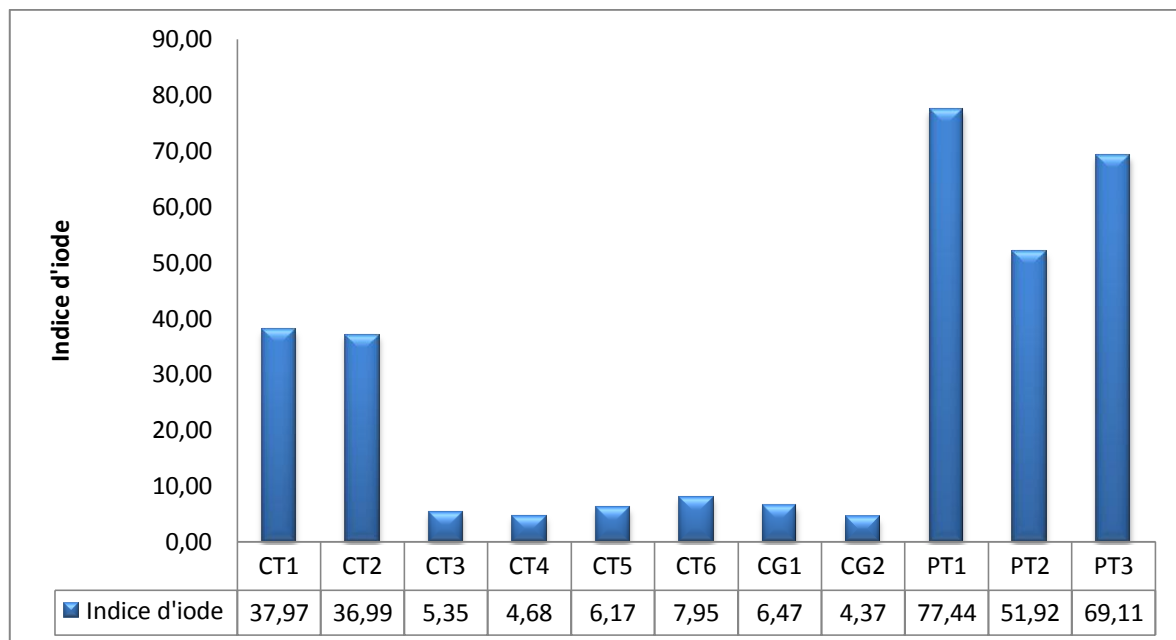
Les pâtes à tartiner présentent de meilleurs rapports que les chocolats. Les valeurs varient entre 0,42 et 0,86 pour l'indice athérogène (AI) et entre 1,12 et 2,21 pour l'indice thrombogène (TI).

## 2. Les indices de qualité

### 2.1 L'indice d'iode :

L'indice d'iode indique le nombre de doubles liaisons ou le degré d'insaturation globale des lipides. Cet indice renseigne sur le degré d'oxydation des huiles, donc, sur leur stabilité oxydative (Vinaixa et *al.*, 2005).

L'indice d'iode des chocolats est représenté dans la figure 22.



**Figure 22:** L'indice d'iode des différents types de chocolat analysées.

La figure 22 représente les résultats d'indice d'iode des échantillons analysés. Les valeurs obtenues sont de 4,37% à 69,11%.

L'analyse de la variance  $p \leq 0.05$  révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les marques de chocolats analysées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer trois (03) groupes homogènes (figure 22).

Dans la catégorie des chocolats, CT1 et CT2 présentent les indices d'iode les plus élevés (37,97 et 36,99, respectivement). Ils correspondent aux valeurs mentionnées par Jahurul et *al.*, (2012) qui varient entre 34,74 et 37,94 pour le beurre de cacao selon le pays d'origine. Afoakwa et *al.*, (2014), rapportent qu'un indice d'iode de 33-34 signifie que le beurre de cacao est de consistance légèrement dure.

Les autres échantillons de chocolat montrent des valeurs d'indice d'iode très faibles, témoignant de leur richesse en acides gras saturés. En effet, le profil en acides gras a révélé des teneurs variant entre 90,89% et 95,12% d'AGS.

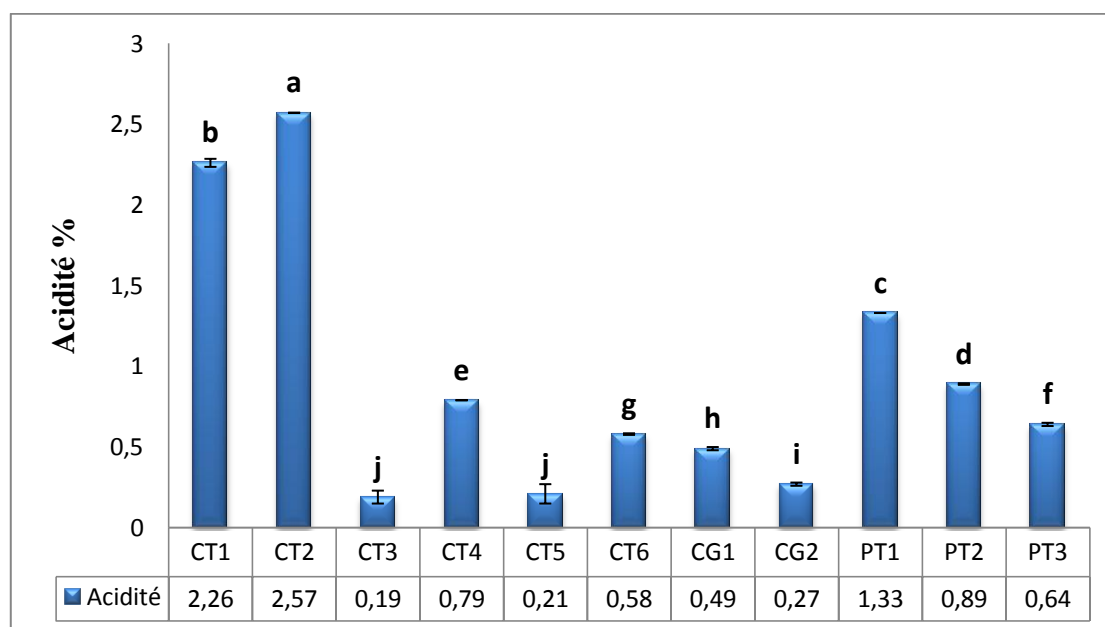
Dans la catégorie des pâtes à tartiner, PT2 présente un indice d'iode de 51,92 correspondant à celui de l'huile de palme qui varie entre 50 et 55 (Codex, 1995).

## 2.2 L'acidité de la matière grasse :

L'acidité est un moyen de mesure du degré d'altération hydrolytique d'une huile ; elle permet de mettre en évidence une hydrolyse ; néanmoins, cette hydrolyse ne prévoit pas le degré d'oxydation ou de polymérisation des AG (Kpovissi et *al.*, 2004).

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.*, 2014).

L'acidité de la matière grasse des chocolats analysés est représentée dans la figure 23.



**Figure 23 :** L'acidité de la matière grasse des échantillons des chocolats analysés(%).

La figure 23 illustre les résultats d'analyse du taux acidité des différents échantillons de chocolats. Les valeurs varient de 0.19 à 2,57%. L'analyse de la variance  $p \leq 0.05$  révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les marques de chocolats

analysées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer dix (10) groupes homogènes figure 23.

La plupart des échantillons analysés (sauf CT3, CT5, CG2) montrent une acidité supérieure à celle mentionnée par Yadav *et al.*, (2011) qui est de 0.35%. Cependant, elles restent inférieures à la limite maximale tolérée (3%) (Ranganna, 2005).

CT1 et CT2 affichent les valeurs les plus élevées (2,66% et 2,57%, respectivement). Selon Afoakwa *et al.*, (2011), l'acidité dans le beurre de cacao est influencée significativement par l'activité microbienne et celle de la lipase endogène présents dans les fèves de cacao.

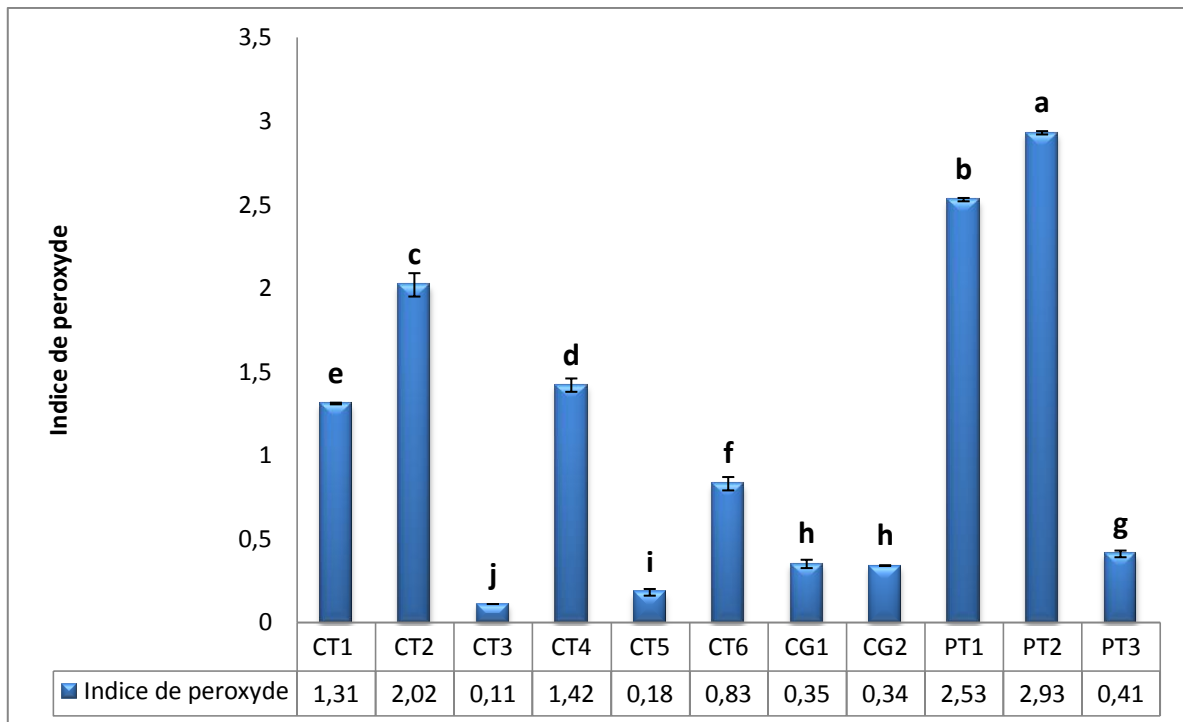
Selon Jahurul *et al.*, (2016), la teneur en acides gras libres est influencée par la température et la durée de stockage, l'humidité relative et le type d'emballage.

