

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1
FACULTE DE PHARMACIE
INSTITUT DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES ET BIOLOGIQUES

2016

Thèse n°35

T H E S E
pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE
présentée et soutenue publiquement le 30 mai 2016
par
Mme LOUBERT Pauline
Née le 3 décembre 1990
A Lyon

Le chocolat : un nutriment aux vertus santé dans les troubles du métabolisme glucidique et lipidique ?

JURY
Mme Goudable Joëlle, Professeur U-PH
Mme Blond Emilie, Maître de Conférences U-PH
Mme Catala Isabelle, Docteur en Pharmacie

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

- Président de l'Université M. François-Noël GILLY
- Vice Président du Conseil d'Administration M. Hamda BEN HADID
- Vice-Président de la Commission Recherche M. Germain GILLET
- Vice-Président de la Formation et de la Vie Universitaire M. Philippe LALLE

Composantes de l'Université Claude Bernard Lyon 1

SANTE

- UFR de Médecine Lyon Est Directeur : M. Jérôme ETIENNE
- UFR de Médecine Lyon Sud Charles Mérieux Directeur : Mme Carole BURILLON
- Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques Directrice : Mme Christine VINCIGUERRA
- UFR d'Odontologie Directeur : M. Denis BOURGEOIS
- Institut des Techniques de Réadaptation Directeur : M. Yves MATILLON
- Département de formation et centre de recherche en Biologie Humaine Directeur : Anne-Marie SCHOTT

SCIENCES ET TECHNOLOGIES

- Faculté des Sciences et Technologies Directeur : M. Fabien DE MARCHI
- UFR de Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS) Directeur : M. Yannick VANPOULLE
- Ecole Polytechnique Universitaire de Lyon (ex ISTIL) Directeur : M. Pascal FOURNIER
- I.U.T. LYON 1 Directeur : M. Christophe VITON
- Institut des Sciences Financières et d'Assurance (ISFA) Directeur : M. Nicolas LEBOISNE
- ESPE Directeur : M. Alain MOUGNIOTTE

ISPB – Faculté de Pharmacie Lyon
LISTE DES DEPARTEMENTS PEDAGOGIQUES

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE DE SCIENCES PHYSICO-CHIMIQUE ET PHARMACIE GALENIQUE

- **CHIMIE ANALYTIQUE, GENERALE, PHYSIQUE ET MINERALE**

Monsieur Raphaël TERREUX (Pr)
Monsieur Pierre TOULHOAT (Pr - PAST)
Madame Julie-Anne CHEMELLE (MCU)
Monsieur Lars-Petter JORDHEIM (MCU-HDR)
Madame Christelle MACHON (AHU)

- **PHARMACIE GALENIQUE -COSMETOLOGIE**

Madame Marie-Alexandrine BOLZINGER (Pr)
Madame Stéphanie BRIANCON (Pr)
Madame Françoise FALSON (Pr)
Monsieur Hatem FESSI (Pr)
Monsieur Fabrice PIROT (PU - PH)
Monsieur Eyad AL MOUAZEN (MCU)
Madame Sandrine BOURGEOIS (MCU)
Madame Ghania HAMDI-DEGOBERT (MCU-HDR)
Monsieur Plamen KIRILOV (MCU)
Monsieur Damien SALMON (AHU)

- **BIOPHYSIQUE**

Monsieur Richard COHEN (PU – PH)
Madame Laurence HEINRICH (MCU)
Monsieur David KRYZA (MCU – PH - HDR)
Madame Sophie LANCELOT (MCU - PH)
Monsieur Cyril PAILLER-MATTEI (MCU-HDR)
Madame Elise LEVIGOUREUX (AHU)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE PHARMACEUTIQUE DE SANTE PUBLIQUE

- **DROIT DE LA SANTE**

Monsieur François LOCHER (PU – PH)

Madame Valérie SIRANYAN (MCU - HDR)

- **ECONOMIE DE LA SANTE**

Madame Nora FERDJAOUI MOUMJID (MCU - HDR)

Madame Carole SIANI (MCU – HDR)

Monsieur Hans-Martin SPÄTH (MCU)

- **INFORMATION ET DOCUMENTATION**

Monsieur Pascal BADOR (MCU - HDR)

- **HYGIENE, NUTRITION, HYDROLOGIE ET ENVIRONNEMENT**

Madame Joëlle GOUDABLE (PU – PH)

- **INGENIERIE APPLIQUEE A LA SANTE ET DISPOSITIFS MEDICAUX**

Monsieur Gilles AULAGNER (PU – PH)

Monsieur Daniel HARTMANN (Pr)

- **QUALITOLOGIE – MANAGEMENT DE LA QUALITE**

Madame Alexandra CLAYER-MONTEMBault (MCU)

Monsieur Vincent GROS (MCU-PAST)

Madame Audrey JANOLY-DUMENIL (MCU-PH)

Madame Pascale PREYNAT (MCU PAST)

- **MATHEMATIQUES – STATISTIQUES**

Madame Claire BARDEL-DANJEAN (MCU-PH)

Madame Marie-Aimée DRONNE (MCU)

Madame Marie-Paule PAULTRE (MCU - HDR)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE SCIENCES DU MEDICAMENT

- **CHIMIE ORGANIQUE**

Monsieur Pascal NEBOIS (Pr)
Madame Nadia WALCHSHOFER (Pr)
Monsieur Zouhair BOUAZIZ (MCU - HDR)
Madame Christelle MARMINON (MCU)
Madame Sylvie RADIX (MCU -HDR)
Monsieur Luc ROCHEBLAVE (MCU - HDR)

- **CHIMIE THERAPEUTIQUE**

Monsieur Roland BARRET (Pr)
Monsieur Marc LEBORGNE (Pr)
Monsieur Laurent ETTOUATI (MCU - HDR)
Monsieur Thierry LOMBERGET (MCU - HDR)
Madame Marie-Emmanuelle MILLION (MCU)

- **BOTANIQUE ET PHARMACOGNOSIE**

Madame Marie-Geneviève DIJOUX-FRANCA (Pr)
Madame Marie-Emmanuelle HAY DE BETTIGNIES (MCU)
Madame Isabelle KERZAON (MCU)
Monsieur Serge MICHALET (MCU)

- **PHARMACIE CLINIQUE, PHARMACOCINETIQUE ET EVALUATION DU MEDICAMENT**

Madame Roselyne BOULIEU (PU – PH)
Madame Magali BOLON-LARGER (MCU - PH)
Madame Christelle CHAUDRAY-MOUCHOUX (MCU-PH)
Madame Céline PRUNET-SPANO (MCU)
Madame Catherine RIOUFOL (MCU- PH-HDR)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE DE PHARMACOLOGIE, PHYSIOLOGIE ET TOXICOLOGIE

- **TOXICOLOGIE**

Monsieur Jérôme GUITTON (PU – PH)
Madame Léa PAYEN (PU-PH)
Monsieur Bruno FOUILLET (MCU)
Monsieur Sylvain GOUTELLE (MCU-PH)

- **PHYSIOLOGIE**

Monsieur Christian BARRES (Pr)

Monsieur Daniel BENZONI (Pr)

Madame Kiao Ling LIU (MCU)

Monsieur Ming LO (MCU - HDR)

- **PHARMACOLOGIE**

Monsieur Michel TOD (PU – PH)

Monsieur Luc ZIMMER (PU – PH)

Monsieur Roger BESANCON (MCU)

Monsieur Laurent BOURGUIGNON (MCU-PH)

Madame Evelyne CHANUT (MCU)

Monsieur Nicola KUCZEWSKI (MCU)

Madame Dominique MARCEL CHATELAIN (MCU-HDR)

- **COMMUNICATION**

Monsieur Ronald GUILLOUX (MCU)

- **ENSEIGNANTS ASSOCIES TEMPORAIRES**

Monsieur Olivier CATALA (Pr-PAST)

Madame Corinne FEUTRIER (MCU-PAST)

Madame Mélanie THUDEROZ (MCU-PAST)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE DES SCIENCES BIOMEDICALES A

- **IMMUNOLOGIE**

Monsieur Jacques BIENVENU (PU – PH)

Monsieur Guillaume MONNERET (PU-PH)

Madame Cécile BALTER-VEYSSEYRE (MCU - HDR)

Monsieur Sébastien VIEL (AHU)

- **HEMATOLOGIE ET CYTOLOGIE**

Madame Christine VINCIGUERRA (PU - PH)

Madame Brigitte DURAND (MCU - PH)

Monsieur Yohann JOURDY (AHU)

- **MICROBIOLOGIE ET MYCOLOGIE FONDAMENTALE ET APPLIQUEE AUX BIOTECHNOLOGIE INDUSTRIELLES**

Monsieur Patrick BOIRON (Pr)

Monsieur Jean FRENEY (PU – PH)

Monsieur Frédéric LAURENT (PU-PH-HDR)

Madame Florence MORFIN (PU – PH)

Monsieur Didier BLAHA (MCU)

Madame Ghislaine DESCOURS (MCU-PH)

Madame Anne DOLEANS JORDHEIM (MCU-PH)

Madame Emilie FROBERT (MCU - PH)

Madame Véronica RODRIGUEZ-NAVA (MCU-HDR)

- **PARASITOLOGIE, MYCOLOGIE MEDICALE**

Monsieur Philippe LAWTON (Pr)

Madame Nathalie ALLIOLI (MCU)

Madame Samira AZZOUZ-MAACHE (MCU - HDR)

DEPARTEMENT PEDAGOGIQUE DES SCIENCES BIOMEDICALES B

- **BIOCHIMIE – BIOLOGIE MOLECULAIRE - BIOTECHNOLOGIE**

Madame Pascale COHEN (Pr)

Monsieur Alain PUISIEUX (PU - PH)

Madame Emilie BLOND (MCU-PH)

Monsieur Karim CHIKH (MCU - PH)

Madame Carole FERRARO-PEYRET (MCU - PH-HDR)

Monsieur Boyan GRIGOROV (MCU)

Monsieur Hubert LINCET (MCU-HDR)

Monsieur Olivier MEURETTE (MCU)

Madame Caroline MOYRET-LALLE (MCU – HDR)

Madame Angélique MULARONI (MCU)

Madame Stéphanie SENTIS (MCU)

Monsieur Anthony FOURIER (AHU)

- **BIOLOGIE CELLULAIRE**

Madame Bénédicte COUPAT-GOUTALAND (MCU)

Monsieur Michel PELANDAKIS (MCU - HDR)

- **INSTITUT DE PHARMACIE INDUSTRIELLE DE LYON**

Madame Marie-Alexandrine BOLZINGER (Pr)

Monsieur Daniel HARTMANN (Pr)

Monsieur Philippe LAWTON (Pr)

Madame Sandrine BOURGEOIS (MCU)

Madame Marie-Emmanuelle MILLION (MCU)

Madame Alexandra MONTEMBault (MCU)

Madame Angélique MULARONI (MCU)

Madame Valérie VOIRON (MCU - PAST)

- **Assistants hospitalo-universitaires sur plusieurs départements pédagogiques**

Madame Florence RANCHON

- **Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche (ATER)**

Madame Charlotte BOUARD (86^{ème} section)

Madame Laure-Estelle CASSAGNES (85^{ème} section)

Monsieur Karim MILADI (85^{ème} section)

Madame Laurence PAGES (87^{ème} section)

Pr : Professeur

PU-PH : Professeur des Universités, Praticien Hospitalier

MCU : Maître de Conférences des Universités

MCU-PH : Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier

HDR : Habilitation à Diriger des Recherches

AHU : Assistant Hospitalier Universitaire

PAST : Personnel Associé Temps Partiel

Remerciements

A ma présidente de thèse, Madame Joëlle Goudable,

Pour l'honneur que vous me faites de présider cette thèse, veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

A ma directrice de thèse, Madame Emilie Blond,

Pour m'avoir soutenue et guidée pendant ces deux ans de travaux sur ce thème malgré votre emploi du temps chargé, veuillez trouver l'expression de mes sincères remerciements.

A Madame Isabelle Catala,

Merci de faire partie de ce jury, de m'avoir fait découvrir le métier de pharmacien d'officine et de me l'avoir fait aimer.

A mes parents,

Merci pour votre soutien inébranlable au cours de ces longues, très longues années d'études, avec les échecs et les joies qu'elles ont contenus.

A mon frère Thibaut,

Premier supporter, premier juge, coach à tes heures perdues, fervent testeur des théories et problématiques que je t'ai proposées et 4^{ème} juré (officieux). Merci d'avoir supporté mes crises et joies.

A toute ma famille,

Pour avoir été là, merci pour tout.

A vous les filles, Christelle, Chloé, Marie, et Caroline,

Pour tout. Vous êtes au top, continuez et c'est les étoiles qui vous attendent !

A Monsieur Olivier Catala,

Merci de m'avoir fait partager votre passion pour ce métier pendant tous mes stages.

Merci pour votre gentillesse et votre soutien.

A toute l'équipe de la pharmacie des Gratte-Ciel,

Merci pour ces années passées avec vous, pour m'avoir formée, pour votre bonne humeur. Un grand merci à Audrey pour les samedis midis qu'on a passés ensemble à rire autour d'un café, à Mélanie (même si tu n'y travaille plus), Valérie et Katy pour tout ce que vous m'avez appris et pour votre soutien.

A tous ceux que j'ai peut-être oublié de citer,

Merci à vous.

A moi,

Etre têtue aura eu du bon. Elle est pour toi.

Table des matières

Introduction	16
1. Le chocolat : de son origine à sa consommation en passant par ses différentes variétés.....	18
1.1. Les origines du chocolat	18
1.1.1. La culture du cacao chez les Mayas.....	20
1.1.2. La culture du cacao chez les Aztèques	21
1.1.3. L'arrivée du cacao dans les contrées européennes.....	22
1.1.3.1. Une découverte espagnole à l'origine de son exploitation outre Atlantique	22
1.1.3.2. La production de cacao au Venezuela	23
1.1.3.3. L'Amazonie brésilienne	23
1.1.3.4. Les Antilles.....	23
1.1.4. Jusqu'à l'export européen et la production Africaine	24
1.1.4.1. L'équateur	24
1.1.4.2. Le Venezuela.....	24
1.1.4.3. Trinidad.....	24
1.1.4.4. Le Brésil	25
1.1.4.5. Implantation africaine	25
1.1.5. Le cacao à la conquête du monde	26
1.1.5.1. En Espagne.....	26
1.1.5.2. En France	26
1.1.5.3. De Londres à Amsterdam	27
1.1.5.4. Du cacao à la fabrication du chocolat.....	27
1.1.6. L'ère industrielle.....	27
1.1.6.1. De la fève à la production massive de poudre de cacao, les débuts de la fabrication industrielle	27
1.1.6.2. La presse de Van Houten	28
1.1.6.3. De la poudre de cacao à la tablette de chocolat	28
1.2. Les variétés de chocolat	33
1.2.1. Les fèves de cacao	33
1.2.2. Du chocolat noir au chocolat blanc, en passant par le chocolat au lait	35
1.2.2.1. Le chocolat noir	35
1.2.2.2. Le chocolat au lait.....	36
1.2.2.3. Le chocolat blanc	37
1.2.3. Les chocolats allégés	38
1.2.3.1. Les chocolats allégés en sucres	39
1.2.3.2. Les chocolats allégés en graisses	48
1.3. Consommation de chocolat en France : Etude INCA 2 et Nutrinet	50
1.3.1. Epidémiologie de la consommation de chocolat : étude INCA 2.....	50
1.3.1.1. Consommation des adultes	50
1.3.1.2. Consommation chez les enfants.....	51
1.3.2. Evolution de la consommation depuis 1998-1999	52
1.3.3. Comportement alimentaire des consommateurs de chocolats	53

2.	Macro et micronutriments du chocolat : des AJR aux propriétés potentielles de santé	58
2.1.	Apports nutritionnels du chocolat en macronutriments (pour 100g)	58
2.1.1.	Apport en protéines du chocolat	59
2.1.2.	Apport en lipides du chocolat	59
2.1.2.1.	Composition du chocolat en lipides	59
2.1.2.2.	Rôle des acides gras	61
2.1.3.	Apport en glucides	66
2.1.3.1.	Composition du chocolat en glucides	66
2.1.3.2.	Rôle des glucides	68
2.2.	Apport nutritionnels en micronutriments	69
2.2.1.	Apport en minéraux et rôles	69
2.2.2.	Apport en oligoéléments et rôles	71
2.2.3.	Apport en vitamines et rôles	72
2.3.	Les polyphénols	74
2.3.1.	Composition en polyphénols du chocolat	74
3.	Intérêt du chocolat en santé : effets et limites	78
3.1.	Consommation du chocolat et effet santé	78
3.1.1.	Effet santé de la consommation de chocolat	78
3.1.1.1.	Un lien entre consommation de chocolats et diabète ?	78
3.1.1.2.	Un lien entre consommation de chocolats et maladies cardiovasculaires ?	82
3.1.1.3.	Un lien entre consommation de chocolats et obésité ?	89
3.1.2.	Mécanismes de l'effet santé du chocolat : le rôle des polyphénols	90
3.1.2.1.	Dans le diabète : Mécanisme d'amélioration de la glycémie et de la sensibilité à l'insuline	90
3.1.2.2.	Dans les maladies cardiovasculaires	93
3.2.	Limites des effets santé du chocolat	109
	Conclusion	114

Table des tableaux

Tableau 1 : Composition des trois types de chocolats	35
Tableau 2 : Goût obtenu en fonction de la composition du chocolat	36
Tableau 3 : Description du goût obtenu en fonction de la composition	37
Tableau 4 : Description du goût obtenu en fonction de la composition	37
Tableau 5 : Description du goût obtenu en fonction de la composition	38
Tableau 6 : Comparatif nutritionnel d'une tablette de chocolat à 70% de cacao classique vs 70% de cacao édulcorée	40
Tableau 7 : Comparatif nutritionnel entre une tablette édulcorée à la stevia et une tablette de chocolat classique.....	43
Tableau 8 : Comparatif nutritionnel d'une tablette de chocolat à 70% de cacao classique vs 70% de cacao édulcorée	44
Tableau 9 : Comparatif nutritionnel d'une tablette de chocolat à 70% de cacao classique vs 70% de cacao édulcorée au fructose	47
Tableau 10 : Comparatif nutritionnel d'une tablette de chocolat à 90% de cacao classique vs 90% de cacao édulcorée	48
Tableau 11 : Evolution de la consommation chez les adultes entre 1998 et 2007	52
Tableau 12 : Evolution de la consommation chez les enfants entre 1998 et 2007	53
Tableau 13 : Composition nutritionnelle des chocolats noirs, au lait et blancs	58
Tableau 14 : Composition en lipides des différents chocolats	60
Tableau 15 : Teneur en glucides des différents chocolats	66
Tableau 16 : Les minéraux contenus dans le chocolat et leurs propriétés	69
Tableau 17 : Les oligo éléments contenus dans le chocolat et leurs propriétés	71
Tableau 18 : Composition en oligoéléments des différents chocolats.....	72
Tableau 19 : Les vitamines contenues dans le chocolat et leurs principales propriétés.....	73
Tableau 20 : Composition en vitamines des différents chocolats	74
Tableau 21 : Composition en polyphénols dans les différents chocolats	76
Tableau 22 : Effets du chocolat noir riche en polyphénols vs pauvre en polyphénols sur la pression artérielle chez des femmes de poids normal, en surpoids et obèses	84
Tableau 23 : Présentation des effets du chocolat noir versus chocolat blanc sur les paramètres lipidiques et de l'inflammation	87
Tableau 24 : Effets de la consommation de chocolat noir versus chocolat blanc sur la pression artérielle	94
Tableau 25 : Variations du profil lipidique après consommation de cacao chez des volontaires sains et hypercholestérolémiques.....	97
Tableau 26 : Effets de l'alimentation riche lipides enrichis ou non en polyphénols sur le profil lipidique	98
Tableau 27 : Effets d'une alimentation riche en lipides supplémenté en chocolat noir ou blanc sur le profil lipidique	99
Tableau 28 : Etude de la vasodilatation liée à la consommation de cacao riche ou pauvre en flavonols	103

Table des illustrations

Figure 1 : Berceau du cacao	18
Figure 2 : Description de la cabosse contenant les fèves de cacao.....	19
Figure 3 : Principales régions productrices de cacao en Amérique centrale.....	20
Figure 4 : Principales régions productrices de cacao en Afrique.....	26
Figure 5 : Etapes nécessaires à la fabrication de chocolat	30
Figure 6 : Cabosses de cacao criollo	33
Figure 7 : Cabosses de cacao type forastero	34
Figure 8 : Cabosse de cacao type trinitario	34
Figure 9 : Structure du maltitol	40
Figure 10 : <i>Stevia rebaudiana</i>	41
Figure 11 : Structure du stevioside et du rebaudioside A	41
Figure 12 : Structure de l'erythritol.....	44
Figure 13 : Structure de l'aspartame.....	45
Figure 14 : Structure du fructose	46
Figure 15 : Structure du xylitol	47
Figure 16 : Chocolats obtenus grâce à cette expérience (à gauche, chocolat noir, au centre chocolat au lait, à droite, chocolat blanc)	49
Figure 17 : Apport moyen journalier en polyphénols selon les aliments sources en France par sexe (en mg/jour).....	54
Figure 18 : Apport moyen journalier en polyphénols en France (en mg/jour) selon la classe d'âge.....	55
Figure 19 : Source de polyphénols selon la localisation géographique des hommes et des femmes de l'étude	56
Figure 20 : Structure de l'acide oléique	63
Figure 21 : Structure de l'acide linoléique.....	64
Figure 22 : Structure du cholestérol.....	65
Figure 23 : Structure du saccharose	67
Figure 24 : Structure du lactose	67
Figure 24 : Formules développées des différentes catéchines	75
Figure 25 : Effets de la supplémentation en extrait de cacao sur la glycémie de rats sains ou diabétiques.....	80
Figure 26 : Effets du chocolat noir sur l'homéostasie glucidique appréciée par l'HOMA-IR et le QUICKI	81
Figure 27 : Effets du chocolat noir riche ou pauvre en polyphénols sur la variation de la pression artérielle et du rythme cardiaque chez des sujets en surpoids	85
Figure 28 : Illustration du modèle de Markov utilisé dans l'étude de Zoomer et al pour apprécier l'effet de la consommation du chocolat sur la survenue d'évènements cardiovasculaires [83].....	86
Figure 29 : Répartition des rats en 5 groupes dans l'étude de Abbe MD et al.....	92
Figure 30 : effets des polyphénols du chocolat sur la vasodilatation artérielle	95
Figure 31 : Effets du chocolat noir riche en polyphénols sur la fonction endothéliale au sens large	102

Figure 32 : Pourcentage d'adhésion plaquettaire en fonction de la consommation de chocolat noir ou chocolat blanc.	106
Figure 33 : Variation du profil inflammatoire de souris obèses en réponse à un régime riche en lipides et cacao	108

Introduction

Madame de Sévigné, épistolière Française, a dit « prenez du chocolat afin que les plus méchantes compagnies vous paraissent bonnes ».

En effet, depuis l'époque aztèque, le chocolat est connu pour avoir de multiples bienfaits ou vertus santé, pas toujours scientifiquement prouvées ou étayées. Après avoir été rapporté d'Amérique en Europe, au fil des différentes expéditions au XV^{ème} siècle, le chocolat s'est d'abord fait connaître dans les populations les plus riches. Puis, grâce à l'optimisation de sa fabrication afin de le produire à plus grande échelle, il s'est démocratisé et fait connaître de toute la population.

Depuis sa découverte dans le Nouveau Monde par les Espagnols, de nombreuses propriétés lui ont été attribuées. Il était tout d'abord considéré comme boisson des dieux ou fortifiant puis de nombreuses autres propriétés santé lui ont été attribuées. Il était reconnu comme agissant sur le moral en tant qu'antidépresseur naturel par exemple. D'autres propriétés plus délétères lui ont été longtemps attribuées. Il pouvait ainsi induire de l'acné ou une constipation. Cependant, vendu pour ses vertus santé en pharmacie jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle, le chocolat se retrouve maintenant dans les étales de nos grandes surfaces, même s'il continue à intéresser la recherche médicale dans le cadre de la prévention de certaines maladies grâce aux polyphénols qu'il renferme.

Ainsi, aujourd'hui, les industriels de l'agro-alimentaire essaient de donner au chocolat des formes et textures différentes pour dévoiler ses arômes, alors que du côté scientifique, de plus en plus d'études voient le jour pour valider les vertus historiques du chocolat et tendent à en démasquer leurs fondements.

Nous avons souhaité focaliser notre travail sur le rôle du chocolat dans des pathologies tels que l'obésité, les maladies cardiovasculaires ou le diabète, actuellement considérées comme constituant de réels problèmes de santé publique. Ces pathologies ont une forte prévalence dans la population française. En effet, d'après les dernières estimations de l'OMS (Organisation Mondiale de Santé), en 2014, plus de 1,9 milliards d'adultes étaient en surpoids. Parmi ces sujets, plus de 600 millions étaient obèses soit environ 13% de la population adulte mondiale. La prévalence de l'obésité a plus que doublé entre 1980 et 2014 sur l'ensemble de la population mondiale. Cette épidémie

d'obésité est reliée à une majoration du risque de complications comme les maladies cardiovasculaires et le diabète de type 2. A l'heure actuelle, on compte jusqu'à 19,7% de diabétiques chez les hommes âgés de 75 à 79 ans, et 14,9% chez les femmes du même âge. Les maladies cardiovasculaires représentent quant à elles, près de 60% des décès en France et sont également une des premières causes d'admission en affection longue durée (24% d'avis favorables).

La modification des habitudes alimentaires et la pratique d'une activité physique sont recommandées pour diminuer la prévalence de ces pathologies, dans les politiques de santé publiées au travers de campagnes comme celle du Programme National Nutrition Santé (PNNS). C'est ainsi qu'a émergé le concept d'aliment fonctionnel qui pourrait permettre de lutter contre le développement de l'obésité, le diabète de type 2 et des maladies cardiovasculaires et d'en réduire l'incidence.

Dans ce contexte, de nombreux aliments deviennent aux yeux des industriels et des consommateurs des aliments santé. C'est ainsi que nous avons choisi de nous intéresser à l'étude des vertus santé du chocolat qui de part la présence de polyphénols dans sa composition pourrait occuper la place d'aliment santé ou fonctionnel dans notre alimentation. Dans ce travail, nous retracerons dans une première partie l'histoire du chocolat, étudierons ses origines et ses processus de fabrication et nous intéresserons à la place qu'il occupe dans l'alimentation des français. Nous étudierons dans une seconde partie la composition des différents chocolats, sans pour autant nous intéresser aux chocolats rentrant dans la composition des confiseries, et gâteaux, plus complexes à analyser, et retracerons les propriétés de ces nutriments. Enfin, dans la dernière partie, nous chercherons à comprendre en quoi le chocolat et les nutriments qui le constituent pourraient être utilisés dans le cadre de la prévention de différentes pathologies chroniques, comme le diabète de type 2, les dyslipidémies, et les maladies cardiovasculaires, pathologies pouvant être associées à l'obésité.

1. Le chocolat : de son origine à sa consommation en passant par ses différentes variétés

1.1. Les origines du chocolat

Le cacaoyer (*Theobroma cacao*) est un arbuste tropical de 4 à 10 m de haut. Il fait partie de la famille des Malvacées. Il serait originaire des forêts d'Amérique du Sud (région du Haut Orénoque et du Bassin Amazonien) (Fig. 1).