### 2.3 L'indice de peroxyde :

L'oxydation des lipides est la cause majeure de leur détérioration. Les hydroperoxydes formés sont les principaux produits de cette réaction. Ils n'ont ni saveur ni odeur, mais se décomposent rapidement pour former des aldéhydes, qui ont, une saveur et une odeur fort désagréables. La concentration en peroxydes, habituellement exprimée en indice de peroxyde, est une mesure de l'oxydation ou du rancissement à ses premières étapes. L'indice de peroxyde est un des tests chimiques les plus couramment utilisés pour la détermination de la qualité des graisses et des huiles (O'Brien, 2004).

L'oxydation des lipides est la principale cause de détérioration et de développement de saveur indésirable dans le chocolat. La valeur de peroxyde est un indicateur majeur de l'oxydation lipidique (Antonio, 2003).

L'indice de peroxyde des chocolats est représenté dans la figure 24.



**Figure 24:** L'indice de peroxyde de différents types de chocolats analysés.

La figure 24 illustre les résultats d'indice de peroxyde des différents échantillons analysés. L'analyse de la variance  $p \leq 0.05$  révèle l'existence d'une différence très hautement significative entre les marques de chocolats étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer dix (10) groupes homogènes.

Pour ce paramètre les valeurs obtenues varient entre 0,11 et 2,93mécq d'O<sub>2</sub>/Kg. Nos résultats se rapprochent de ceux donnés par Yadav et *al.*, (2011) (0,55-2,20 méq d'O<sub>2</sub>/Kg).

Selon Yadav et *al.*, (2011), la différence entre les valeurs d'indice de peroxyde peut s'expliquer par la durée de stockage, l'humidité relative et le type d'emballage.

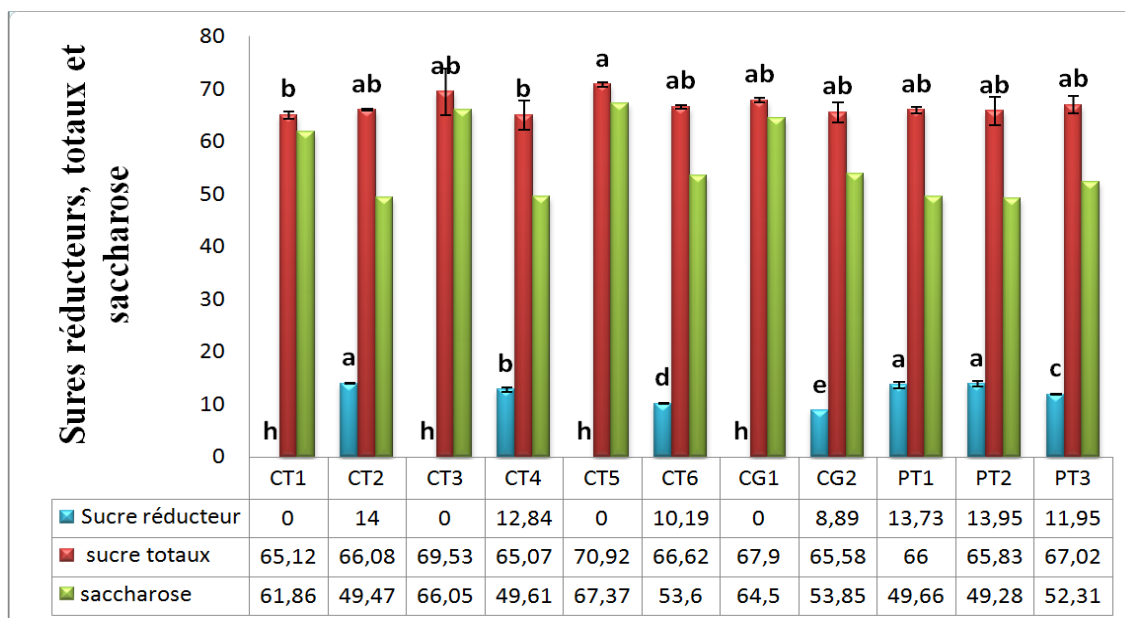
Les résultats de mesure de l'indice de peroxyde sont inférieurs à 10 méq d'O<sub>2</sub>/Kg de matière grasse indiquant que les altérations liées à la dégradation des lipides en sont encore au stade initial (Mattisek et *al.*, 1998).

### 3. Les sucres totaux, réducteurs et saccharose :

Les sucres sont les constituants déterminant le goût sucré d'un aliment, notamment le chocolat ; les sucres apportent une grande valeur énergétique. En plus, ils jouent un rôle

essentiel dans la conservation des produits alimentaires grâce, d’une part, à la pression osmotique qu’ils exercent sur les microorganismes, et l’abaissement de l’activité de l’eau de l’aliment, d’autre part.

La figure 25 représente les taux de sucres réducteurs, sucres totaux et le saccharose.



**Figure 25** : Taux de sucres réducteurs et sucres totaux et le saccharose des échantillons analysés.

En ce qui concerne les sucres totaux, l’analyse de la variance  $p \leq 0.05$  révèle l’existence d’une différence hautement significative entre les marques de chocolats étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer trois (03) groupes homogènes.

La teneur moyenne en sucres totaux des chocolats noirs analysés est 68,52%. C’est le composant majoritaire. Ce qui se rapproche des valeurs données par Suzuki et *al.*, (2011) dans les chocolats brésiliens (64,56 %) et par Torres-Moreno et *al.*, (2015) dans les chocolats espagnols (58–60 %). La teneur moyenne en sucres totaux des chocolats de glaçage est 66,74% ; valeurs nettement supérieures à celles donnés par Avinash Singh (2018) (34,64%).

Pour les pâtes à tartiner, le taux moyen en sucres totaux est de 66,29%. Il est supérieur à celui donnée par Amerov et *al.*, (2018) dans les produits ghanéens (41,36%).

En ce qui concerne les sucres réducteurs, l’analyse de la variance  $p \leq 0.05$  révèle l’existence d’une différence très hautement significative entre les marques de chocolats

étudiées. Le test de comparaison des moyennes permet de distinguer six (06) groupes homogènes.

Les sucres réducteurs trouvés dans tous les échantillons excepté les chocolats noirs (CT1, CT3, CT5, CG1) pourraient provenir de l'utilisation de la poudre de lait, riche en lactose (sucre réducteur).

#### 4. Apport énergétique

Selon l'OMS (2018a), l'adoption d'un régime alimentaire sain pendant toute la durée de la vie contribue à prévenir toutes les formes de malnutrition, ainsi qu'un grand nombre de maladies et pathologies non transmissibles. Mais la production croissante d'aliments transformés, l'urbanisation rapide et l'évolution des modes de vie ont provoqué un changement des habitudes alimentaires. Les gens consomment désormais davantage d'aliments très caloriques, riches en graisses, en sucres libres ou en sel/sodium, et beaucoup ne mangent pas suffisamment de fruits, de légumes et de fibres alimentaires, comme celles apportées par les céréales complètes.

L'apport énergétique total représente la somme de tous les kilojoules/Calories consommés quotidiennement sous la forme d'aliments et de boissons. Cette énergie provient de macronutriments tels que les lipides (9 kcal/37,7 kJ par gramme), les glucides (4 kcal/14,7kJ par gramme), les protéines (4 kcal/16,7 kJ par gramme) et l'éthanol (c'est-à-dire l'alcool) (7kcal/ 29,3 kJ par gramme). Pour calculer l'apport énergétique total on multiplie ces facteurs énergétiques par le nombre de grammes de chaque catégorie d'aliment et de boisson consommée et on en fait la somme. Le pourcentage de l'apport énergétique total représente donc le pourcentage du nombre total de Calories/kilojoules consommé quotidiennement (OMS, 2015). On considère qu'une personne de poids normal consomme environ 2000 Calories par jour (OMS, 2018a).

La figure 26 représente l'apport énergétique des échantillons analysés en kilocalories/100g de produit.



graisses saturées à moins de 10% et des acides gras *trans* à moins de 1% des apports énergiques totaux et en les remplaçant dans les 2 cas par des graisses insaturées.

Il faut retenir que le surpoids ou l'obésité, est un facteur de risque majeur pour certaines maladies chroniques comme les maladies cardiovasculaires (principalement les cardiopathies et les accidents vasculaires cérébraux), qui étaient déjà la première cause de décès en 2012; le diabète; les troubles musculo-squelettiques, en particulier l'arthrose – une maladie dégénérative des articulations, très invalidante, certains cancers (de l'endomètre, du sein, des ovaires, de la prostate, du foie, de la vésicule biliaire, du rein et du colon) (OMS, 2018b).

On associe à l'obésité de l'enfant un risque accru de décès prématuré et d'incapacité à l'âge adulte. Mais, en plus de ces risques pour l'avenir, les enfants obèses peuvent avoir des difficultés respiratoires, un risque accru de fractures, une hypertension artérielle, une apparition des premiers marqueurs de maladie cardiovasculaire, une résistance à l'insuline et des problèmes psychologiques (OMS, 2018b).

Concernant les risques sur la santé bucco-dentaire, l'Anses, (2016) rappelle que la relation entre la consommation de sucres et la carie dentaire est aujourd'hui démontrée.

Ce travail effectué au niveau de différents laboratoires à savoir : le laboratoire physico-chimique de Technologie Alimentaire du département sciences biologiques et agronomiques (UMMTO), et le laboratoire d'analyses instrumentales (ENSA) nous a permis d'approfondir nos connaissances pratiques en matière de contrôle de la qualité, par une contribution à une étude comparative basée sur les analyses physico-chimiques de onze (11) produits de chocolats, chocolats d'imitation et pâtes à tartiner (codées CT1, CT2, CT3, CT4, CT5, CT6, CG1, CG2, PT1, PT2, PT3).

Les résultats des paramètres physico-chimiques (teneur en eau, taux de cendres, et teneur en sucres) ont révélé que les produits analysés sont pour la plupart comparables aux travaux de nombreux auteurs.

L'analyse chromatographique (CPG) a permis la classification des différents chocolats analysés selon leur composition en acides gras et l'identification du type de graisse ou l'huile utilisé. Elle a également permis l'estimation de la qualité nutritionnelle des principaux acides gras :

- Les chocolats CT1 et CT2 sont à base de beurre de cacao, riche en acide palmitique C16:0, stéarique C18:0 et oléique C18:1.
- Les chocolats d'imitation (Végécao) CT3, CT4, CT5, CT6, CG1 et CG2 sont à base de substitut laurique de beurre de cacao (CBS), riches en acide laurique C12:0 et myristique C14:0. Les chocolats d'imitation CG1 et CG2 contiennent des acides gras *trans*.
- La pâte à tartiner PT2 est à base d'huile de palme.
- Les pâtes à tartiner PT1 et PT3 présentent une composition en acides gras qui ne correspond pas à une seule huile. Ceci suggérerait l'utilisation d'un mélange d'huiles végétales telles que l'huile de palme et/ou ses fractions et l'huile de tournesol.

Tous les produits analysés dépassent les apports nutritionnels conseillés (ANC) en saccharose par l'OMS, (2018) qui sont de 600 kcal/jour (10% de l'AET). De plus, les lipides apportent environ un tiers (1/3) des ANC (30% AET).

Suite aux résultats obtenus et en considérant la thématique de notre étude, il nous semble intéressant d'approfondir le présent travail en prenant en compte les aspects suivants :

- Une analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) afin d'examiner les structures moléculaires et permettre une meilleure identification des configurations *cis* et *trans*.
- Une analyse statistique en composante principale (ACP) pour mettre en évidence l'influence et les interactions existantes entre les différents paramètres étudiés.
- Une étude similaire et approfondie d'autres types de chocolat en tablette et de glaçage, pâte à tartiner.

## Références bibliographiques

---

### A

Afoakwa, E. O., Ofosu-Ansah, E., Takrama, J. F., Budu, A. S. and Mensah-Brown, H, 2014. Changes in chemical quality of cocoa butter during roasting of pulp preconditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans, pp: 2221-2227.

Afoakwa, E.O., Quao, J., Takrama, J., Budu, A. S., and Saalia, F. K, 2013a. Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, pp: 1097-1105.

Afoakwa, O. E., Quao, J., Takrama, J., Budu, S. A. And Saalia, K. F. 2011a. Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food Science and Technology*, pp: 67-75.

Alais C, Linden G, Miclo L. *Biochimie alimentaire*. Paris. Editions Dunod. 2008. 272 Pages.

Albanel S. Cinq questions sur le chocolat. *Bien être et santé*, 1999-2000, 167, 10.

Allain. P. *les médicaments : Eicosanoïdes*, 3<sup>ème</sup> édition, CdM éditions, pp 1-500, 2000

Alliot Christophe., Cortin Matthias., Feig-Muller Marion et Ly Sylvain, 2016. *La face cachée du chocolat ; BASIC P2*.

Alonso L., Fraga M.J., Juarez M., 2000. Determination of trans fatty acids and fatty acid profiles in margarines marketed in Spain. J9141 in *JAACS* 77, pp 131-136.

Amevor, P.M., Laryea, D and Barimah, J., 2018. Sensory evaluation, nutrient composition and microbial load of cashew nut–chocolate spread. *and Analysis*, pp: 479–484.

Anonyme, 1984. *La confiserie. Il était une fois le chocolat, nourriture des Dieux*, pp: 246.

ANSES, 2013. *Ciqual table de composition nutritionnelle des aliments*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, pp : 1-180.

ANSES, 2016. *Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles*. Avis de l'Anses Rapports d'expertise collective. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, pp : 1-196.

Antonio V, 2003. Browning of white chocolate during storage. Bearden MM, Miqule ME.

## Références bibliographiques

---

Anwar F., Bhangar M.I., Iqbal S., Sultana B., 2006. Fatty acid composition of different margarines and butters from Pakistan with special emphasis on trans unsaturated contents. *Journal of food quality*, pp: 87-96.

Arvy, m.p., Gallouin f., 2003. *Épices, aromates et condiments*, pp: 412.

Asepa, E. K. Jinapa, T.J. Tana, A.R. Russly, S. Harcharanb, S.A.H. Nazimaha , 2008. The effects of particle size, fermentation and roasting of cocoa nibson supercritical fluid extraction of cocoa butter; pp: 450–458.

Singh, A., Sameem, M., Jaiswal, M and Yadav, M., 2018. Efficacy of white chocolate couverture in mewa malai kulfi Popsicle, pp: 526-531.

### B

Bankoff, L., Ouattara, G. H., Karou, T. G., Guehi, S. T., Nemlin, J. G., and Diopoh, J. K. (2014). Impacts de la fermentation du cacao sur la croissance de la flore microbienne et la qualité des fèves marchandes. *Agronomie Africaine*, pp:159-170.

Barel, M. 1998. Fermentation of cocoa: the way of its estimation and control. *Revue des Industries Alimentaires et Agricoles*, pp : 211-214.

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

Baylin, A., Siles X., Donovan-Palmer A., Fernandez X., Campos H., 2007. Fatty acid

Beckett, S.T. (2009). *The Science of Chocolate*. Royal Society of Chemistry Paperbacks.

Beckett, S.T., (2000). *The Science of Chocolate*. Royal Society of Chemistry Paperbacks.

Beckett, S.T. (2009). *Industrial Chocolate Manufacture*, pp: 720.

Berg J et al. *Biochimie*. 6e ed. Paris. Editions Flammarion Medecin-Sciences; 2008. 1104 pages.

Beuzard M, 2003. *Le chocolat Sci.vie*, pp : 136-151.

Biswas N, Yuen Lin Cheowa, Chin Ping Tanb, Lee Fong Siow; 2017. Physical, rheological and sensorial properties, and bloom formation of dark chocolate made with cocoa butter substitute (CBS), pp: 420-428.

## Références bibliographiques

---

- Bloomer, S. D., Brazier K, T, S., Bond, I. A., 1990. 21<sup>st</sup> Inter. Cosmic Ray Conf. pp: 2-91.
- Bonaparte, A., Alikhani, Z., Madramootoo, C. A., and Raghavan, V. (1998). Some quality characteristics of solar-dried cocoa beans in St Lucia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, pp: 553-558.
- Borel J.P. *Biochimie dynamique*. Maloine, Paris, 1987.
- Bouet, C, 1977. Bettié et Akiékrou: Etude comparée de deux terroirs en zone forestière ivoirienne (No. 13). IRD Edition.
- Braudeau, J, 1969. *Le cacaoyer*. Editions : Maisonneuve et Larose.
- Brenckmann F. *Graines de vie*. Paris: Arthaud, 1997.- 160p.
- Brieu S. *Chocolat : de la jungle équatoriale aux instituts de beauté*, pp2-25. *National geographic France* n°38, novembre 2002.
- Brunetto M.R., Gutierrez L., Delgado Y., Galignani M., Zambrano A., Gomez A., Ramos G., Romero C. Determination of theobromine, theophylline and caffeine in cocoa samples by a HPLC method with on-line sample cleanup in a switching-column. *Food Chemistry*, 2005.
- C**
- Campos M.G.R., Bogdanov S., Almeida-Muradian L.B., Szczesna T., Mancebo Y., Frigerio C., Ferreira F., 2008. Pollen composition and standardization of analytical methods. *J. Apicultural Research and Bee World*, pp: 156-163.
- Caobisco, 2017. *La consommation de chocolat dans le monde en 2017*. *Chocolate, Biscuits & Confectionery Of Europe*.
- Cavillot V., Pierart C., Kervyn De Meerendré M., Vincent M., Paquot M, Wouters J., Deroanne1 D., et Danthine S., 2009. Physicochemical properties of European bakery margarines with and without trans fatty acids. *Journal of Food Lipids*, PP: 273–286.
- Chaveron H, 2003. Problèmes posés par la recherche et le dosage des matières grasses végétales (MGV) dans le chocolat Oléagineux, *Corps Gras, Lipides*, pp : 10
- Fajardo, C., Arrunategui, R.A.V., Rivera, C.A.O and Peralta, M.O.U., 2016. Assessment of physical and physicochemical quality of main chocolates traded in Peru.
- Chocosuisse, 2008. *L'industrie suisse du chocolat au passé et au présent*.

## Références bibliographiques

---

Codex Alimentarius, 1995. General Standard for food additives. Codex Stan 192.

Constant c, 1999. Du chocolat; discours curieux Paris: Ramsa, pp: 127.

Cook, L. R. (1982). Chocolate production and use. E. H. Meursing (Rev.). Harcourt Brace Jovanovic, pp: 185-187.

Corler B, 1992. Le chocolat : Fabrication, composition, valeur nutritionnelle, sa place dans l'alimentation humaine.

Costa N., Cruz R, Graça P., Breda J d, Casal S., 2016. Trans fatty acids in the Portuguese food market. Food Control, pp: 128-134.

Counet C., Callemien D., Collin S. Chocolate and cocoa: New sources of trans-resveratrol and trans-piceid. Food Chemistry, 2005.

### D

Daverio S., 2005. Le chocolat dans tous ses états. Thèse de doctorat en pharmacie. Université Henri Poincaré. pp : 163.

de Brito E. S., García N. H. P., Gallão M. I., Cortelazzo A. L., Fevereiro P. S. and Braga M. R., 2001. "Structural and chemical changes in cocoa (*Theobroma cacao* L) during fermentation, drying and roasting." Journal of the Science of Food and Agriculture, pp: 281-288.