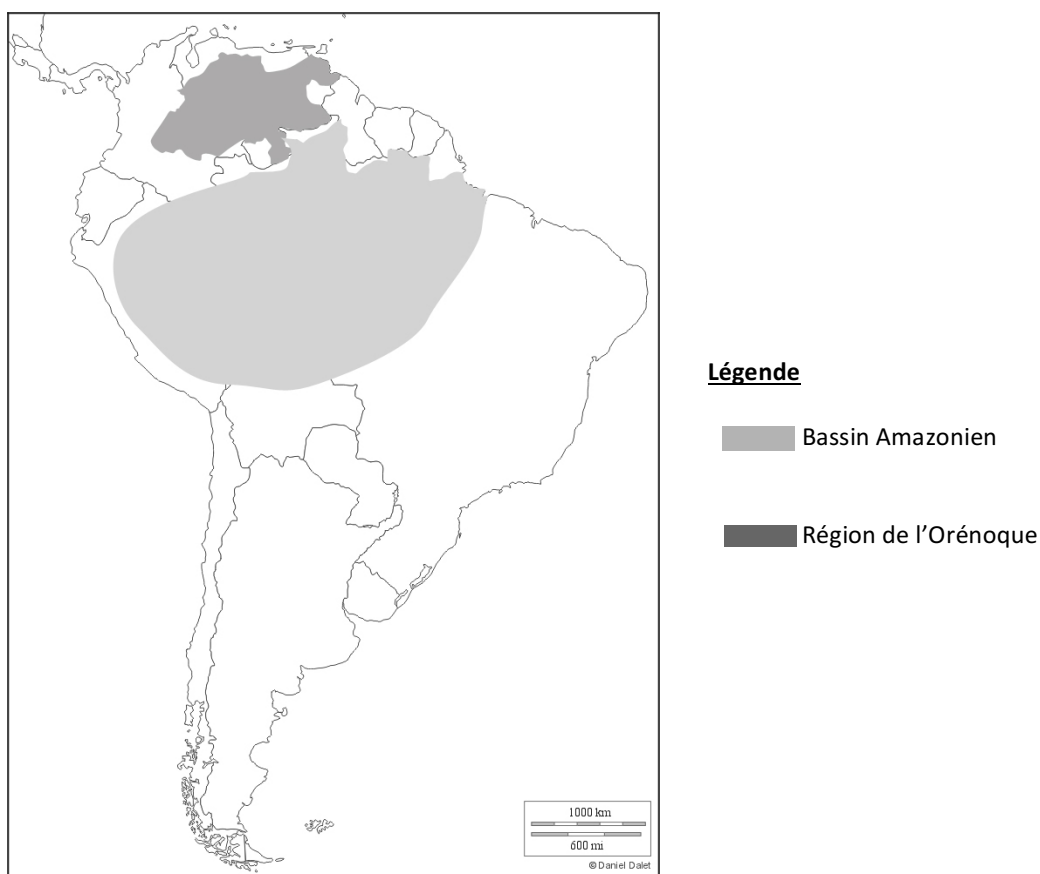


Figure 1 : Berceau du cacao
Adaptation d'après Histoire du chocolat de Nikita Harwich, 1^{ère} édition. Desjonqueres ; 2008

Il pousse à l'ombre de la canopée, c'est à dire en dessous de l'étage supérieur des forêts tropicales humides. Il nécessite 85% d'humidité et une température comprise entre 25 et 30°C. Le cacaoyer possède de très petites fleurs roses blanches apparaissant directement sur le tronc de l'arbre. Il fleurit et fructifie toute l'année mais seule une fleur sur 500 évolue en cabosse. La cabosse est le fruit du cacaoyer. Elle est sillonnée et peut

avoir plusieurs tailles. La couleur varie selon les variétés. Pour le cacao *Forastero*, elles seront grandes et jaunes, alors que pour le cacao *Criollo*, elles seront petites et rougeâtres. Dans ces cabosses, on trouve 30 à 40 fèves blanches ou mauves. Ces fèves sont entourées par le mucilage (Fig 2).



Figure 2 : Description de la cabosse contenant les fèves de cacao
Source : Boston Public Library - domaine public

On ne peut pas dater avec certitude les débuts de la culture du cacao. La première trace recensant l'existence du cacao remonte à – 2000 ans avant JC, soit il y a plus de 4000 ans et fait suite à la découverte d'un vase qui contenait du cacao en Amérique centrale dans l'actuel Mexique. L'anthropologue américaine Doris Stone suggère que le cacao aurait ensuite suivi les itinéraires commerciaux établis par les Mayas pour être diffusé de par le monde. Il est en revanche certain que le cacao se trouvait pleinement intégré au monde agricole de la civilisation Maya vers le III^{ème} siècle avant J-C [1].

1.1.1. La culture du cacao chez les Mayas

Les principales zones de production de cacao des Mayas se situaient sur les basses franges côtières du Pacifique au sud des territoires actuels du Chiapas mexicain, du Guatemala et du Salvador et, vers le nord-ouest, dans les forêts humides et chaudes du Tabasco (Fig 3). Cette limitation des zones de production a rendu le cacao rare et donc précieux.

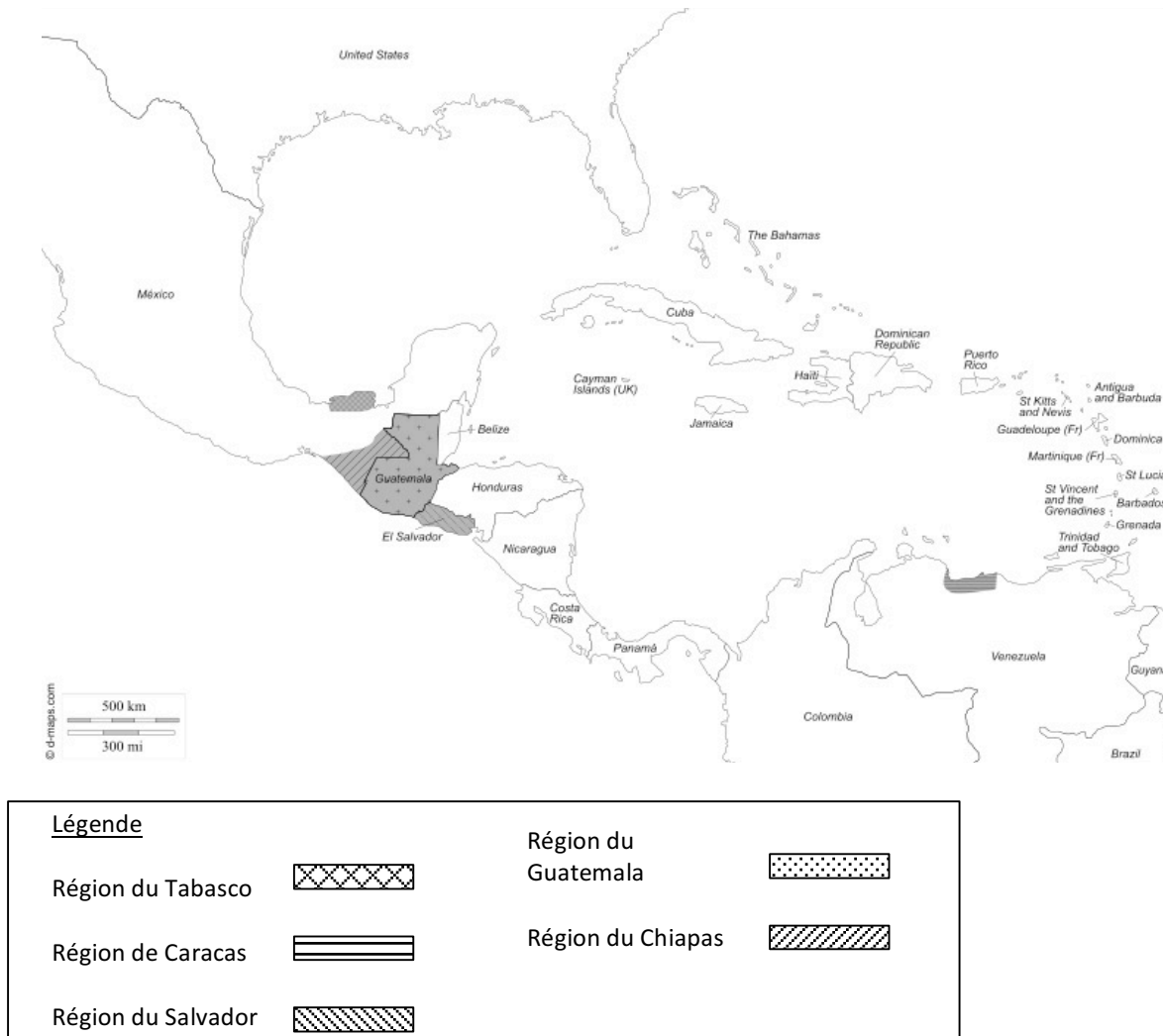


Figure 3 : Principales régions productrices de cacao en Amérique centrale
Adaptation d'après *Histoire du chocolat* de Nikita Harwich, 1^{ère} édition. Desjonqueres ; 2008

Ce sont les Mayas qui ont découvert que la fève de cacao séchée, moulée et mélangée à l'eau pouvait être transformée en boisson appelée « chocolati » (eau amère). C'est également cette civilisation qui a baptisé le fruit de cet arbre *cacau*, d'où dérive le mot « cacao ». Les fèves étaient grillées et broyées sur une pierre chaude. Ces fèves

broyées, donnaient une pâte que les Mayas chauffaient puis mélangeaient avec de l'eau. Cette boisson avait des vertus nourrissantes, fortifiantes et aphrodisiaques. Par ailleurs, ces fèves servaient également de moyen de paiement pour acheter des esclaves ou encore payer les impôts. Plusieurs chroniques attestent que certaines propriétés santé du cacao étaient déjà connues. Une huile pouvait en être extraite. Ce « beurre de cacao » servait ainsi d'onguent aux vertus thérapeutiques mais également de combustible rituel [1].

1.1.2. La culture du cacao chez les Aztèques

La civilisation Maya déclina à partir du IX^{ème} siècle pour des raisons inconnues. Des peuples guerriers venus du Nord, les Aztèques, étendirent leur suzeraineté sur les provinces du Sud délaissées par les Mayas, tout en adoptant les coutumes locales. Le cacaoyer devint ainsi le *cacahuatl* et la boisson obtenue à partir de ses fèves *xocoatl*.

Une extension progressive de la culture du cacao eut lieu, sous l'impulsion de commerçants et de colons d'origine Nahuatl (groupe amérindien mexicain). De nouveaux territoires le long de la côte du Pacifique, comme la province du Nicoya, au Costa Rica actuel, ou comme les terres basses du Colima, au Mexique, furent mises en valeur pour la production du cacaoyer, témoignant de l'engouement croissant suscité par ces fèves de cacao. Ces fèves devinrent ainsi une monnaie d'échange pour les règlements courants dans toute l'Amérique centrale. Il ne semble pas que les Aztèques aient fait un grand usage des propriétés curatives du beurre de cacao. Cependant, certaines parties de l'arbre étaient utilisées à des fins thérapeutiques. Les fleurs étaient utilisées contre une série de maux allant des blessures au pied jusqu'à l'apathie mentale ou la timidité. L'écorce de l'arbre était administrée contre la diarrhée et pour le traitement des hémorroïdes. Ses propriétés, à la fois alimentaires et médicinales, permettaient de conférer au cacao aussi bien la valeur symbolique de monnaie d'échange, que la dimension mythologique de manifestation du pouvoir des dieux [1].

1.1.3. L'arrivée du cacao dans les contrées européennes

1.1.3.1. *Une découverte espagnole à l'origine de son exploitation outre Atlantique*

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. C'est lors de ce voyage que les indigènes lui « montrèrent la manière et la forme dont ils pratiquaient leurs échanges ». Il découvrit ainsi que leur monnaie d'échange n'était autre que la fève de cacao.

Il fallut ensuite, qu'en avril 1520, Hernando Cortès débarque sur les côtes du Tabasco, pour que les européens réentendent parler du cacao. Dans sa première lettre rapport à l'empereur Charles Quint, il y fait mention du cacao : « c'est un fruit comme des amandes qu'ils vendent moulu. Ils tiennent ces fèves en si grande valeur, qu'elles sont traitées comme monnaie dans toutes leurs terres, et achètent avec elles toutes choses nécessaires sur les marchés et ailleurs. Afin d'être consommée en tant que telle, l'amande doit être triturée. Son goût naturel est amer, mais une fois réduite en poudre et mélangée à de l'eau, il en résulte une boisson digne d'un roi. » (d'après Pierre Martyr, *Décades du Nouveau Monde*, 1521 – 1523).

La première recette de préparation à base du cacao est rapportée par Fernandez de Oviedo (historien espagnol du XV^{ème} et XVI^{ème} siècle). Cette recette indique qu'il faut une quantité de 30 amandes moulues pour une chopine d'eau, plus une quantité non spécifiée de roucou pour préparer une boisson à base de chocolat.

Les espagnols ont tenté tout d'abord d'implanter la culture du cacaoyer dans les Antilles : dans la partie orientale de Saint Domingue, à Cuba et surtout en Jamaïque, où dès 1597, ont été enregistrées les premières exportations vers La Havane et Veracruz, en Nouvelle Espagne. La modeste quantité produite était cependant loin de suffire à la demande. Les centres de production se sont donc progressivement déplacés vers les vastes territoires du continent américain. La province de Caracas, au Venezuela et celle

de Guayaquil, en Equateur, se sont imposées ainsi comme les deux principales sources d’approvisionnement en fèves de cacao à destination de l’Europe [1].

1.1.3.2. La production de cacao au Venezuela

La culture du cacaoyer s’étendait tout d’abord vers l’ouest de Caracas, le long des vallées bordées par la chaîne côtière des Andes, ainsi qu’au sud du lac de Maracaibo, vraisemblablement à partir de boqueteaux sylvestres. Les fèves vénézuéliennes sont apparues sur le marché mexicain dès 1620. Le Venezuela retrouve alors sa place comme premier fournisseur de cacao de la Nouvelle Espagne. La main-d’œuvre esclave y a maintenant remplacé le travail indigène. Dès la fin du XVII^{ème} siècle, les plantations de cacao des vallées côtières à l’ouest de Caracas atteignent la limite de leur capacité de production. Afin de satisfaire la demande croissante du marché mexicain, il devient alors impératif de trouver de nouvelles terres d’expansion. La production de cacaoyers s’est alors installée dans les vallées du rio Tuy et dans la région Barlovento. Malheureusement, la liberté du commerce international s’installe progressivement à partir de 1770, marquant la fin de la prédominance vénézuélienne sur le marché du cacao [1].

1.1.3.3. L’Amazonie brésilienne

Les vastes terres de l’Amazonie brésilienne étaient restées quasiment vierges. Dès 1679, la monarchie portugaise se mit à encourager la production de fèves de cacao. Malheureusement le principal obstacle au développement de ces plantations, semblait être l’absence de débouchés ; le Portugal en soi ne représentant pas un marché suffisant [1].

1.1.3.4. Les Antilles

Malgré son introduction précoce par les Espagnols, la culture du cacao dans les îles de la Mer Caraïbe, présentait un certain nombre d’inconvénients : le manque de main d’œuvre indigène, les variations brutales de température, les précipitations abondantes

et les cyclones à l'origine de dévastations régulières de cette partie de l'hémisphère nord. On trouvait des plantations de cacao en Martinique, à Saint Domingue ainsi qu'à Trinidad [1].

1.1.4. Jusqu'à l'export européen et la production Africaine

Au début du XIX^{ème} siècle, la production mondiale de cacao est partagée entre le Venezuela, l'Equateur, l'Amazonie brésilienne et l'île de Trinidad.