De Vuyst, L., Lefeber, T., Papalexandratou, Z., Camu, N. (2010). The functional role of lactic acid bacteria in cocoa bean fermentation. Biotechnology of Lactic Acid Bacteria: novel applications, pp: 301-325.

Delattre, A. S., 1995. Lechocola, Th: Ph: Angers, pp: 69-121.

DGVSEES, 2013. La filière chocolat et biscuits en repli face à l'explosion des importations. Bulletin de veille n°73. Volume 1. Direction Générale de la Veille Stratégique, des Etudes Economiques et des Statistiques. Ministère de l'Industrie, de la Petite et Moyenne Entreprise et de la Promotion de l'investissement, pp : 1-4.

Di Tomaso E., Beltramo M., Piomelli D. Brain cannabinoïds in chocolate. Nature, Vol. 382, pages 677-678, 1996

## Références bibliographiques

---

Dias, D. R., Schwan, R. F., et Lima, L. C. O, 2003. Metodologia para elaboração de fermentado de cajá (*Spondias mombin* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, pp: 23-350.

Djedjro, C. A., Assidjo, N. E., Yao, B, 2008. Effet des dispositifs de séchage à l'air libre sur la qualité des fèves de cacao bord champ. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, pp : 45-48.

Doyle, M. P., Beuchat L. R., Montville T. J. (2001). 2<sup>nc</sup> Eds. *Cocoa and coffee. Food Microbiology*, pp: 720- 733.

### F

Favier J.C. *Répertoire général des aliments. Tables de composition*. Lavoisier, Paris, 1995.

Feinberg M. *Répertoire général des aliment. Tables de comparaison des corps gras*. Lavoisier, Paris, 1987.

Fleaux-Mulot R., Arnaud B., Jean-Baptiste P., Larousserie D et Souccar T. *Chocolat : cinq raisons d'en croquer*. *SCIENCES ET AVENIR* n°683, janvier 2004, 44-46.

### G

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

Greenfield H., Southgate D.A.T., 2007. *Données sur la composition des aliments*

Guehi, S. T., Dabonne, S., Ban-Koffi, L., Kedjebo, D. K., Zahouli, G. I. B. (2010). Effect of turning beans and fermentation method on the acidity and physical quality of raw cocoa beans. *Advance Journal of Food Science and Technology*, pp: 163-171.

### H

Hachiya, T., Koyano, T. and Sato, K. (1989a) Seeding effects of solidification behavior of cocoa butter and dark chocolate: I Kinetics of solidification. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 66, 1757-1762.

Hachiya, T., Koyano, T. and Sato, K. (1989b) Seeding effects of solidification behavior of cocoa butter and dark chocolate: II Physical properties of dark chocolate. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 66, 1763-1770.

Hall L.D, 2000. Health benefits of Procyanidins in chocolate and cocoa. *Health Benefits, Physiol. Effects and Chem*. Pp: 177-186.

## Références bibliographiques

---

Harwich N, 1992. Histoire du chocolat. Des jonquées.

Harwich N, 2008. Histoire du chocolat. Paris. Les éditions Desjonqueres. 1ère édition, pp : 312.

Henderson JS, Joyce RA, Hall GR, Hurst WJ, Mc Govern PE, 2007. Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages. *Proc. Nat. Acad. Scien.*, 48, 18837-18940.

Hernandez-Martinez , M., Allard-Velazquez T., Osorio-Revilla G., 2011. Fatty Acid Profile Including Trans Fatty Acid Content of Margarine Marketed. *J Am Oil Chem Soc*, pp 1485–1495.

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

Hill A J., Heaton-Brown L, 1994. The experience of food craving: a prospective investigation in healthy women *J. Psychosom. Res*, pp : 801- 814.

Hlin, S., 2001. Le chocolat: un aliment, une drogue pp : 7-69.

Human H., Nicolson S.W., 2006. Nutritional content of fresh, bee-collected and stored pollen of *Aloegreatheadii* var. *davyana* (Asphodelaceae). *Phytochemistry*, pp :1486–149.

Hütz-Adams, F., Huber, C., Irene, K., Morazán, P., Mürlebach, M., 2016. Renforcer la compétitivité de la production de cacao et augmenter le revenu des producteurs de cacao en Afrique de l’Ouest et en Afrique centrale. SÜDWIND avec le soutien financier du Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement, pp : 11-12.

## I

ICCO, 2018. Les principaux pays producteurs de fèves de cacao dans le monde. International Cocoa Organization.

ISO 3960, 2008. Corps gras d’origine animale et végétale- Détermination de l’indice de peroxyde- Détermination avec point d’arrêt iodométrique.

ISO 660, 2008. Corps gras d’origine animale et végétale- Détermination de l’indice d’acide et de l’acidité.

## Références bibliographiques

---

ISO, 6884, 2008. Détermination du taux de cendres. Corps gras d'origines animale et végétale, pp : 12-15.

### J

Jacquet, M., Vincent, J. C., Halm, J., Lotode, R. (1980). Le séchage artificiel des fèves de cacao. *Café Cacao Thé*, pp: 43- 56.

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

Jannel-oudot, M et Mislér, L., 1997. Cacao et santé: quels sont les effets de la consommation du cacao sur la santé.

JCAM, 2007. Quantitative Analysis of Sucrose in Confectionary.

Jeyarani, T., Banerje, T., Ravi, R., Gopala Krishna, A.G., 2013. Omega-3 fatty acids enriched chocolate spreads using soybean and coconut oils, pp: 1082–1088.

Jyothi DPT, 2003. The chocolate story: No clear norms on storage. The Hindu Group of publications.

### K

Karabulut I., Turan S., 2006. Some properties of margarines and shortenings marketed in Kennedy, A. J. (1995). Cacao *Theobroma cacao* (Sterculiaceae). In: Longman, London. Evolution of Crops. pp: 472-475.

Kirk, R., Sawyer, R., and Egan, H, 2008. Composición y análisis de alimentos de Pearson. Novena reimpression. Grupo Editorial Patria (Eds.), pp:773.

Kouakou, B. J., Irie, B. Z., Dick, E., Nemlin, G., et Bomisso, L. E. (2013). Caractérisation des techniques de séchage du cacao dans les principales zones de production en côte d'Ivoire et détermination de leur influence sur la qualité des fèves commercialisées. *Journal of Applied Biosciences*, pp: 4797-4812.

Kpovissi D.S., George C., Accrombessi., Kochooh C., Mohamed M., Soumanau et Moudachirou M, 2004. Propriétés physicochimiques et composition de l'huile non

## Références bibliographiques

---

conventionnelle de pourghère (jatropha-curca) de différentes régions du benin, pp : 1007-1012.

Kris-Etherton P.M., Derr J., Mitchell D.C., Mustad V.A., Russell M.E., Mc Donnell E.T., Salabsky D., Pearson T.A. the role of fatty acid saturation on plasma lipids, lipoproteins and apolipoproteins : I. Effects of whole food diets high in cocoa butter, olive oil, soybean oil, dairy butter and milk chocolate on the plasma lipids of young men. *Metabolism*, 1993, 42, 1, 121-129.

### L

Lainé, K, 2001. Survey of farming practices on farms in Côte d'Ivoire Field study. *Development*, pp: 1-28.

Lairon D., Borel P. La régulation nutritionnelle des enzymes de la digestion des lipides. *Cah. Nut. Diét.*, 1989, XXIV, 6, 413-423.

Lanaud Cl., Motamayor J.C., Sounigo O. Cacao Genetic diversity of cultivated tropical plants, Cirad, 2003.

Lanteaume M.T., Ramel P., Dumain J. Contribution à l'étude de la valeur nutritionnel des protides du cacao. *Ann. Nutr. Aliment.*, 1972, 26, 197-208.

Lerno, j.f, 1992. Le chocolat: des vertus thérapeutiques à la «chocolatomanie» pp : 136.

Letha T., Bysteda A., Hansenb K., Ovesen L., 2003. Trans FA Content in Danish.

Lillah, M.Sc, PhD, Ali Asghar, Ghulam Murtaza, PhD, Maratab Ali, PhD., 2017. Improving heat stability along with quality of compound dark chocolate by adding optimized cocoa butter substitute (hydrogenated palm kernel stearin) emulsion. *LWT - Food Science and Technology*, pp: 1-19.

Lostalot J., Paccalin J., 1980. Le chocolat, aliment des dieux, pp : 131- 137.

### M

MaCrae, R.R., et Costa, P. T., Jr. (1985c). Updating Norman's "adequate taxonomy": Intelligence and personality dimensions in natural language and in questionnaires. *Journal of Personality and Social Psychology*, pp: 710-72.

## Références bibliographiques

---

- Mankiewicz-Kęszycka, M., Czyżak-Runowska, G., Lipińska, P., et Wójtowski, J., 2013. Fatty acid profile of milk - a review. *Bull. Vet. Inst. Pulawy*, pp: 135-139.
- Marcus D.A. A double-blind provocative study of chocolate as a trigger of headache cephalalgia, 1997, 17 (8).855-862.
- Martin C.A., Carapelli R., Visantainer J.V., Matsushita M., Evelazio de Souza N., 2005.
- Martin R A, 1987. Chocolate. *Adv. Food Res*, pp: 211- 342.
- Massey L.K., Roman-Smith H., Sutton R.A. Effecte of dietary oxalate and calcium on urinary axalate and risk of formation of calcium oxalate kidney stones. *J Am. Diét. Assoc.*, 1993, 93, 8, 901-906.
- Mattisek R, Schnepel FM, Steiner G, 1998. Análisis de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza.
- Max B. This and that : chocolate addiction, the dual pharmacogenetics of asparagus eaters, and the arithmetic of freedom. *Trends pharmacol. Sci.*, 1989, 10, 390-393.
- McFadden C, France C., 1999. *Le grand livre du chocolat*, pp : 253.
- Melzig M., Putscher I., Henklein P., Haber H. In vitro pharmacological activity of the tetrahydroisoquinoline salsolinol present in products from *Theobroma cacao* L. like cocoa and chocolate. *Journal of Ethnopharmacology*, 73, pages 153-159, 2000.
- Minifie, B, 1999. *Chocolate, cocoa and confectionery. Science and Technology. Third Edition.* Aspen Publishers, Inc. (Eds.), pp: 826.
- Monneret-Vautrin D.A. Les fausses allergies alimantaires. *Cah. Nutr. Diét.*, 1984, XIX, 5, 291-296.
- Mossu, G, 1990. *Le cacaoyer : le technicien d'agriculture tropicale.* Institut de Recherches de Café et du Cacao.
- Multon, L.J, 1992 .*Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires. .* Edition TEC & DOC Lavoisier, Paris, pp: 1-34.