1.1.4.1. L'équateur

Les guerres civiles équatoriennes entre 1840 et 1870 et les violentes épidémies de fièvre freinent l'ascension du cacao de Guayaquil : la production reste stationnaire, autour de 7000 tonnes par an. En même temps, de nombreuses plantations ont changé de main et c'est un nouveau groupe de propriétaires qui vit le véritable « âge d'or » de la fève équatorienne. Ils assurent non seulement la production de cacao, mais aussi sa commercialisation vers l'Allemagne, la Hollande, l'Italie et après 1910 vers les Etats Unis [1].

1.1.4.2. Le Venezuela

Au Venezuela, en 1830, le café a déjà remplacé le cacao comme principale denrée d'exportation. La plupart des plants introduits après 1825 sont des hybrides appartenant à la variété des *trinitarios*. Après une exportation comprise entre 4000 et 10 000 tonnes pour la période allant de 1835 à 1900, le cacao assure au Venezuela la seconde place en terme d'export parmi les producteurs mondiaux. Après 1900, le Venezuela se place en quatrième place après l'Equateur, le Brésil et Trinidad [1].

1.1.4.3. Trinidad

Au début du XIX^e siècle le sucre demeure la principale exportation de l'île de Trinidad. Cependant, les gains réalisés par cette culture sucrière ne cessent de décroître. Mais grâce au développement de la consommation du chocolat principalement en

Angleterre, c'est l'export du chocolat qui permettra de relancer la production exportatrice de ce pays. De 1500 tonnes en 1840, les exportations augmentent jusqu'à 7000 tonnes en 1870 puis 15 000 tonnes en 1900. Trinidad devient alors le troisième exportateur mondial de fèves de cacao derrière l'Equateur et le Brésil. L'île devient le fournisseur attitré de la métropole britannique [1].

1.1.4.4. *Le Brésil*

Jusqu'au dernier quart du XIX^e siècle, la production brésilienne reste concentrée dans la région amazonienne. En 1746, plusieurs jeunes pousses de cacaoyer sont plantées dans le municípe de Cannavieiras sur les bords du rio Pardo, dans la province de Bahia. Quelques années plus tard, en 1752, le cacao fait son apparition au bord du rio Cachoeira. La production se développe lentement : en 1840, l'exportation du cacao n'atteint que 103 tonnes. Dès 1900, avec une exportation de près de 17 000 tonnes, le Brésil occupe la seconde place à l'échelle mondiale. La majorité des exportations de cacao est destinée aux Etats-Unis, suivis par l'Allemagne, l'Angleterre ainsi que la Hollande et la France [1].

1.1.4.5. *Implantation africaine*

En 1822, le colonel Ferreira James réussit à acclimater des plants de « forastero » ramenés d'Amazonie sur les sols des petites îles portugaises : São Tomé et Príncipe, situées au large de la côte du Gabon. En 25 ans, le volume de fèves exportées atteint 13 900 tonnes, ce qui place ces îles au cinquième rang mondial.

En 1900, l'Afrique fournit plus de 16 000 tonnes de cacao dont près de neuf dixièmes proviennent des îles de São Tomé et Príncipe. Face à l'Amérique, la production africaine représente 20% de la production mondiale (Fig 4) [1].

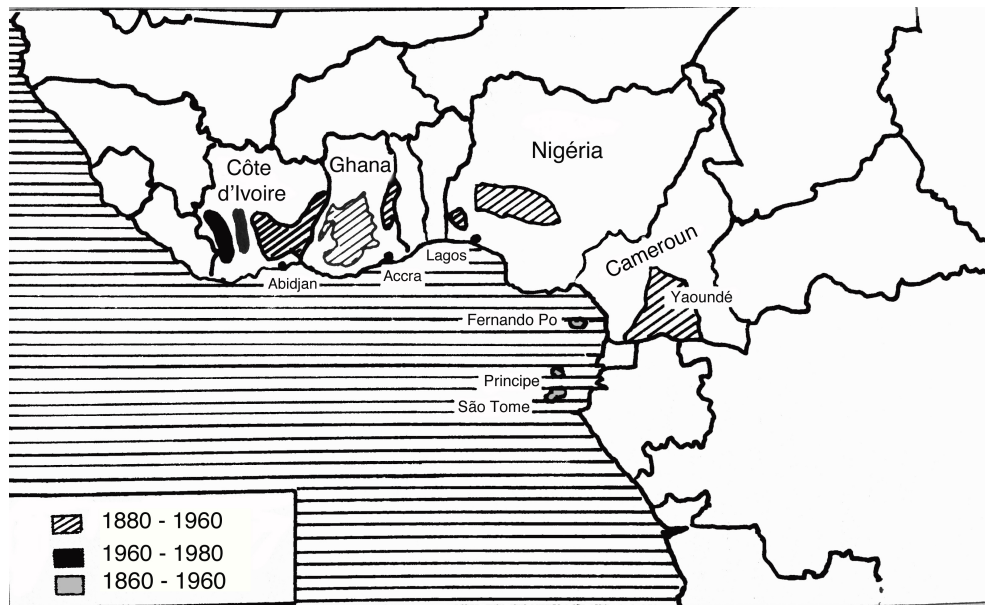


Figure 4 : Principales régions productrices de cacao en Afrique
d'après *Histoire du chocolat* de Nikita Harwich, 1^{ère} édition. Desjonqueres ; 2008

1.1.5. Le cacao à la conquête du monde

1.1.5.1. En Espagne

La boisson des Aztèques et des Mayas a dû subir une série de transformations pour plaire au palais des européens. La plus importante consistait à ajouter à la préparation du breuvage du sucre de canne. L'action édulcorante du sucre réussissait à tempérer l'amertume naturelle du chocolat.

Les moines du couvent cistercien de la Piedra auraient été parmi les premiers en Espagne à goûter au breuvage initiés par l'un de leur retour d'Amérique. La mode du chocolat fait bientôt fureur dans toute la péninsule. Mais le chocolat reste malgré tout un luxe si bien que les quantités de cacao importées en Espagne reste modestes [1].

1.1.5.2. En France

Selon toute vraisemblance, le mariage, célébré en 1615, d'Anne d'Autriche, fille de Philippe III d'Espagne et de Louis XIII contribue à l'introduction du chocolat à la Cour de France. La nouvelle reine fit partager son goût pour le chocolat à toute la cour de France.

Il est certain comme le suggère Fernand Braudel, que ces premières apparitions du chocolat en France furent discrètes [1].

1.1.5.3. De Londres à Amsterdam

C'est certainement de France que le chocolat parvient en Angleterre. Contrairement à la France, où dans un premier temps, sa vente au public est limitée par un privilège d'exclusivité, l'Angleterre place d'emblée le produit sur les étagères des débits de boisson.

S'il est facile de penser que les Pays Bas espagnols découvrent le chocolat avant la France ou l'Angleterre, la valeur du cacao en tant que marchandise tarde à être perçue. Mais les hollandais comprirent que ce cacao pourrait constituer une véritable valeur marchande qui les aiderait à prospérer. Ils en assurèrent donc le transport jusqu'en Europe [1].

1.1.5.4. Du cacao à la fabrication du chocolat

Le siècle des Lumières est, du moins pour l'Europe, celui de la consécration du chocolat. Durant cette période, la fabrication du chocolat bénéficie de nombreuses innovations techniques concernant la manière de travailler la pâte du cacao. Pendant longtemps, les ouvriers broyaient les fèves en utilisant un cylindre sur une pierre inclinée et chauffée mais il faudra attendre 1770 pour que l'ère industrielle du chocolat puisse prendre son envol.

1.1.6. L'ère industrielle

1.1.6.1. De la fève à la production massive de poudre de cacao, les débuts de la fabrication industrielle

Le premier souci des « manufactures » de chocolat était d'augmenter le volume de poudre de cacao produite, en particulier au moment du concassage et du broyage des fèves. D'où l'idée de faire appel à l'énergie hydraulique ou la force motrice de la machine à vapeur pour « moudre » le cacao selon la tradition des moulins à farine.

François Pelletier, à la tête d'une chocolaterie familiale de Paris, présente en 1819 une pompe à vapeur. C'est une pompe à vapeur d'une force de 4 chevaux, qui permet d'animer un « appareil » à fabriquer la pâte à chocolat. Cette machine permet à l'époque de produire plus de 75 kg de chocolat en 12h, soit autant que le travail manuel de 7 ouvriers [1].

1.1.6.2. La presse de Van Houten

Après avoir installé sa propre fabrique à Amsterdam en 1815, Van Houten s'est intéressé à la séparation des différents composants du cacao et plus particulièrement de la graisse générée par broyage des fèves. En enlevant au cacao une large part de sa matière grasse, Van Houten découvrit qu'il pouvait obtenir une substance poudreuse totalement sèche avec laquelle on pouvait désormais facilement préparer le chocolat sous forme de boisson traditionnelle. Le brevet pour le procédé de fabrication du « chocolat en poudre » fut alors déposé par Van Houten en 1828.

Le véritable intérêt de ce procédé n'allait apparaître qu'une vingtaine d'années plus tard. L'extraction de la matière grasse du cacao avait ainsi inauguré l'ère de la boisson instantanée. Malheureusement à cette époque le chocolat dur ne pouvait encore se consommer qu'une fois râpé ou dissous dans un liquide. Mais en dosant le mélange de beurre, de pâte de cacao et de sucre, on allait bientôt découvrir que l'on pouvait faire acquérir au chocolat une consistance plus malléable qui donnerait bientôt naissance à la tablette de chocolat [1].

1.1.6.3. De la poudre de cacao à la tablette de chocolat

La fabrication d'une tablette de chocolat

Pour opérer le mélange de sucre et de cacao, le Français Antiq met au point en 1830 un système mécanique de pilons. Quelques années plus tard, il imagine une

broyeuse mécanique. Vers 1839, Hermann, un ingénieur mécanicien, a l'idée d'adapter au broyage de cacao les machines qu'il construit pour le broyage des couleurs. Mélinand, un constructeur lyonnais invente à son tour une machine où le broyage et le mélange s'effectuent en même temps. Enfin, en 1850, François-Jules Devinck met au point un torréfacteur, un mélangeur et une peseuse.

Les premières étapes de la fabrication des tablettes (Fig. 5) consistaient bien entendu en une récolte des cabosses puis un décabossage permettant de libérer les fèves. Les fèves ainsi récoltées étaient laissées au repos pour permettre leur fermentation puis leur séchage. S'en suivait ensuite l'étape de torréfaction. Malgré les progrès accomplis, certains aspects de la torréfaction n'étaient pas encore entièrement maîtrisés. On différencie ainsi les températures de torréfaction en fonction des types de fèves. Les fèves de cacao du type *forastero* devaient être torréfiées entre 110 et 130°C tandis que les températures de torréfaction des fèves de type *criollo* et *trinitario* nécessitaient une température de torréfaction nettement plus basse. De même, on remarqua qu'il fallait torréfier plus longtemps ou à une température plus élevée, les fèves destinées à la fabrication de cacao en poudre. De plus après leur sortie du four, les fèves nécessitaient d'être portées à un degré de chaleur convenable avant de passer à l'étape suivant du concassage.

L'opération de concassage avait pour but d'éliminer les coques mais aussi le germe de la fève. Cette étape de concassage permettait de réduire les fèves à des fragments de 2 à 3 mm.

Avant de passer au stade de broyage, les fèves torréfiées et concassées, sont mélangées en fonction du procédé choisi par le fabricant. Le dosage des fèves ayant subi les étapes de torréfaction et de concassage tient compte des qualités et des arômes de chacun des cacaos sélectionnés. L'avant dernière étape, l'étape de broyage permet la libération de la matière de cacao c'est à dire une masse onctueuse, de couleur brun foncé, à l'odeur forte et pénétrante, qui se solidifie en refroidissant. Cette « pure pâte de cacao » (ou graisse de cacao) n'est pas encore du chocolat mais une matière première à partir de laquelle on peut obtenir soit du cacao en poudre soit du chocolat [1 - 2] (Fig 5).

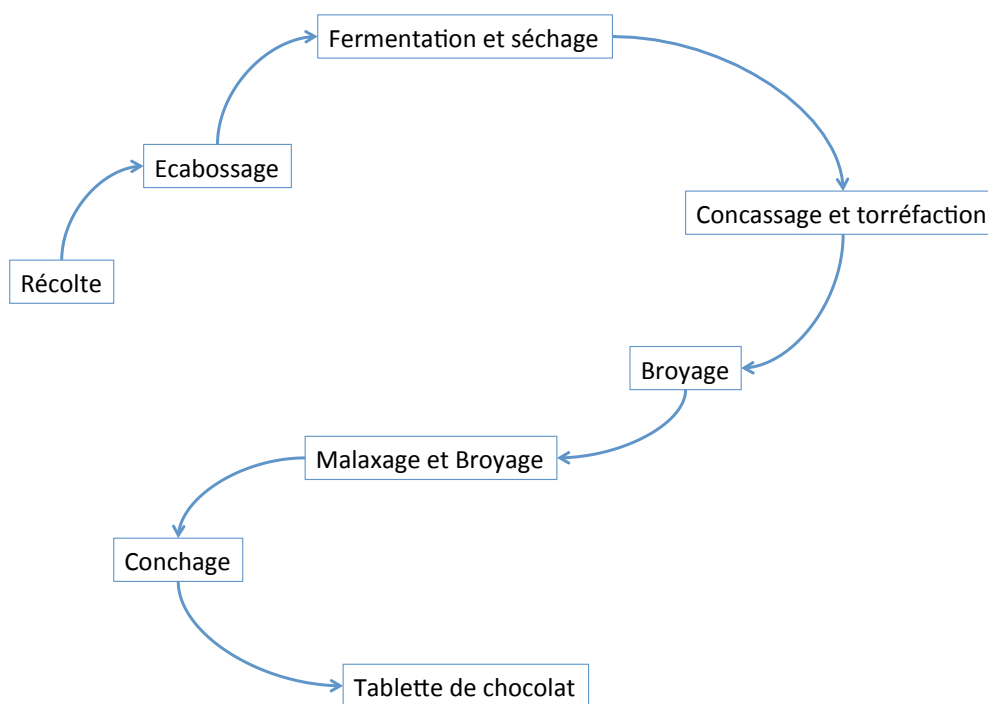


Figure 5 : Etapes nécessaires à la fabrication de chocolat

Cette graisse de cacao, une fois solidifiée se présentait sous forme de briquettes (rappelant les plaquettes de beurre). Cette graisse fut longtemps utilisée en pharmacie pour la préparation des suppositoires, ou dans l'industrie cosmétologique comme base du rouge à lèvres ou dans certains fonds de teint. Le beurre de cacao, en raison de son prix élevé ne sert pratiquement plus qu'à la confection de lotions solaires, à la fabrication de chocolat ou à la consommation sous la forme de chocolat blanc.