## N

- Nguyen N.U., Henrirt M.T., Dumoulin G., Widmer A., Regnard J. Increase in calciura and oxaluria after a single chocolate bar load. *Horm. Metab. Res.*, 1994, 26, 8, 383-386.

## Références bibliographiques

---

### O

O'Brien R.D. 2004. Fats and oils: formulating and processing for applications. . Ed: CRC Press, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York. PP: 744.

Ovesen L., Letha T., Hansen K., 1998. Fatty acid composition and contents of trans monounsaturated fatty acids in frying fats, and in margarines and shortenings marketed.

### P

Papalexandratou, Z., Vrancken, G., De Bruyne, K., Vandamme, P., & De Vuyst, L, 2011b. Spontaneous organic cocoa bean box fermentations in Brazil are characterized by a restricted species diversity of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria. Food Microbiology, pp: 1326-1338.

Paris R.R., Moyse H. Précis de matière médicale.- 2e ed. Paris: Masson, 1981.- tome 2.- 518p.

PNNS. Rapport du groupe de travail PNNS sur les glucides partie 2. PNNS; 2007.

Pontillon J., 1998. Cacao et le chocolat : production, utilisation, caractéristiques. Edition TEC et DOC, pp: 638.

### R

Rambali B., Van Andel I., Schenk E., Wolterink G., Van De Werken G., Stevenson H., Vleeming W. The contribution of cocoa additive to cigarette smoking addiction. RIVM report, 207 pages, 2002.

Ranganna, 2005. Handbook of Analysis of Quality Control of Fruit and Vegetable Products.

Richard D., Senon JL. Dictionnaire des drogues, des toxicomanies et des dépendances. Paris: Larousse, 1999.- 433p.

Richter E.K., Shawish K.A., Scheeder M.R.L., Colombani P., C., 2009. Trans fatty acid content of selected Swiss foods: The Trans Swiss Pilot study. Journal of Food Composition and Analysis 22, pp 479–484.

Robert A., 2002. Le chocolat: les carnets gourmands : Du Chêne, pp : 126.

Roberth, L., 1990. Les vertus thérapeutiques du chocolat, pp : 231.

## Références bibliographiques

---

Rogers P.J., Smit H.J. Food Craving and Food “Addiction”: A Critical Review of the Evidence From a Biopsychosocial Perspective. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, Vol. 66, No. 1, pages 3 à 14, 2000.

### S

Saunders D., Jones S., Devane G.J., Scholes P., Lake R.J., Paulin S.M., 2008. Trans fatty acids in the New Zealand food supply. *Journal of Food Composition and Analysis* 21, pp: 320 – 325.

Schwan, R.F., Wheals, A.E. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, pp: 205-221.

Sharif, K.M., Omar, A.K, 2012. Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics, pp: 320 – 325.

Simopoulos, A.P., 2008. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp Biol Med (Maywood, NJ)* , pp: 674–688.

Steinberg F.M., Bearden M.M., Keen C.L. Cocoa and chocolate flavonoids : Implications for cardiovascular health. *Journal of THE AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION*, **103**, pages 215-223, 2003.

Stender, S. et Dyerberg, J., 2003. The influence of trans fatty acids on health Fourth edition. A report from the Danish Nutrition Council. ISSN, PP: 39-61.

Suzuki R.M., Fernandes montanher, P., Visentainer, J.V., Evelázio de Souza, N., 2011. Proximate composition and quantification of fatty acids in five major Brazilian chocolate brands, pp: 541-546.

### T

Tablot G, 2011. Reducing saturated fat in chocolate, compound coatings and filled confectionery products, pp: 319-349.

Talbot G, 2003. Vegetable Fats in Chocolate, pp: 1-5.

## Références bibliographiques

---

Talbot G, 2009b. Compound coatings' in Science and technology of enrobed and filled chocolate, confectionery and bakery products, ed. Talbot G. Woodhead Publishing , Cambridge, Chapter 5, pp: 80 – 100 .

Talbot G, 2014. Fats for chocolate and sugar confectionery, pp: 170-208.

Tavella M., Peterson G., Espeche M., Cavallero E., Cipolla L., Perego L., Caballero B., 2000. Trans fatty acid content of a selection of foods in Argentina. Analytical, Nutritional and Clinical Methods Section. Food Chemistry, pp: 209-213.

Tekin A., Cizmeci M., Karabacak H., Kayahan M., 2002. Trans FA and solid fat contents of margarines marketed in Turkey. JAOCS, Vol 79, pp: 443-445.

Torres-Moreno M., Tarrega A., Costell E. and Blanch C. (2011). "Dark chocolate acceptability: influence of cocoa origin and processing conditions." Journal of the Science of Food and Agriculture 92(2), pp: 404–411.

### U

Ulbricht T, et Southgate D., 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors, pp: 985-992.

Undurraga, D., A. Markovits and S. Erazo, 2001. Cocoa butter equivalent through enzymic interesterification of palm oil midfraction. Process Biochem, pp: 933-939.

UNIFA, 2013. Le chocolat. Union des Industries de la Fertilisation. pp 27.

USDA, 2010. National Nutrient Database for Standard Reference.

### V

Vinaixa M., Vergara A., Duran C., Llobet C., Badia C., Brezmes J., Vilanova X. et Correig X, 2005. Fast detection of rancidity in potato crisps using e- noses based on mass spectrometry or gras sensors. Sensors and Actuators, pp: 67-75.

Vucic V., Arsic A., Petrovic SA., Milanovic M., Glibetic M., 2015. Trans fatty acid content in Serbian margarines: Urgent need for legislation changes and consumer information. Food chemistry, pp: 437-440.

### W

## Références bibliographiques

---

Wollgast J., Anklam E. Review on polyphenols in *Theobroma cacao* : changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. Food Research International, 33, pages 423-447, 2000

### Y

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

### Z

Zahouli, G. I. B., Guehi, S. T., Fae, A. M., Ban-Koffi, L., & Nemlin, J. G. (2010). Effect of drying methods on the chemical quality traits of cocoa raw material. Advance Journal of Food Science and Technology, pp: 184-190.

### Webographie :

Anonyme, 2012. Ecabossage du cacao. <http://www.tentation-chocolat.eu/2012/12/que-fait-on-des-cabosses-apres-la-recolte/>. Consulté le 2018-10-09.

Anonyme, 2018. Le beurre de cacao. <https://www.pinterest.com/pin/95068242111045811/>. Consulté le 2018-10-09.

Anonyme, 2016. Voiron: comment Bonnat fabrique son chocolat. <https://www.ledauphine.com/entreprises/2014/05/20/voiron-comment-bonnat-fabrique-son-chocolat>. Consulté le 2018-10-09.

Anonyme, 2018. Les courbes de tempérage des chocolats noir, au lait et blanc. <https://yummix.fr/temperage-chocolat-thermomix/>.

El Gebaly G. A., 2018. Cycle de vie du cacao. <https://flowvella.com/s/kli/16500AF9-6744-416B-BF50-4521A422AE69>. Consulté le 2018-10-09.

Michèle Mosiniak et Véronique Vonarx, 2017. Le fruit du cacaoyer : la cabosse, une baie particulière. <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Fruits/cacao.htm>. Consulté le 2018-10-09.

OMS, 2018a. Alimentation saine. Organisation Mondiale de la Santé. <http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>. Consulté le 2018-10-09.

OMS, 2018b. Obésité et surpoids. Organisation Mondiale de la Santé. <http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Consulté le 2018-10-09.

Technavio, 2016. Le marché du chocolat 2016-2020.

[https://www.technavio.com/report/global-food-global-chocolate-market-2016-2020?utm\\_source=T1&utm\\_campaign=Media&utm\\_medium=BW](https://www.technavio.com/report/global-food-global-chocolate-market-2016-2020?utm_source=T1&utm_campaign=Media&utm_medium=BW). Consulté le 02/10/2018.