La graisse de cacao qui restait dans la presse était une sorte de galette cylindrique appelée « tourteau ». Cette dernière contenait 8 à 20% de matières grasses. Elle était à son tour concassée et broyée permettant ainsi d'obtenir le « cacao en poudre ». A l'heure actuelle, lorsque la poudre est sucrée avant d'être vendue dans le commerce, les normes légales exigent que l'appellation soit changée en celle de « chocolat en poudre » ou de « cacao sucré » si la quantité de sucre n'excède pas 68%. Si cette proportion est comprise entre 68 et 75%, la dénomination « cacao de ménage sucrée » doit être utilisée.

Pour obtenir la tablette, il faut encore réaliser 4 étapes. Ce procédé est celui qui a été découvert et mis en pratique par Fry en 1847, premier inventeur de la tablette.

La première étape, le malaxage consistait à combiner au sein d'une étuve chauffée à 50°, le beurre et la pâte sucrée de cacao. Une fois ramollie, la pâte que l'on pouvait alors appeler chocolat était portée sur une « grande table maintenue tiède ». L'étape du dressage pouvait alors commencer. Cette pâte était ensuite battue à plusieurs reprises pour être disposée dans une petite tablette et finalement être moulée. Les moules étaient ensuite refroidis jusqu'à une température de 9 – 10°C. La dernière étape du démoulage pouvait alors commencer. Avant d'être livrée à la consommation, la tablette était entourée d'une mince feuille d'étain remplacée de nos jours par une feuille d'aluminium destinée à préserver le chocolat de l'humidité, puis enveloppée dans du papier. Une tablette de chocolat produite dans ces conditions semblerait aujourd'hui friable au toucher et désagréablement granuleuse [1 - 2].

Grâce à ce procédé de fabrication, en 1847, la maison Fry à Bristol a réussi à mouler la première tablette de chocolat à croquer. Ainsi en Angleterre, dans les années 1870, la maison Fry représentait la plus grande manufacture de chocolat de tout le Royaume-Uni. Elle a fourni près du quart de chocolat vendu dans le pays. L'un des principaux clients de cette manufacture est la Royal Navy [1].

L'allongement de la durée de conservation des tablettes

En 1853, Emile-Jacques Menier, un chocolatier français, entreprit un vaste programme de modernisation de la fabrication du chocolat. Dans son usine de Noisel, il installa une des premières machines frigorifiques industrielles pour assurer le refroidissement améliorant ainsi la durée de stockage du chocolat [1].

La tablette de chocolat au lait

En 1870, la Suisse n'exporte qu'une centaine de tonnes de chocolat. Mais une série d'innovations va se mettre en place. La plus importante a été inventée par Henri Nestlé. Il s'est consacré pendant de nombreuses années à l'étude de la conservation du

lait. En 1867, ses recherches ont abouti à un procédé de condensation permettant de réduire le lait à l'état de poudre farineuse. Après avoir breveté sa formule, Nestlé en confie l'exploitation à une société. Daniel Peter (un industriel et chocolatier vaudois) avait suivi avec intérêt cette découverte et proposa à Nestlé de l'utiliser dans la fabrication du chocolat. En 1875, la première tablette de chocolat au lait vit le jour [1].

Le conchage : L'invention de Lindt

C'est en 1879 que le suisse Rodolphe Lindt, peu après avoir fondé sa propre fabrique de chocolat à Berne, mis au point le conchage (Fig 5). Il s'agit d'un procédé de pétrissage et d'affinage de la pâte de cacao. Ce processus, pouvant durer 72h, a pour but d'obtenir une homogénéisation la plus parfaite possible tout en améliorant la finesse et l'arôme du chocolat.

Le conchage est une étape entre le dressage et le moulage du chocolat. Il donne au chocolat son onctuosité finale ainsi que sa casse dure et nette. Cette innovation proclame le chocolat suisse au rang de modèle du chocolat en tablette [3].

Les derniers perfectionnements

D'autres améliorations techniques ont accompagné l'élaboration du chocolat. Le sucre n'est aujourd'hui plus ajouté à la pâte de cacao au moment du broyage initial mais lors du pétrissage. De plus, le sucre glace a progressivement remplacé la forme cristallisée. Avant le conchage, deux nouvelles opérations sont pratiquées : le raffinage et l'étuvage.

Le raffinage est en fait un second broyage. Les particules de la pâte obtenue ont une taille inférieure à 30 microns. Le mélange est plus homogène. L'étuvage pendant plusieurs jours, à une température comprise en 60 et 80°C, est nécessaire pour obtenir des chocolats à pâte très sèche tels que les chocolats à cuire.

Enfin, le tempérage est indispensable pour obtenir à la fois une tablette brillante et soyeuse ainsi qu'une bonne conservation [1].

1.2. Les variétés de chocolat

1.2.1. Les fèves de cacao

Le premier groupe de cacaoyers est celui des *criollos*, le deuxième est celui des *forasteros* et le dernier celui des *trinitarios*, qui constitue une variété hybride.

Les cabosses de cacao *criollo* (Figure 6) sont allongées et de surface verruqueuse, d'une couleur allant du rouge au vert, avec une pointe et des sillons marqués. L'écorce est mince. Les fèves sont dodues, bien ronde et d'une couleur blanche. Le *criollo* est le « cacao fin ». Il ne représente que 10% de la production mondiale et est avant tout destiné à la chocolaterie de luxe. Il est utilisé sous forme de mélange car sa rareté le rend coûteux. Le cacao *criollo* n'est cultivé qu'au Mexique, Nicaragua, dans certaines régions du Vénézuéla, en Colombie et dans l'archipel des Samoa ainsi qu'à Java [4].



Figure 6 : Cabosses de cacao criollo
Source : <https://www.jivacubes.com/our-cacao/>

Le cacaoyer *forastero* est le plus répandu (Figure 7). Il fournit près de 80% de la production mondiale et sert de référence pour le cours du cacao sur les marchés internationaux. Ses cabosses de couleur verte, deviennent jaunes à maturité. Leur forme est soit allongée, soit arrondie comme des melons. Toutes ont une surface lisse, peu ou pas sillonnée, et une écorce épaisse et dure. Elles contiennent des fèves aplaties, pourpres foncées à violettes [4].



Figure 7 : Cabosses de cacao type forastero
Source : <https://www.jivacubes.com/our-cacao/>

Le *trinitario* (Figure 8), possède des caractéristiques botaniques hétérogènes. Tous les types intermédiaires entre les deux sous espèces originelles sont observables, d'où des cabosses et des fèves de taille, de forme, de couleur extrêmement variées. Actuellement, le cacaoyer *trinitario* représente 10 à 15% de la production mondiale de cacao. Il est cultivé au Mexique, en Colombie, au Venezuela et en Equateur. On le trouve également à Trinidad et dans d'autres îles des Caraïbes, comme la Grenade ou la Jamaïque. On le trouve aussi au Cameroun [4].



Figure 8 : Cabosse de cacao type trinitario
Source : <http://marcdelage.unblog.fr/2014/03/07/le-cacaoyer-trinitario/>

1.2.2. Du chocolat noir au chocolat blanc, en passant par le chocolat au lait

Le principe de fabrication du chocolat a été décrit ci avant. La grande différence entre ces chocolats se situe principalement dans la composition, comme le résume le tableau ci-après. Ainsi le chocolat noir est plus riche en poudre de cacao que le chocolat blanc. Ce dernier est par contre plus riche en sucre que les autres chocolats, plus du double par rapport au chocolat noir. On peut retrouver environ les mêmes quantités de lait (ou de poudre de lait) entre les chocolats. La graisse butyrique n'est pas retrouvée dans le chocolat noir. Par contre, c'est le seul chocolat qui contient de la poudre de cacao dégraissée. Le beurre de cacao est retrouvé en quantité équivalente dans les trois chocolats décrits ici.

	Poudre de cacao	Poudre de cacao dégraissée	Beurre de cacao	Lait	Sucre
Chocolat noir (65% de cacao)	Minimum 35%	Minimum 14%	Minimum 18%	Minimum 5%	Maximum 20%
Chocolat au lait	Minimum 25%		Minimum 25%	Minimum 12%	Maximum 25%
Chocolat blanc			Minimum 20%	Minimum 14%	Maximum 55%

Tableau 1 : Composition des trois types de chocolats

Source : Institut de santé naturelle (Fleury+Rodet) ; et Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels (INAF), Université Laval, (mai 2006).

1.2.2.1. Le chocolat noir

Le chocolat noir est le premier chocolat à avoir été inventé. Il fait son apparition en 1847, dans la firme des frères Bristol en Angleterre.

Pour qu'un chocolat soit considéré comme « chocolat noir », il faut qu'il contienne au minimum 35% de poudre de cacao. Les chocolats noirs les plus intenses peuvent contenir jusqu'à 99% de cacao. L'intensité du chocolat dépend de plusieurs facteurs : le processus de fabrication, le taux de cacao et le type de fèves de cacao utilisées. Les fèves venant de différentes régions n'auront pas les mêmes goûts. Certaines seront plus amères que d'autres.

L'obtention du goût du chocolat est simple puisqu'il n'y a que deux composantes qui interviennent dans sa fabrication : le sucre et la pâte de cacao. Le sucre va donner au

chocolat son goût sucré et la pâte de cacao, riche en lipides, va donner l'amertume du chocolat [1, 5].

		Goût obtenu					
		Sucré	mi-sucré	mi-amer	amer	Extra amer	Extrêmement amer
Composition (%)	Sucre	50	48	46	44	42	28
	Pâte de cacao	32	36	40	42	50	70
	Restant*	18	16	14	14	8	2

**lait ou graisses ajoutés*

Tableau 2 : Goût obtenu en fonction de la composition du chocolat
Source : D'après UNIFA [5]

Exemples :

Le chocolat noir Alain Ducasse (Mexique, 75% de cacao) a un goût très peu sucré, le cacao est très présent et il présente une légère amertume fruitée. Le chocolat noir Bernachon (Chua, 55% de cacao), s'équilibre entre le sucre, l'amertume du cacao et l'acidité [6].

1.2.2.2. Le chocolat au lait

Le chocolat au lait est inventé en 1897 par Daniel Peter, un chocolatier suisse. Il utilisa le lait en poudre inventé par son voisin Henri Nestlé, 30 ans plus tôt. Jusqu'à cette date, de nombreux chocolatiers avaient essayé de faire du chocolat au lait avec du lait ou de la crème sans réel succès.

La qualité supérieure d'un chocolat au lait se détermine par le choix des fèves de cacao, par le processus de torréfaction et de malaxage et, par le lait en poudre. Ainsi la qualité du lait utilisé pour faire cette poudre, influera directement la qualité du chocolat.

Le lait en poudre et les fèves de cacao (une fois broyées, torréfiées et malaxées) sont mélangés pour donner une pâte. Elle sera de nouveau broyée dans des rouleaux pour n'en faire qu'une pâte avec de minuscules particules. Le conchage est, dans le cas du chocolat au lait, une étape primordiale pour avoir un aspect et un arôme parfait.

Le goût du chocolat au lait est plus complexe à évaluer car deux éléments supplémentaires font partie de sa composition : le type de lait en poudre et le type de pâte de cacao [1].

Avec de la pâte de cacao normale

		Description du goût obtenu		
		Goût prononcé de cacao sans goût marqué de lait	Rapport équilibré entre cacao et lait	Qualité supérieure
Composition (%)	Pâte de cacao	14	12	12.5
	Lait en poudre	16	22.5	30.5
	Sucre	47	42	36.5
	Restant (beurre de cacao)	23	23.5	20.5

Tableau 3 : Description du goût obtenu en fonction de la composition

Source : d'après UNIFA [5]

Avec de la pâte de cacao légèrement colorée

		Description du goût obtenu			
		Lait clair, sucré	Lait entier léger, économique	Lait clair, riche	Clair, très riche, qualité supérieure
Composition (%)	Pâte de cacao	6.5	10.5	8	11
	Lait en poudre	15	19.5	22.5	22
	Sucre	49.5	45	43.5	44.5
	Restant (beurre de cacao)	29	25	26	22.5

Tableau 4 : Description du goût obtenu en fonction de la composition

Source : d'après UNIFA [5]

1.2.2.3. Le chocolat blanc

Le chocolat blanc est fabriqué pour utiliser l'excès de beurre de cacao. La première tablette de chocolat blanc a été faite dans les années 1930. Cependant l'histoire a perdu le nom de son inventeur.

Par définition, le chocolat blanc n'est pas vraiment du chocolat. En effet, il ne contient que le beurre de cacao, à savoir la matière grasse végétale présente dans le

cacao. Le beurre de cacao est ensuite mélangé à d'autres ingrédients tels que le lait, la vanille, et/ou le sucre. Le chocolat blanc n'a pas l'intensité gustative recherchée dans le chocolat noir. Puisqu'il n'est pas très fort en goût, les arômes des ingrédients ajoutés tels que les fruits secs ou les noix ressortent d'avantage [1].

Il existe de nombreuses recettes de chocolat blanc, mais globalement, on peut diviser le chocolat blanc en trois grands groupes.

		Description du goût		
		Très sucré	Standard (moins sucré)	Qualité supérieure
Composition	Lait en poudre	15	23.5	30.5
	Sucre	54.5	46.5	40.5

Tableau 5 : Description du goût obtenu en fonction de la composition
Source : d'après UNIFA [5]

1.2.3. Les chocolats allégés

Les produits allégés sont présents dans de nombreuses catégories d'aliments, il n'est donc pas étonnant de retrouver, sur les étals des magasins alimentaires des chocolats allégés.

Le règlement européen 1924/2006 définit « allégé » de la manière suivante : « Une allégation selon laquelle un produit est « allégé » ou light, ou toute autre allégation susceptible d'avoir le même sens pour le consommateur, doit remplir les mêmes conditions que celles applicables aux termes « réduit en » ; elle doit aussi être accompagnée d'une indication de la ou les caractéristiques entraînant l'allègement de la denrée alimentaire » [7].

Les conditions auxquelles ce règlement fait référence sont :

- La réduction de la teneur en un ou plusieurs nutriments d'au moins 30% par rapport à un produit similaire
- S'il s'agit de micronutriments, la différence ne peut être que de 10% par rapport aux valeurs de référence fixées par la directive 90/496/CEE
- S'il s'agit de sodium ou d'équivalent en sel, une différence de 25% est admissible

1.2.3.1. Les chocolats allégés en sucres

Plusieurs termes sont utilisés pour qualifier les produits, et donc les chocolats, allégés en sucres : sans sucres, à faible teneur en sucre, sans sucres ajoutés. Le terme « sans sucres » est clair, le produit ne contient pas plus de 0.5g de sucres pour 100g. Cela ne signifie donc pas qu'il est allégé ou sans calorie.

L'allégation « à faible teneur en sucres » signifie que le produit ne contient pas plus de 5g pour 100g de sucre dans des aliments solides, et pas plus de 2.5g pour 100mL pour les liquides [8].

La mention « sans sucres ajoutés », ne peut être faite que si l'aliment est fabriqué sans ajout de saccharose, fructose, sirop de glucose, miel ou jus concentré de fruits. L'aliment peut donc contenir des sucres naturellement présents.

Deux méthodes sont utilisées pour alléger un produit en sucre (en particulier en saccharose) :

- Diminuer la quantité de sucres ajoutés au produit fini
- Remplacer le sucre par des produits de substitution tels que les édulcorants ou les polyols

Dans le cas du chocolat, la dernière méthode est la souvent utilisée. Les produits de substitution du saccharose sont le maltitol, l'érythritol, le xylitol ou encore le fructose. Ces produits sont tous caractérisés par leur pouvoir sucrant c'est à dire, la valeur sucrante (édulcorante) du composé chimique par rapport à un composé de référence. Cette référence, est en général une solution de saccharose dont le pouvoir sucrant est, par définition, égal à 1 [9].

1.2.3.1.1. Les édulcorants les plus utilisés

1.2.3.1.1.1. Le maltitol

Le maltitol, aussi appelé E965 est un polyol (sucre alcool), de formule chimique 4-O- α -glucopyranosyl-D-sorbitol. C'est un édulcorant de masse, qui est moins sucré que le

saccharose mais dont l'intensité sucrée est comprise entre 75 et 90% de celle du saccharose. Cette intensité correspond à un pouvoir sucrant de 0,3. Il est extrait de sirop de maïs à forte teneur en maltose.

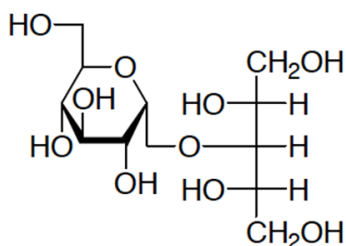


Figure 9 : Structure du maltitol
Source : Pubchem

En utilisant le maltitol, le chocolat obtenu est quasiment identique à celui obtenu avec la recette traditionnelle car le processus de fabrication est identique.

Le maltitol est peu digéré par l'organisme et peut (à fortes doses) entraîner des gaz ou des diarrhées. A très fortes doses, il entraîne des effets laxatifs, des diarrhées et diarrhées osmotiques, ainsi que des nausées et vomissements [8].

Informations nutritionnelles (pour 100g de chocolat)	Tablette édulcorée (Ligne Gourmande – Poulain®)	Tablette classique (Nestlé® - Grand chocolat 70% de cacao)
Valeur énergétique		
kJ	2190	2442
kcal	530	590
Protéines (g)	7,3	8
Glucides (g)	33	30,7
Dont sucres	< 2	26,4
Dont polyols	28,6	non connu
Lipides (g)	43,6	44,9
Dont acides gras saturés	27,6	26,6
Fibres alimentaires (g)	10,2	15,3
Sodium (mg)	Traces	10

Tableau 6 : Comparatif nutritionnel d'une tablette de chocolat à 70% de cacao classique vs 70% de cacao édulcorée

Source : openfoodfacts.fr

En 2004, Poulain® a sorti une gamme de tablettes appelées « Ligne Gourmande ». Dans ces tablettes, le saccharose est remplacé par le maltitol.

1.2.3.1.1.2. La stévia

La stévia (*Stevia rebaudiana*) est une plante originaire d'Amérique du sud où elle est utilisée traditionnellement comme édulcorant.



Figure 10 : *Stevia rebaudiana*

Source : <http://naturemania.com/produits/stevia.html>

Les principaux composants utilisés comme édulcorants présents dans ses feuilles sont le stéviolide et le rébaudioside A.

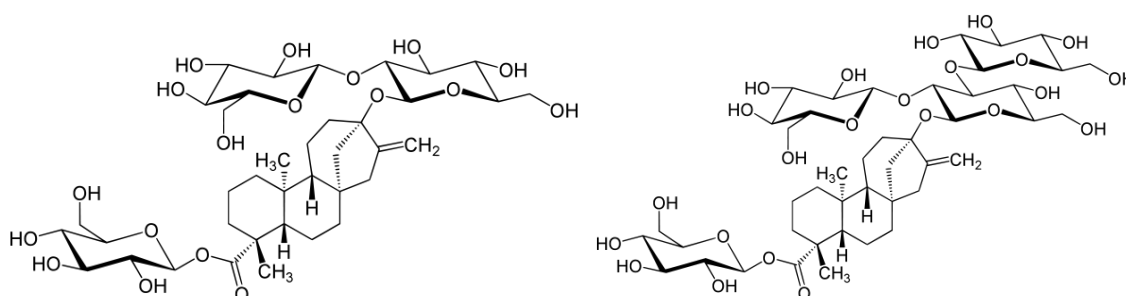


Figure 11 : Structure du stéviolide et du rébaudioside A

A gauche : stéviolide. A droite : rébaudioside A

Source : Pubchem

En mars 2009, l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) a donné un avis favorable à l'utilisation de la stévia. Seul l'usage du rébaudioside A est autorisé en France [13].

La stévia a un pouvoir sucrant très important (300 fois celui du sucre classique) et n'apporte pas de calorie. En remplaçant le sucre de canne, elle permet de manger sucré sans pour autant augmenter les apports énergétiques quotidiens. Les propriétés de la stévia ont été étudiées car celle-ci pourrait présenter des effets sur la santé [10 - 12].

La stévia présente différents effets santé. Elle agit sur

- ⇒ L'absorption du glucose : Les études de Toskulkao et al. (1995), ont ainsi montré que les steviosides aux doses de 1 à 5 mmol n'inhibaient pas l'absorption intestinale de glucose dans le jéjunum du hamster, alors que 1 mmol de steviol inhibait cette absorption d'environ 30%. En revanche, cette dose n'avait pas d'effets sur l'activité Na^+/K^+ ATPase intestinale. Les chercheurs ont suggéré que l'inhibition de l'absorption du glucose par le steviol serait due à une diminution de la concentration d'ATP dans l'intestin par diminution de l'activité des enzymes mitochondriales intestinales. Cette inhibition par le steviol de l'absorption du glucose par les cellules intestinales aurait pour conséquence une diminution de la glycémie plasmatique, potentiellement non souhaitable chez des sujets sains, sans trouble du métabolisme glucidique [10 - 12].
- ⇒ La synthèse du glucose : Une étude plus récente a comparé les effets des feuilles de *S. rebaudiana* et du stevioside sur la glycémie et la néoglucogenèse hépatique chez des rats métaboliquement normaux (Ferreira et al. 2006). L'administration orale d'un mélange de la plante et de stevioside à la concentration de 5,5 mg/kg/jour pendant 15 jours n'a montré aucun effet. En revanche, un mélange de poudre de stevia et de feuilles de stevia à la dose de 20 mg/kg/jour diminuait la glycémie plasmatique en diminuant l'activité de la PEPCK (Phosphoénolpyruvate carboxykinase) et de la pyruvate carboxylase, enzymes clés de la néoglucogénèse. Le stevioside n'a pas montré d'activité sur la diminution de la glycémie dans cette étude.
- ⇒ La pression artérielle : Des études chez les animaux et chez les humains ont montré que les steviosides et les extraits de stevia diminuaient la pression artérielle en induisant une vasodilatation, une augmentation de la diurèse et de la natriurèse conduisant ainsi à une diminution du volume plasmatique (Melis, 1995 ; Melis et Sarnati 1991a, 1991b). L'administration d'extraits de stevia (2,67g de feuilles sèches par jour) chez des rats hypertendus et normaux permettrait d'entraîner une diminution de la pression artérielle après administration quotidienne pendant 40 à 60 jours (Melis, 1996) [12].

Les études chez l'homme ont aussi montré des effets du stevioside sur le système cardiovasculaire. En effet, ce composé (à hauteur d'environ 2g de feuilles sèches par jour)

entraînerait une bradycardie et une hypotension (Humboldt et Boech, 1977). Une légère hypotension a été observée chez des sujets consommant du thé à base de stevia, quotidiennement, pendant 30 jours (Boech et Humboldt, 1981). Dans ces études, le stevioside aurait un effet inotrope négatif, ce qui contribuerait à réduire la pression artérielle.

Au vu des effets potentiels de la stevia sur le métabolisme, la stevia pourrait exercer des effets bénéfiques sur le diabète de type 1 et 2, en freinant la néoglucogénèse. Elle aurait aussi un effet sur la santé cardiovasculaire en diminuant l'hypertension artérielle. Ces propriétés pourraient justifier son utilisation dans des chocolats à destination des patients hypertendus, et/ou diabétiques. Cependant, aucune étude chez l'homme atteint de diabète de type 2 ou d'hypertension artérielle, n'a été menée avec du chocolat enrichi en stevia pour voir si en comparaison à l'utilisation d'un chocolat non allégé, les chocolats allégés et édulcorés avec de la stevia pourraient baisser significativement la glycémie ou l'hypertension artérielle de ces patients [10 - 12].

Informations nutritionnelles pour 100g	Tablette édulcorée avec de la stevia, à 70% de cacao (Villars ®)	Tablette classique (Nestlé ® - Grand chocolat 70% de cacao)
Valeur énergétique		
Kj	2125	2442
Kcal	510	590
Protéines (g)	6	8
Glucides (g)	28	30,7
Dont sucres (g)	0	26,4
Dont polyols	23	non connu
Lipides (g)	45	44,9
Dont acides gras saturés (g)	27	26,6
Fibres (g)	16	15,3
Sodium (mg)	45	10

Tableau 7 : Comparatif nutritionnel entre une tablette édulcorée à la stevia et une tablette de chocolat classique

Source : *Openfoodfacts.fr*

1.2.3.1.1.3. L'érythritol

L'érythritol (ou E968) peut aussi être utilisé pour remplacer le saccharose dans le chocolat. Il s'agit également un polyol, donc un sucre alcool. Il est appelé

tétrahydroxybutane. C'est un édulcorant naturel que l'on retrouve dans les fruits ou les aliments fermentés. Il possède un pouvoir sucrant de 0,7 donc inférieur au saccharose.

Par rapport à d'autres polyols, l'érythritol a une valeur calorique de zéro. Les chocolats avec moins de 30% de calories sont souvent fabriqués à partir d'érythritol. L'érythritol donne un goût frais, ce qui le caractérise de certains autres édulcorants pouvant être utilisés.

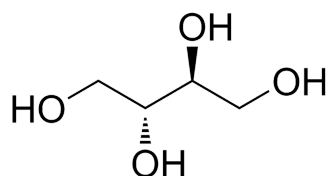


Figure 12 : Structure de l'érythritol
Source : Pubchem

L'érythritol n'entraîne pas ou peu d'effets secondaires lors d'une utilisation régulière. Il serait moins laxatif que d'autres polyols. Il passe dans la circulation sanguine au niveau de l'intestin grêle, il est presque excrété en totalité dans l'urine. Comme il est absorbé en grande partie avant d'arriver dans l'intestin grêle, il ne présente pas les effets laxatifs observés avec les autres polyols. Comme il n'est pas dégradé, il n'apporte pas ou peu de calories [14–16].

Informations nutritionnelles pour 100g	Tablette édulcorée à 70% de cacao (Sukrin ®)	Tablette classique (Nestlé ® - Grand chocolat 70% de cacao)
Valeur énergétique		
Kj	2169	2442
Kcal	519	590
Protéines (g)	3	8
Glucides (g)	4	30,7
Dont sucres (g)	0,15	26,4
Polyols	non connu	non connu
Lipides (g)	52	44,9
Dont acides gras saturés (g)	40	26,6
Fibres (g)	7	15,3
Sodium (mg)	3	10

Tableau 8 : Comparatif nutritionnel d'une tablette de chocolat à 70% de cacao classique vs 70% de cacao édulcorée

Source : openfoodfacts.fr

Aucune étude n'a été menée à ce jour pour montrer un intérêt quelconque des chocolats édulcorés à l'érythritol sur le métabolisme glucidique, lipidique ou la santé cardiovasculaire.

1.2.3.1.2. Les édulcorants à la marge

1.2.3.1.2.1. L'aspartame

L'aspartame a un pouvoir sucrant environ 200 fois plus élevé que le saccharose. L'aspartame a été découvert en 1965 aux Etats-Unis. Il est utilisé dans de nombreux aliments pour remplacer le sucre classique, comme dans les boissons rafraîchissantes, les confitures, desserts, etc. Il est composé de deux acides aminés, la phénylalanine et l'acide aspartique, couplés à un groupe méthyle [17, 18].

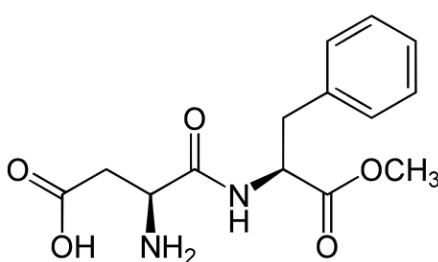


Figure 13 : Structure de l'aspartame
Source : Pubchem

L'aspartame est dégradé en 3 composants lors de son transit depuis l'intestin grêle jusqu'au système circulatoire. La molécule est séparée en méthanol et aspartyl-phénylalanine par des estérases intestinales. La partie aspartyl-phénylalanine est séparée en L-aspartate et L-phénylalanine. Cette étape se fait dans les parois de l'intestin grêle par des peptidases. Puis chaque composant suit sa propre voie de métabolisation [17, 18].

L'aspartame a fait l'objet de nombreuses études et évaluations pour sa sécurité d'emploi, notamment pour ses éventuels effets cancérigènes [19]. Ces études et évaluations sont parvenues à la conclusion que la consommation d'aspartame dans le cadre de la dose journalière admissible actuelle, était considérée comme sûre pour l'ensemble de la population. La dose journalière admissible est de 40 mg/kg de poids corporel par jour. Fin 2013, l'European Food Safety Authority (EFSA) a rendu son avis final sur l'aspartame confirmant que l'utilisation de l'aspartame était sûre pour la consommation humaine [20].

Les tablettes de chocolat à l'aspartame ne sont pas très présentes sur le marché. Leur rôle sur le métabolisme ou la santé cardiovasculaire n'a pas été étudié.