Annexe I : Photographies des produits analysés



CT1



CT2



CT3



CT4



CT5



CT6



PT1



PT2



PT3



CG1

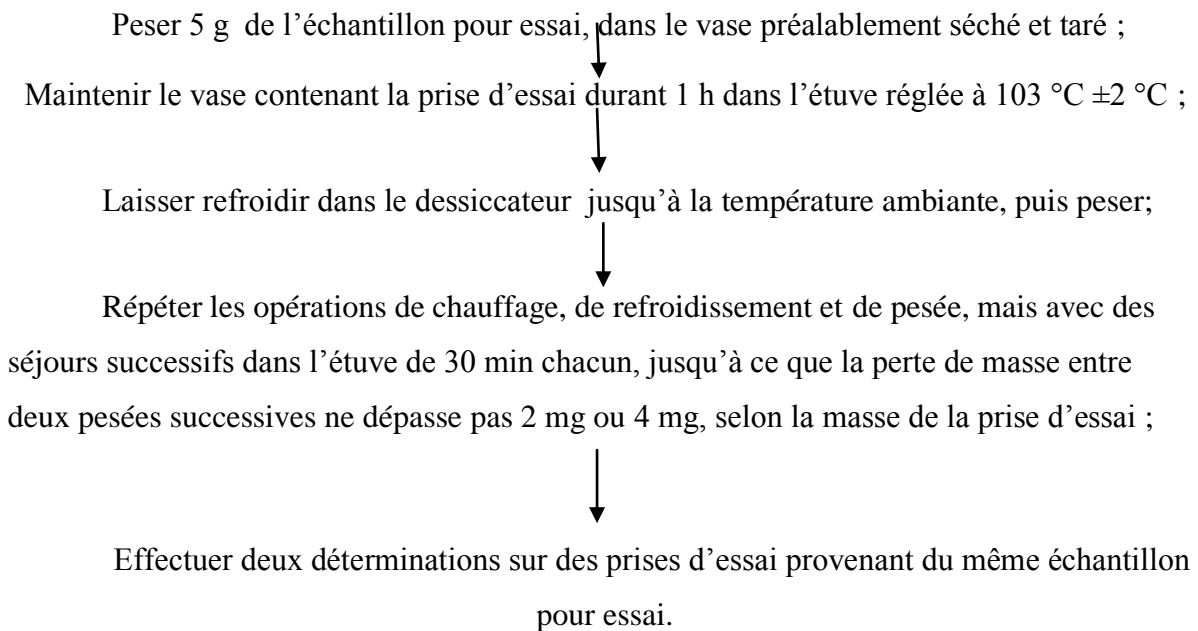


CG2

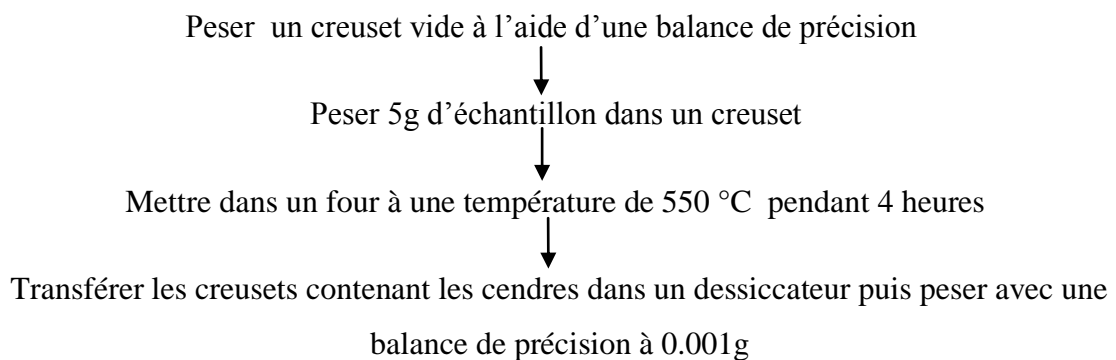
## Annexes II : Détermination de la teneur en eau et matières volatiles.

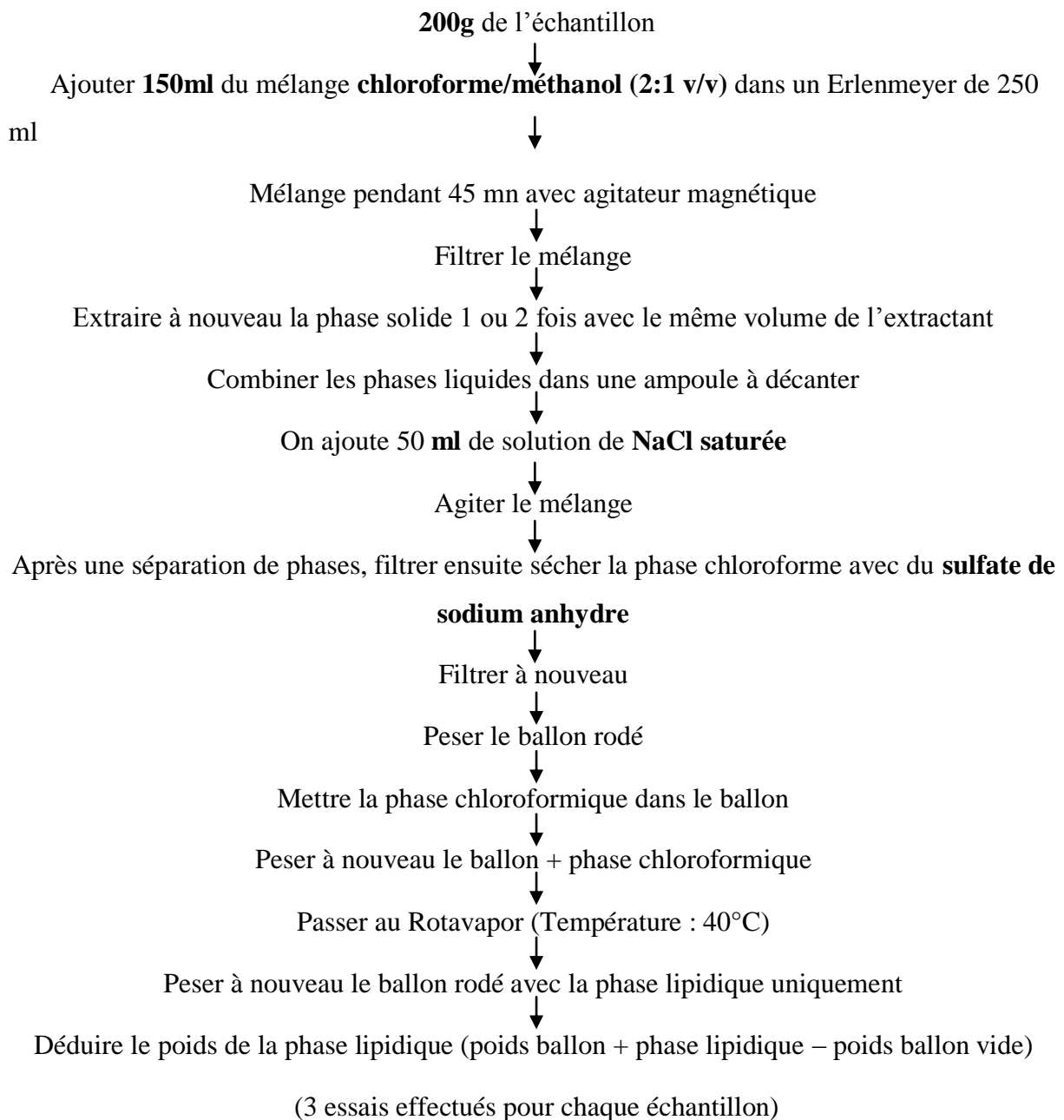
### ❖ Matériel :

- L'étuve
- Dessiccateur
- Creuset
- Balance analytique

**❖ Mode opératoire :****Annexe III: Détermination de la teneur en cendres****❖ Matériel:**

- Four à moufle
- Balance de précision
- Creuset
- Dessiccateur

**❖ Mode opératoire :**

**Annexe IV: Dosage des lipides****Annexe V: Déterminer l'acidité de la fraction lipidique**❖ **Matériel:**

- Bécher gradué
- Burette

❖ **Réactifs:**

- Ethanol
- Solution de phénolphtaléine

- Solution de KOH

❖ **Mode opératoire :**

Préparer dans un Erlenmeyer une solution de 75 ml d'alcool neutralisée (éthanol+quelques gouttes de phénolphtaléine qui est un indicateur coloré, titrer le NaOH jusqu'à apparition d'une coloration rose)



Ajouter 10g de l'échantillon à analyser



Faire dissoudre en portant sur une plaque chauffante



Procéder à un deuxième titrage des AGL par NaOH à 0.1N jusqu'à apparition de la couleur rose persistante (10 secondes)



Noter la chute de la burette.

**Annexe VI:** Déterminer l'indice de peroxyde de la fraction lipidique

❖ **Matériel:**

- Erlenmeyer
- Pipettes
- Bécher

❖ **Réactifs:**

- Chloroforme
- Acide acétique
- Solution de KI
- Solution de thiosulfate de sodium
- Amidon

❖ **Mode opératoire :**

Peser 5 g d'huile à 0.01 mg près dans un erlenmeyer



Ajouter 12 ml de chloroforme + 18 ml d'acide acétique

↓

+ 1 ml de la solution d'iodure de potassium (1 ml d'eau distillée + 0.5 g d'iodure de potassium)

↓

Agiter durant 1 mn et laisser 1 mn à l'abri de la lumière, à une température comprise entre 15 et 25 °C

↓

Ajouter 75ml d'eau distillée (afin d'arrêter la réaction) et agiter vigoureusement présence de quelques gouttes d'empois d'amidon comme indicateur coloré

↓

Titrer l'iode libéré avec la solution de thiosulfate de sodium 0.01 N

↓

Parallèlement à la détermination, effectuer un essai à blanc.

#### **Annexe VII: Détermination de l'indice d'iode**

##### **❖ Matériel:**

- Erlenmeyers (ou ballons à fond plat)
- Béchers
- Balance analytique
- Pipettes
- Agitateur magnétique
- Burette

##### **❖ Réactifs :**

- Thiosulfate de sodium (0,1 N)
- Empois d'amidon
- Iode alcoolique (0,2 N)
- Ethanol à 96%

##### **❖ Mode opératoire :**

Introduire la prise d'essai pesée dans un flacon de 300 à 500ml bouché à l'émeri  
préalablement lavé et séché

↓  
Dissoudre dans 15ml de tétrachlorure de carbone

↓

Ajouter 25ml de réactif de Wijs, agiter légèrement  
↓  
Placer le flacon à l'obscurité pendant une heure  
↓  
Ajouter 20ml d'iodure de potassium à 10% avec 150 ml d'eau et agiter  
↓  
Titrer l'iode libéré avec le thiosulfate de sodium à 0,1N en présence de quelques gouttes  
d'empois d'amidon  
↓  
Faire en parallèle un essai à blanc dans les mêmes conditions.