1.2.3.1.2.2. Le fructose

Le fructose est un sucre que l'on trouve abondamment dans les fruits, et les miels. Il est aussi présent en grande quantité dans le sirop d'agave. C'est un sucre qui a la même formule brute que le glucose. Son nom IUPAC est (3S, 4R, 5R)-1,3,4,5,6-pentahydroxyhexan-2-one. Le fructose a un pouvoir sucrant supérieur à celui du saccharose (30 à 40% en plus). Cependant, il apporte autant de calories que le saccharose [16, 21].

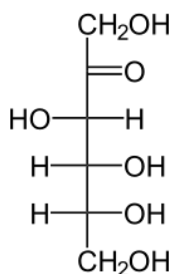


Figure 14 : Structure du fructose
Source : Pubchem

En grande quantité et de part son métabolisme non dépendant de l'insuline, le fructose augmente les dépôts de lipides intrahépatiques, à l'origine de stéatose hépatique. Le fructose stimule la synthèse de lipides lors de sa transformation par l'organisme, il augmente le cholestérol (notamment le LDL cholestérol) et les triglycérides sériques. Pour une forte consommation de fructose, on peut majorer le risque de maladies cardiovasculaires par altération du bilan lipidique. Chez les diabétiques, le fructose augmente l'insulinorésistance. Il augmente aussi l'acide urique [16, 21].

L'utilisation du fructose dans les chocolats édulcorés ne présente pas d'intérêt, en particulier chez les populations à risque comme les diabétiques de type 2 ou les personnes souffrant d'hypertension artérielle ; le fructose pouvant lui même altérer le métabolisme glucidique et lipidique de ces sujets. Aucune étude de l'impact métabolique

du chocolat allégé enrichi en fructose n'a été réalisée à ce jour et ce qui ne permet pas de conclure sur l'intérêt que pourrait avoir ce chocolat.

Informations nutritionnelles pour 100g	Tablette édulcorée à 70% de cacao (Vivis [®])	Tablette classique (Nestlé [®] - Grand chocolat 70% de cacao)
Valeurs énergétiques		
Kj	2266	2442
Kcal	548	590
Protéines (g)	7,3	8
Lipides (g)	42,4	44,9
Dont acides gras saturés (g)	26,5	26,6
Glucides (g)	25,4	30,7
sucres (g)	19,3	26,4
Fructose (g)	18	non connu
Fibres (g)	17,7	10
Sodium (mg)	6	50

Tableau 9 : Comparatif nutritionnel d'une tablette de chocolat à 70% de cacao classique vs 70% de cacao édulcorée au fructose

Source : openfoodfacts.fr

1.2.3.1.2.3. Le xylitol

Le xylitol (E 967) est extrait de l'écorce du bouleau. Il est également présent dans de nombreux fruits. Il est considéré comme un substitut du sucre classique dans les pays nordiques. Son nom IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) est (2R, 3R, 4S)-pentane-1,2,3,4,5-pentol. Il a un pouvoir sucrant d'environ 1.

Le xylitol a une propriété anticariogène. Le xylitol peut donner un goût frais, mentholé au chocolat. Le xylitol apporte moins de calories en comparaison au saccharose, 2,4 kcal/g contre 4 kcal/g pour le saccharose. Cette différence est due à l'absorption, le xylitol ne franchissant pas complètement la barrière digestive [18, 22].

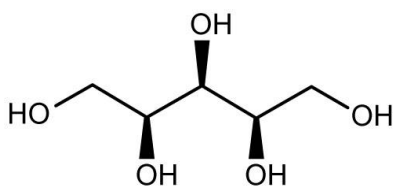


Figure 15 : Structure du xylitol

Source : Pubchem

Le xylitol est fréquemment présenté comme n'ayant pas d'effets secondaires sinon quelques effets laxatifs, diarrhées et douleurs abdominales à doses importantes. Des études ont montré qu'il pouvait y avoir apparition de cancers chez les rats mais aucune transposition n'a pu être établie entre homme et rats concernant les effets de cet édulcorant sur l'induction de cancer chez le rat [18, 22].

Nous n'avons pas assez de recul pour connaître les dangers potentiels du xylitol, et aucune étude n'a été publiée concernant les effets santé des chocolats édulcorés par le xylitol, sur le métabolisme glucidique, lipidique et les maladies cardiovasculaires.

Informations nutritionnelles (pour 100g de chocolat)	Tablette édulcorée à 90% de cacao (esprit santé®)	Tablette classique (Nestlé® - Grand chocolat 84% de cacao)
Valeur énergétique		
Kj	2153	2544
Kcal	522	616
Protéines (g)	12,33	9
Lipides (g)	46,98	51,9
Dont acides gras saturés	27,9	30,6
Glucides (g)	11,34	19,8
Dont sucres (g)	0	15,6
polyols	non connu	non connu
Fibres (g)	15,21	16,7
Sodium (g)	0,02	0,02

Tableau 10 : Comparatif nutritionnel d'une tablette de chocolat à 90% de cacao classique vs 90% de cacao édulcorée

Source : openfoodfacts.fr

1.2.3.2. Les chocolats allégés en graisses

Contrairement au chocolat allégé en graisses et enrichi en sucres, une des méthodes utilisées à ce jour pour alléger le chocolat en graisses est l'ajout de bulles d'air dans le chocolat en remplacement de la graisse sans que ne soit ajouté de sucre. Ces bulles d'air sont en fait imperceptibles, et mesurent environ 30µm de diamètre évitant ainsi de nuire à l'homogénéité du chocolat. De manière tout aussi surprenante, l'université de Warwick a fabriqué un chocolat allégé en graisses non par des bulles d'air mais en remplaçant la graisse par des émulsions de jus de fruit. Dans cette expérience, le beurre de cacao et le lait étaient ainsi remplacés par un jus de fruit, le jus de canneberge. Ce jus de fruit était intégré sous la forme d'émulsion [23]. Ce jus de canneberge était

encapsulé dans des gouttelettes dont la taille ne dépassait pas 30µm, tout comme les bulles d'air qui peuvent être insérées plus classiquement. Pour ce faire, le jus de fruit était inséré dans le chocolat fondu de façon à former une émulsion eau-huile stable, avec pour objectif principal de remplacer environ 50% de la teneur en matière grasse de base du chocolat. Le pourcentage de phase aqueuse (jus de fruit) était ajusté pour correspondre à la quantité de graisse retrouvée dans les trois types de chocolats classiques, en gardant les caractéristiques cristallines souhaitées du chocolat.

Cette étude a démontré qu'il était possible de préparer une confiserie de chocolat dans laquelle 50% de la teneur en matières grasses était remplacée par une émulsion de jus de fruit. Cependant, il n'y a pas de précision quant au goût obtenu et aux conséquences de l'utilisation de ce chocolat chez l'homme sain, diabétique de type 2, atteint d'hypertension artérielle ou encore de dyslipidémie [23].



Figure 16 : Chocolats obtenus grâce à cette expérience (à gauche, chocolat noir, au centre chocolat au lait, à droite, chocolat blanc)

Source : D'après Skelhon T et al. [23]

L'utilisation des chocolats allégés ici présentés pourraient posséder des avantages santé pour les patients diabétiques puisque les édulcorants pourraient améliorer la tolérance glucidique. Cependant, en l'absence d'études bien conduites sur les chocolats allégés dans les pathologies, telles que le diabète de type 2, l'obésité et les maladies cardiovasculaires, nous ne rediscuterons pas de leur intérêt potentiel chez ces patients. Nous n'aborderons pas non plus l'épidémiologie de consommation de ces chocolats allégés, aucune donnée de ce mode de consommation n'étant disponible à ce jour.

1.3. Consommation de chocolat en France : Etude INCA 2 et Nutrinet

1.3.1. Epidémiologie de la consommation de chocolat : étude INCA 2

L'étude INCA 2 (étude individuelle nationale des consommations alimentaires), publiée en 2007, a pour objectif de constituer et de mettre à disposition une base de données de la consommation alimentaire au niveau individuel dans un échantillon de la population vivant en France métropolitaine. Les données de cette étude, ne permettent pas de différencier quel type de chocolat (noir, lait ou blanc), ou encore quelle quantité de chocolat est plus consommée. Ce sont des données globales malheureusement peu informatives sur le type de chocolat consommé, mais qui reflètent bien la consommation de chocolat moyenne des français.

Deux populations ont été incluses dans l'étude INCA 2 : les enfants de 3 à 17 ans et les adultes de 18 à 79 ans. Les participants ont été inclus entre fin décembre 2005 et avril 2007, en 3 vagues afin de tenir compte des variations saisonnières de l'alimentation. Le taux de participation était de 63% chez les adultes et 69% chez les enfants.

La fréquence de consommation du chocolat estimée lors d'une enquête alimentaire reflétant la consommation sur 7 jours consécutifs des individus, par relevé des consommations indiquées sur un carnet alimentaire, permettait des comparaisons avec l'étude précédente INCA 1 qui utilisait la même méthode. D'autres données ont été aussi appréciées telles que les données socio-démographie, d'activité physique ou de sédentarité, les variables anthropométriques, ou encore la consommation de compléments alimentaires [24].

1.3.1.1. Consommation des adultes

D'après cette étude, les femmes consommaient plus de chocolat que les hommes (52,1% versus 44%). Environ la moitié de la population étudiée était consommatrice régulière de chocolat (quelque soit le type de chocolat). La consommation moyenne en

chocolat était plus importante chez les sujets ayant fait des études supérieures (6,7g par jour pour les participants ayant fait des études supérieures versus 5,7g par jour pour ceux ayant un niveau d'éducation équivalent au primaire). Le coût du chocolat pourrait expliquer que des populations ayant un niveau d'éducation plus élevé y ait plus facilement accès.

Les personnes habitant le Nord de la France consommaient plus de chocolat (6,2 g/jour contre 5,4 g/jour pour les sudistes), probablement parce que l'alimentation est plus grasse et plus riche au nord qu'au sud. L'hiver et l'automne étaient plus propices à la consommation de chocolat (6,4g en automne et en hiver contre 5,6 et 4,4g/jour au printemps et en été), peut être parce que la période hivernale est plus propice à la consommation d'aliments plus riches et plus gras. De plus, la période des fêtes de fin d'année est un facteur supplémentaire qui pourrait expliquer une plus grande consommation de chocolat.

La collation de l'après midi était le moment privilégié de consommation de biscuits sucrés et barres céréalières, de chocolat, mais également de pâtisseries et gâteaux, de fruits secs et graines oléagineuses, de boissons chaudes (sauf café). Au cours des autres encas (matin et soir), était consommée une part importante de viennoiserie, de biscuits sucrés, salés et barres céréalières, de chocolat mais aussi d'eaux et de boissons chaudes (y compris café). Ainsi étaient consommés 32% de chocolat au goûter, contre par exemple 13% de chocolat au petit déjeuner.

La consommation de chocolat se faisait surtout au domicile (83,5% versus 16,5%) des personnes interrogées et principalement la semaine (73,5% versus 26,5%). Cette observation était à corréluer au fait que la consommation se faisait surtout en fin de journée (goûter) [24].

1.3.1.2. Consommation chez les enfants

Comme chez les adultes, il y avait plus de filles consommatrices de chocolat que de garçons (respectivement 80,1% et 78,6%). Les enfants dont les parents avaient fait des

études supérieures consommaient plus de chocolat (13 g/jour versus 10,1 g/jour). La consommation de chocolat était plus importante chez les enfants habitant le Nord de la France. Contrairement aux adultes, les enfants consommaient du chocolat surtout en automne (13,3g/jour versus 11,3g/jour en hiver, 1à,5 g/jour au printemps et 11,9g/jour en été).

49% des enfants consommaient du chocolat au goûter et environ un quart au petit déjeuner. Le lieu de prise alimentaire était principalement le domicile (88,6%), ce qui est cohérent avec les données de consommation selon le type de repas. Enfin, les enfants consommaient du chocolat surtout la semaine (72,2% versus 27,8%) [24].

1.3.2. Evolution de la consommation depuis 1998-1999

Chez les adultes

Le taux de consommateurs d'aliments sucrés restait en 2006-2007 identique à celui constatés en 1998-1999 mais les quantités consommées étaient en baisse. Cette diminution était expliquée par la chute des quantités consommées de viennoiseries, pâtisseries et de sucres dérivés tels que les confitures.

A l'inverse, les consommations de crèmes glacées et de chocolats augmentaient. Cette évolution s'accompagnait d'une forte progression du taux de consommateurs de chocolat. Ces observations étaient indépendantes du sexe des individus [24].

	Hommes	Femmes	Ensemble
Taux de consommateurs	+ 42,2%	+ 41,7%	+ 40,2%
Quantité moyenne	+ 58,8%	+ 56,5%	+ 57,9%

Tableau 11 : Evolution de la consommation chez les adultes entre 1998 et 2007
Source : d'après l'étude INCA 2 [24]

Chez les enfants

Chez les enfants (3 à 14 ans), la consommation de produits sucrés avait diminué de 15% entre les deux études. Comme pour les adultes, c'étaient surtout les quantités qui avaient diminué, plus que le taux de consommateurs.

L'évolution des consommations globales d'aliments sucrés était moins nette dans la population adolescente (15 à 17 ans), même si les tendances observées étaient similaires à celles observées dans la tranche d'âge inférieure. Les taux de consommateurs et les quantités de chocolat étaient en hausse. Ceci contrebalançait la baisse des apports en sucres et dérivés [24].

	3 – 14 ans	15 – 17 ans
Taux de consommateurs	+ 12,7%	+ 27,5%
Quantité moyenne	+ 2,8%	+ 53,8%

Tableau 12 : Evolution de la consommation chez les enfants entre 1998 et 2007

Source : d'après l'étude INCA 2 [24]

Cependant qu'en est-il des modalités de consommation du chocolat et du comportement de ces consommateurs : les consommateurs de chocolats consomment-ils des repas plus riches en glucides, en lipides ? Leurs repas sont-ils plus caloriques ? Moins riches en fibres, minéraux et vitamines ? Cela a-t-il une conséquence sur leur état de santé ?

1.3.3. Comportement alimentaire des consommateurs de chocolats

Une étude de grande ampleur est actuellement menée sur le lien entre comportement alimentaire et développement de pathologies, dans le cadre de l'enquête Nutrinet-santé. Cette étude est toujours en cours et se fait sur internet où les participants sont invités à remplir des questionnaires alimentaires. A terme cette étude reliera la consommation en nutriments au devenir métabolique des sujets inclus dans l'étude [25].