### Annexe VIII: Préparation des esters méthyliques d'acides gras

#### ❖ Matériel:

- Eprouvettes à bouchon vissant (capacité 5ml)
- Pipettes graduées

#### ❖ Réactifs:

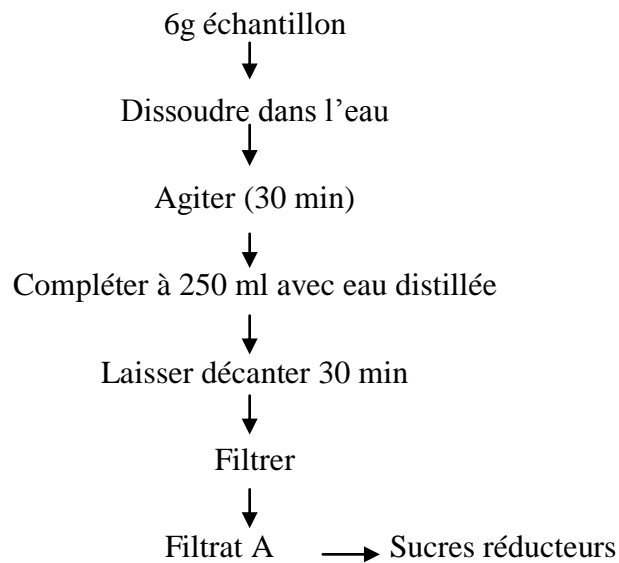
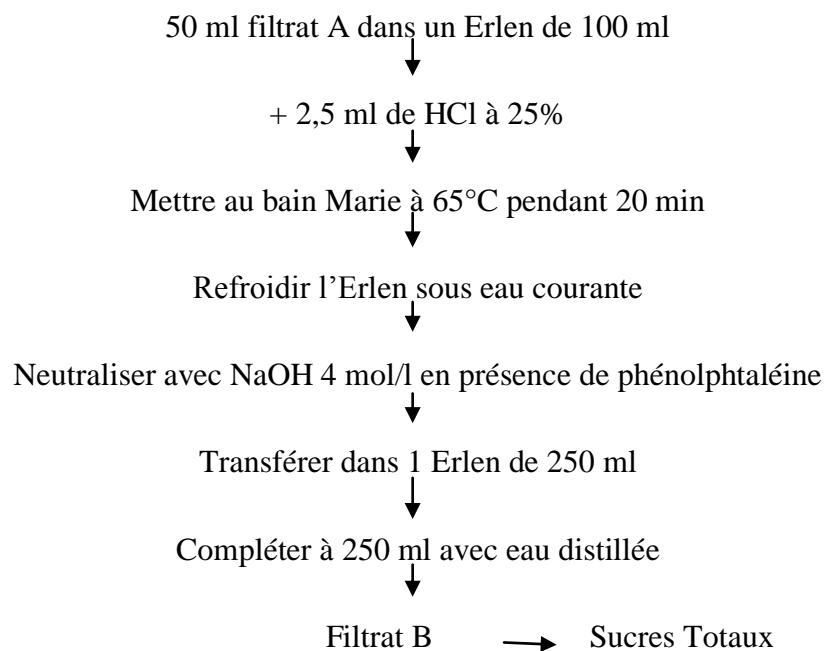
- Méthanol CH<sub>3</sub>OH
- Hexane
- Hydroxyde de potassium KOH
- Solution méthanolique MeOH à 2N

#### ❖ Mode opératoire:

Prendre 100mg de matière grasse  
↓  
Ajouter 3ml d'hexane  
↓  
Ajouter 0,1 ml de koh methanolique 2M  
↓  
Agiter pendant 1mn  
↓  
30mn à 5°C  
↓  
Laisser reposer pendant 15mn  
↓  
Récupérer la phase hexane  
↓  
Analyser par CPG

**Annexe IX: Dosages des sucres**

Préparation de l'échantillon de chocolat

➤ **Filtrat A**➤ **Filtrat B**

**Sucres réducteurs avec Filtrat A**

## ➤ Titration préliminaire

5 ml Fehling A + 5 ml Fehling B Dans 1 Erlen de 200 ml

↓  
Quelques pierres ponce

↓  
15 ml Filtrat A

↓  
Porter à ébullition pendant 2 min

↓  
+4 gouttes de bleu méthylène

↓  
Poursuivre la titration sur la plaque chauffante jusqu'à disparition totale de la couleur bleue (virage rouge brique). Noter  $V_1$

## ➤ Titration finale

5 ml Fehling A + 5ml Fehling B NDans un Erlen de 200 ml

↓  
Ajouter un volume du Filtrat A

↓  
(-1 ml du volume titrant  $V_1$ )

↓  
Chauffer à ébullition

↓  
+3 gouttes de bleu de méthylène

↓  
Titrer jusqu'à décoloration complète et obtention d'une couleur Rouge brique

↓  
Noter  $V_2$ .

**Sucre totaux avec Filtrat B**

## ➤ Titration préliminaire

5 ml Fehling A + 5 ml Fehling B Dans 1 erlen de 200 ml

↓  
Quelques pierres ponce+15 ml Filtrat B

↓  
Porter à ébullition pendant 2 min

↓

+ 4 gouttes de bleu de méthylène



Poursuivre la titration sur la plaque chauffante jusqu'à disparition totale de la couleur bleue (virage marron cuivré). Noter  $V_1$ .

➤ Titration finale

5 ml Fehling A + 5ml Fehling B Dans un erlen de 200 ml



Ajouter un volume du Filtrat B



(-1 ml du volume titrant)



Chauffer à ébullition



+3 gouttes de bleu de méthylène



Titrer jusqu'à décoloration complète et obtention d'une couleur Marron cuivré



Noter  $V_2$ .

**Annexe X:** résultats des analyses statistiques des échantillons chocolat

Teneur en eau :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3,906	32	0,122				
VAR.FACTEUR 1	3,896	10	0,39	862,899	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,01	22	0			0,021	2,10%

Taux de cendres :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5,323	32	0,166				
VAR.FACTEUR 1	5,297	10	0,53	452,848	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,026	22	0,001			0,034	2,53%

Acidité :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	19,665	32	0,615				
VAR.FACTEUR 1	19,653	10	1,965	3500,9	0		

VAR.RESIDUELLE 1	0,012	22	0,001			0,024	2,55%
---------------------	-------	----	-------	--	--	-------	-------

Indice de peroxyde :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	29,665	32	0,927				
VAR.FACTEUR 1	29,645	10	2,965	3343,16	0		
VAR.RESIDUELLE 1	0,02	22	0,001			0,03	2,63%

Indice d'iode :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	6712,437	32	209,764				
VAR.FACTEUR 1	6269,1	10	626,91	31,11	0		
VAR.RESIDUELLE 1	443,337	22	20,152			4,489	12,09%

Sucres totaux :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	189,697	32	5,928				
VAR.FACTEUR 1	105,21	10	10,521	2,74	0,02343		
VAR.RESIDUELLE 1	84,487	22	3,84			1,96	2,93%

Sucres réducteur :

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1215,206	32	37,975				
VAR.FACTEUR 1	1213,512	10	121,351	1576,359	0		
VAR.RESIDUELLE 1	1,694	22	0,077			0,277	3,57%

**Annexe XII : Table de Lane-Eynon utilisée pour le dosage des sucres****Lane-Eynon Table  
(Invert sugar, without sucrose)**

mL sugar solution required	Invert sugar (without sucrose) mg/100ml
15	336
16	316
17	298
18	282
19	267
20	254.5
21	242.9
22	231.8
23	222.2
24	213.3
25	204.8
26	197.4
27	190.4
28	183.7
29	177.6
30	171.7
31	166.3
32	161.2
33	156.6
34	152.2
35	147.9
36	143.9
37	140.2
38	136.6
39	133.3
40	130.1
41	127.1
42	124.2
43	121.4
44	118.7
45	116.1
46	113.7
47	111.4
48	109.2
49	107.1
50	105.1

Annexe XV: composition en acide gras par chromatographe gazeuse en phase liquide

	<u>Huile d'arachide</u>	<u>Huile de Babassu</u>	<u>Huile de coco</u>	<u>Huile de coton</u>	<u>Huile de pépins de raisin</u>	<u>Huile de maïs</u>	<u>Huile de moutarde</u>	<u>Huile de palme</u>	<u>Huile de palmiste</u>
<u>Acide gras</u>									
C6:0	ND	ND	0.0-0.6	ND	ND	ND	)	NS	0.0-0.8
C8:0	ND	2.6-7.3	4.6-9.4	ND	ND	ND	)	NS	2.4-6.2
C10:0	ND	1.2-7.6	5.5-7.8	ND	ND	ND	)0.0-0.5*	NS	2.6-5.0
C12:0	0.0-0.1	40.0-55.0	45.1-50.3	0.0-0.2	0.0-0.5	0.0-0.3	)	0.0-0.4	41.0-55.0
C14:0	0.0-0.1	11.0-27.0	16.8-20.6	0.6-1.0	0.0-0.3	0.0-0.3	0.0-1.0	0.5-2.0	14.0-18.0
C16:0	8.3-14.0	5.2-11.0	7.7-10.2	21.4-26.4	5.5-11	8.6-16.5	0.5-4.5	41.0-47.5	6.5-10.0
C16:1	0.0-0.2	ND	ND	0.0-1.2	0.0-1.2	0.0-0.4	0.0-0.5	0.0-0.6	NS
C17:0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NS	NS
C17:1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	NS	NS
C18:0	1.9-4.4	1.8-7.4	2.3-3.5	2.1-3.3	3.0-6.0	1.0-3.3	0.5-2.0	3.5-6.0	1.3-3.0
C18:1	36.4-67.1	9.0-20.0	5.4-8.1	14.7-21.7	12-28	20.0-42.2	8.0-23	36.0-44.0	12.0-19.0
C18:2	14.0-43.0	1.4-6.6	1.0-2.1	46.7-58.2	58-78	39.4-62.5	10-24	6.5-12.0	1.0-3.5
C18:3	0.0-0.1	ND	0.0-0.2	0.0-0.4	0.0-1.0	0.5-1.5	6.0-18	0.0-0.5	)
C20:0	1.1-1.7	ND	0.0-0.2	0.2-0.5	0.0-1.0	0.3-0.6	0.0-1.5	0.0-1.0	)
C20:1	0.7-1.7	ND	0.0-0.2	0.0-0.1	ND	0.2-0.4	5.0-13	NS	)
C20:2	ND	ND	ND	0.0-0.1	ND	0.0-0.1	0.0-1.0	NS	)
C22:0	2.1-4.4	ND	ND	0.0-0.6	0.0-0.3	0.0-0.5	0.2-2.5	NS	) 0.0-0.1*
C22:1	0.0-0.3	ND	ND	0.0-0.3	ND	0.0-0.1	22-50	NS	)
C22:2	ND	ND	ND	0.0-0.1	ND	ND	0.0-1.0	NS	)
C24:0	1.1-2.2	ND	ND	0.0-0.1	0.0-0.1	0.0-0.4	0.0-0.5	NS	)
C24:1	0.0-0.3	ND	ND	ND	ND	ND	0.5-2.5	NS	)

ND - non détecté; NS - non spécifié

\* valeur totale pour les acides gras indiqués

Annexe XV: composition en acide gras par chromatographe gazeuse en phase liquide

	<u>Oléine de palme</u>	<u>Stéarine de palme</u>	<u>Huile de colza</u>	<u>Huile de colza (faible acide érucique)</u>	<u>Huile de carthame</u>	<u>Huile de sésame</u>	<u>Huile de soja</u>	<u>Huile de tournesol</u>
Acide gras								
C6:0	ND	ND	)	ND	ND	ND	ND	ND
C8:0	ND	ND	)	ND	ND	ND	ND	ND
C10:0	ND	ND	)0.1*	ND	ND	ND	ND	ND
C12:0	0.1-0.5	0.1-0.4	)	ND	ND	ND	0.0-0.1	0.0-0.1
C14:0	0.9-1.4	1.1-1.8	0.2	0.0-0.2	0.0-0.2	0.0-0.1	0.0-0.2	0.0-0.2
C16:0	38.2-42.9	48.4-73.8	1.5-6.0	3.3-6.0	5.3-8.0	7.9-10.2	8.0-13.3	5.6-7.6
C16:1	0.1-0.3	0.05-0.2	0.0-3.0	0.1-0.6	0.0-0.2	0.1-0.2	0.0-0.2	0.0-0.3
C17:0	ND	ND	ND	0.0-0.3	ND	0.0-0.2	ND	ND
C17:1	ND	ND	ND	0.0-0.3	ND	0.0-0.1	ND	ND
C18:0	3.7-4.8	3.9-5.6	0.5-3.1	1.1-2.5	1.9-2.9	4.8-6.1	2.4-5.4	2.7-6.5
C18:1	39.8-43.9	15.6-36.0	8-60	52.0-66.9	8.4-21.3	35.9-42.3	17.7-26.1	14.0-39.4
C18:2	10.4-13.4	3.2-9.8	11-23	16.1-24.8	67.8-83.2	41.5-47.9	49.8-57.1	48.3-74.0
C18:3	0.1-0.6	0.1-0.6	5-13	6.4-14.1	0.0-0.1	0.3-0.4	5.5-9.5	0.0-0.2
C20:0	0.2-0.6	0.3-0.6	0.0-3.0	0.2-0.8	0.2-0.4	0.3-0.6	0.1-0.6	0.2-0.4
C20:1	ND	ND	3-15	0.1-3.4	0.1-0.3	0.0-0.3	0.0-0.3	0.0-0.2
C20:2	ND	ND	0.0-1.0	0.0-0.1	ND	ND	0.0-0.1	ND
C22:0	ND	ND	0.0-2.0	0.0-0.5	0.2-0.8	0.0-0.3	0.3-0.7	0.5-1.3
C22:1	ND	ND	5-60	0.0-2.0	0.0-1.8	ND	0.0-0.3	0.0-0.2
C22:2	ND	ND	0.0-2.0	0.0-0.1	ND	ND	ND	0.0-0.3
C24:0	ND	ND	0.0-2.0	0.0-0.2	0.0-0.2	0.0-0.3	0.0-0.4	0.2-0.3
C24:1	ND	ND	0.0-3.0	0.0-0.4	0.0-0.2	ND	ND	ND

ND - non détecté

\* valeur totale pour les acides gras indiqués

## Annexe XVI : caractérisation chimique et physique

	<u>Huile d'arachide</u>	<u>Huile de Babassu</u>	<u>Huile de coco</u>	<u>Huile de coton</u>	<u>Huile de pépins de raisin</u>	<u>Huile de maïs</u>	<u>Huile de moutarde</u>	<u>Huile de palme</u>	<u>Huile de palmiste</u>
DENSITE RELATIVE ( $x^{\circ}C$ /eau à $20^{\circ}C$ )	0.914-0.917 $x=20^{\circ}C$	0.914-0.917 $x=25^{\circ}C$	0.908-0.921 $x=40^{\circ}C$	0.918-0.926 $x=20^{\circ}C$	0.923-0.926 $x=20^{\circ}C$	0.917-0.925 $x=20^{\circ}C$	0.910-0.921 $x=20^{\circ}C$	0.891-0.899 $x=50^{\circ}C$	0.899-0.914 $x=40^{\circ}C$
INDICE DE REFRACTION ( $N_D$ $40^{\circ}C$ )	1.460-1.465	1.448-1.451	1.448-1.450	1.458-1.466	1.473-1.477	1.465-1.468	1.461-1.469	1.449-1.455†	1.448-1.452
INDICE DE SAPONIFICATION (mgKOH/g huile)	187-196	245-256	248-265	189-198	188-194	187-195	170-184	190-209	230-254
INDICE D'IODE*(WIJS)	86-107	10-18	6.3-10.6	100-115	130-138	107-128	92-125	50.0-55.0	14.1-21.0
INSAPONIFIABLE (g/kg)	< = 10	< = 12	< = 15	< = 15	< = 20	< = 28	< = 15	< = 12	< = 10
	<u>Oléine de palme</u>	<u>Stéarine de palme</u>	<u>Huile de colza</u>	<u>Huile de colza (faible acide érucique)</u>	<u>Huile de carthame</u>	<u>Huile de sésame</u>	<u>Huile de soja</u>	<u>Huile de tournesol</u>	
DENSITE RELATIVE ( $x^{\circ}C$ /water at $20^{\circ}C$ )	0.899-0.920 $x=40^{\circ}C$	0.881-0.891 $x=60^{\circ}C$	0.910-0.920 $x=20^{\circ}C$	0.914-0.920 $x=20^{\circ}C$	0.922-0.927 $x=20^{\circ}C$	0.915-0.923 $x=20^{\circ}C$	0.919-0.925 $x=20^{\circ}C$	0.918-0.923 $x=20^{\circ}C$	
DENSITE APPARENTE (g/ml) at $40^{\circ}C$	0.8969-0.8977	0.8813-0.8844 at $60^{\circ}C$							
INDICE DE REFRACTION ( $N_D$ $40^{\circ}C$ )	1.4586-1.4592	1.4472-1.4511	1.465-1.469	1.65-1.467	1.467-1.470	1.465-1.469	1.466-1.470	1.467-1.469	
INDICE DE SAPONIFICATION (mgKOH/g huile)	194-202	193-205	168-181	182-193	186-198	187-195	189-195	188-194	
INDICE D'IODE*(WIJS)	> = 56	< = 48	94-120	110-126	136-148	104-120	124-139	118-141	
INSAPONIFIABLE (g/kg)	< = 13	< = 9	< = 20	< = 20	< = 15	< = 20	< = 15	< = 15	

\* L'indice d'iode est calculé à partir de la composition en acides gras, sauf pour les huiles de moutarde, palme, colza, sésame et la stéarine de palme.

†  $n_D$   $50^{\circ}C$

## Résumé

Le chocolat est l'un des aliments et produits de confiserie les plus populaires dans le monde. Le présent travail consiste en une étude comparative d'une sélection de chocolat et de chocolat d'imitation et pâtes à tartiner présente sur le marché Algérien. Les résultats des paramètres physico-chimiques (teneur en eau, taux de cendres, et teneur en sucres) ont révélé que les produits analysés sont pour la plupart comparables aux travaux de nombreux auteurs. L'analyse chromatographique (CPG) a permis la classification des différents chocolats analysés selon leur composition en acides gras et l'identification du type de graisse ou l'huile utilisé. Les chocolats CT1 et CT2 sont à base de beurre de cacao, riche en acide palmitique, stéarique et oléique. Les chocolats d'imitation (Végécao) CT3, CT4, CT5, CT6, CG1 et CG2 sont à base de substitut laurique de beurre de cacao (CBS), riches en acide laurique et myristique. Les chocolats d'imitation CG1 et CG2 contiennent des acides gras *trans*. La pâte à tartiner PT2 est à base d'huile de palme. Les pâtes à tartiner PT1 et PT3 présentent une composition en acides gras qui ne correspond pas à une seule huile. Ceci suggérerait l'utilisation d'un mélange d'huiles végétales telles que l'huile de palme et/ou ses fractions et l'huile de tournesol.

**Mots clés :** Chocolat, chocolats d'imitation, beurre de cacao.

## Summary

Chocolate is one of the most popular foods and confectionery products in the world. The present work consists of a comparative study of a selection of chocolate, imitation chocolate and spread chocolate present on the Algerian market. The result of the physicochemical parameters (moisture content, ash content, and sugar content) revealed that the products analyzed are for the most part comparable to the work of many authors. Chromatographic analysis (GC) allowed the classification of the various chocolates analyzed according to their fatty acid composition and the identification of the type of fat or oil used. CT1 and CT2 chocolates are based on cocoa butter, rich in palmitic acid, stearic and oleic, the chocolates (Végécao) CT3, CT4, CT5, CT6, CG1 and CG2 are based on lauric cocoa butter (CBS) substitute, rich in lauric acid and myristic. The imitation chocolates CG1 and CG2 contain *trans* fatty acids. The PT2 spread is based on palm oil. PT1 and PT3 spreads have a fatty acid composition that does not correspond to single oil. This would suggest the use of a blend of vegetable oils such as palm oil and / or its fractions and sunflower oil.

**Key words:** Chocolate, imitation chocolate, cocoa butter.