En mai 2010, soit un an après le lancement de l'étude, les premiers résultats ont été publiés concernant la consommation de polyphénols des participants. Les sujets inscrits étaient de tout âge. 46% des sujets avaient plus de 45 ans, mais peu de personnes de plus de 75 ans s'étaient inscrites. Parmi les inscrits, plus de 60% des sujets occupaient un emploi, ce qui est cohérent avec les classes d'âge les plus représentées. Ensuite, on

trouvait environ 15% de retraités, et moins de 10% des sujets étaient des étudiants. On trouvait autant de personnes occupant un emploi de cadre, que d'ouvriers (plus de 30% dans chaque classe). La majorité (plus de 20%) des sujets interrogés habitaient en Ile de France. Les autres régions représentaient 5 à 10% des inscrits. La répartition géographique des participants à l'étude était proche de celle de la population française. Ce groupe de participants reflétait de manière très similaire la composition de la population française tant en matière d'âge que de catégories socio-professionnelles ou de répartition géographique.

Cette étude est la première de cette ampleur à évaluer la consommation de polyphénols dans la population française. En moyenne, les apports en polyphénols étaient de 835mg/jour. Les questionnaires alimentaires utilisés ont permis de mettre en évidence les principales sources de polyphénols consommés. La première source de polyphénols était le café (36,9%) puis le thé (33,6%) et enfin le chocolat (10,4%) [25].

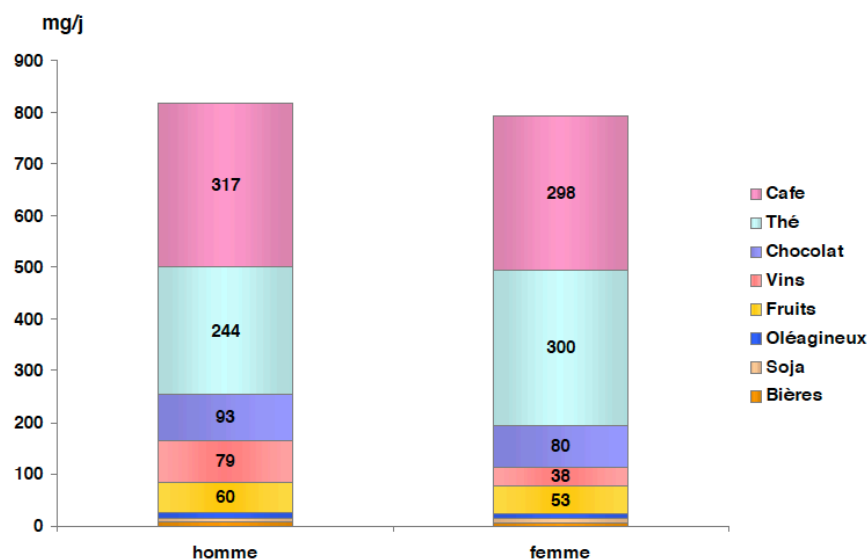


Figure 17 : Apport moyen journalier en polyphénols selon les aliments sources en France par sexe (en mg/jour)

Issu de : Etude Nutrinet Santé. [25]

Dans cette étude, les chercheurs observaient une consommation équivalente de polyphénols entre hommes et femmes. En revanche, des différences étaient mises en évidence sur les sources de polyphénols consommées, en fonction du sexe des participants à l'étude.

Ainsi, les femmes consommaient moins de café et de chocolat que les hommes, mais consommaient plus de thé. Le type de polyphénols apporté était différent selon les aliments consommés. Dans le chocolat, on retrouvait surtout une consommation de catéchines. Par rapport à l'étude INCA 2, on remarque que les femmes consommaient moins de polyphénols issus du chocolat que les hommes. On peut émettre l'hypothèse qu'elles consommaient peut-être plus de chocolat au lait, contenant moins de polyphénols, que de chocolat noir.

De façon générale, les apports en polyphénols augmentaient avec l'âge. Cette observation s'explique par le fait que les aliments contenant une plus grande quantité de polyphénols étaient plus consommés chez les personnes plus âgées [25].

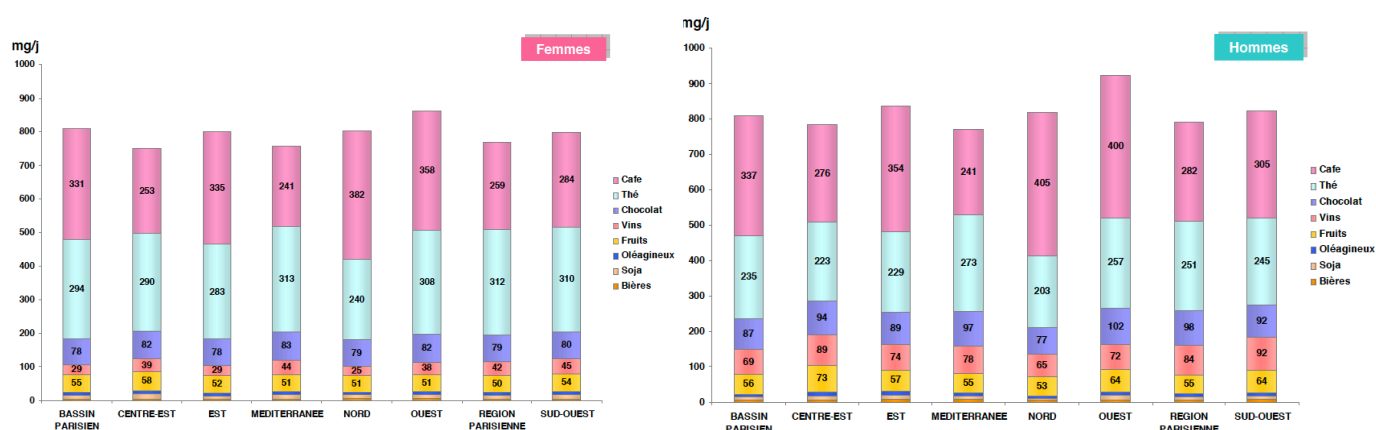


Figure 18 : Apport moyen journalier en polyphénols en France (en mg/jour) selon la classe d'âge.
Issu de : Etude Nutrinet Santé [25]

**Apport moyen journalier en polyphénols en France
(en mg/jour) selon la classe d'âge**

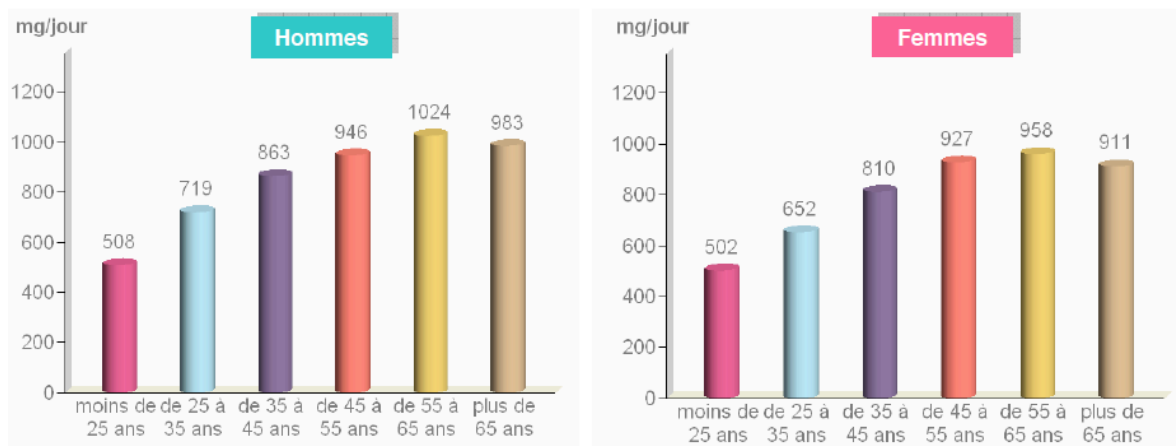


Figure 19 : Source de polyphénols selon la localisation géographique des hommes et des femmes de l'étude
Issu de : Etude Nutrinet Santé [25]

Des différences étaient aussi observées en fonction du lieu d'habitation et de la répartition géographique des participants à l'étude. Par exemple, chez les hommes habitant dans l'ouest de la France, un apport de 102 mg/jour de polyphénols issu du chocolat était retrouvé. Cet apport était de 77 mg/jour chez les hommes habitant au Nord de la France [25].

Il est dommage cependant de n'avoir à ce stade de l'étude, aucune information sur le profil alimentaire de ces consommateurs de polyphénols sous forme de chocolat ou des effets à long terme de cette consommation sur la santé.

Il est également important de souligner qu'aucune donnée sur la consommation en fonction des types de chocolat (noir, au lait ou blanc) n'est à l'heure actuelle disponible. Enfin, aucune étude n'a été publiée sur les formes de chocolat consommées, ainsi nous ne savons pas si le chocolat est plus consommé en tablettes, sous forme de gâteaux ou encore de confiseries.

Ainsi, après avoir illustré comment l'histoire et les avancées technologiques avaient contribué à placer le chocolat sous toutes ses formes sur les étales de nos magasins et fait le point sur la consommation de chocolat dans la population française, il nous apparaissait important d'étudier les différences de composition nutritionnelle de ces chocolats avant de savoir si les différences de composition de ces chocolats pourraient avoir des conséquences en santé. Ces différences pourraient conférer en effet au chocolat des propriétés santé et un rôle bénéfique ou délétère dans différentes pathologies. C'est ce que nous vous invitons à découvrir dans la partie ci-après.

2. Macro et micronutriments du chocolat : des AJR aux propriétés potentielles de santé

S'intéresser à la composition en macro et micronutriments 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.

2.1. Apports nutritionnels du chocolat en macronutriments (pour 100g)

Le tableau ci-après récapitule les teneurs moyennes en protéines, lipides, glucides, et fibres du chocolat en fonction de sa teneur en cacao.

Nutriments (pour 100g) exprimé en g	ANC (pour 2000 kcal/jour) Exprimé en g/jour	Chocolat noir à 70 % de cacao (Côte d'or [®] intense)	Chocolat au lait (Lindt [®] grand chocolat)	Chocolat blanc (Nestlé [®] dessert)
Protéines	56	8	7	4,3
Lipides	84	47	32	33,7
Glucides	250	32	56	55,3
Fibres	30	11	NC	0

Tableau 13 : Composition nutritionnelle des chocolats noirs, au lait et blancs
D'après openfoodfacts.fr et tables Ciqua

D'après ce tableau, on voit que la poudre de cacao qui constitue le chocolat noir est riche en lipides. Contrairement aux idées reçues qui tendraient à faire croire que le chocolat blanc est plus riche en beurre de cacao, le chocolat noir (contenant 70% de cacao) contient le plus de lipides. Le chocolat au lait et le chocolat blanc sont quant à eux ceux qui contiennent le plus de glucides. La différence entre le chocolat blanc et le chocolat au lait réside dans le type de glucides contenus dans ces chocolats. Puisqu'il est fait à partir de lait, on trouve dans le chocolat au lait du lactose dans sa composition ce qui augmente la quantité de glucides qu'il contient. Les fibres sont contenues en faibles quantités dans le chocolat. Elles sont issues du processus de fabrication qui ne les élimine pas totalement lors de l'écabossage du cacao.

2.1.1. Apport en protéines du chocolat

Dans le chocolat, les protéines représentent 5 à 10% de la composition. Ces protéines d'origine végétale sont apportées par la pâte de cacao, mais aussi par la poudre de lait ajoutée dans certains chocolats. Peu d'études cherchent à démontrer que les protéines du chocolat pourraient avoir un effet santé. Nous n'évoquerons pas leurs rôles santé ci-après, ces dernières n'étant à notre connaissance pas étudiées [27, 50].

2.1.2. Apport en lipides du chocolat

2.1.2.1. Composition du chocolat en lipides

Les lipides sont des molécules organiques insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques. Les lipides alimentaires sont principalement constitués d'acides gras estérifiés sous la forme de triglycérides et de phospholipides. Les lipides représentent environ 20% du poids du corps. Ils forment une réserve énergétique mobilisable. Ils forment une partie importante de la membrane entourant chaque cellule. Ils sont pour le cholestérol, l'élément essentiel à partir duquel sont fabriqués les hormones (messagers chimiques) et les acides biliaires [26]. Le chocolat noir contient le plus de lipides, cependant il est important de distinguer les acides gras saturés des acides gras monoinsaturés et polyinsaturés qui le constituent par rapport au chocolat blanc ou au lait.

Le chocolat est composé d'acides gras saturés et insaturés. Les acides gras sont des acides organiques faibles qui ne possèdent qu'une seule fonction acide par molécule et sont formés d'un nombre pair de carbones. Les acides gras saturés sont des acides gras dans lesquels la chaîne de carbone est dépourvue de doubles liaisons carbone-carbone. Les principaux acides gras saturés sont les acides palmitique et stéarique. Les acides gras insaturés contiennent une ou plusieurs doubles liaisons carbone-carbone. On retrouve parmi les acides gras insaturés, les acides gras (n-3) ou (n-6) dénommés ainsi en raison de la position de la première double liaison qui apparaît au niveau du 6° ou du 3° carbone en partant du CH₃ terminal.

On distingue les acides gras essentiels, qui sont ceux que l'organisme ne peut pas fabriquer, et les acides gras non essentiels qui eux, peuvent être fabriqués par

l'organisme. L'acide linoléique et linolénique sont des acides gras essentiels, non synthétisables par l'homme et fournis uniquement par l'alimentation, qui sont des précurseurs pour la synthèse d'autres acides gras dits semi essentiels. En fonction du type de chocolat (blanc, noir ou au lait), la teneur moyenne en acides gras saturés et insaturés n'est pas la même, comme en atteste le tableau suivant [27].

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

Tableau 14 : Composition en lipides des différents chocolats
Source : tables CIQUAL – ANSES 2013

Comme le récapitule ce tableau, même si le chocolat noir est le plus riche en lipides, ce dernier est celui qui renferme le plus d'acide stéarique que de palmitique décrit comme étant plus délétère sur la santé que l'acide stéarique. Il est également à plus forte teneur en acides gras essentiels de type acide linoléique ou α -linolénique précurseurs respectivement des omega 3 et 6 [27]. Le cholestérol est principalement retrouvé dans le chocolat au lait et le chocolat blanc puisque ces derniers contiennent du lait, qui est riche en cholestérol, puisque riche en graisses animales.

2.1.2.2. *Rôle des acides gras*

Il est intéressant de typer les acides gras que renferment les différents types de chocolat et qui n'auront pas les mêmes propriétés en fonction de l'absence ou de la présence de double liaison et de la longueur de leur chaîne carbonée.

2.1.2.2.1. Les acides gras saturés

Les propriétés physiques et physiologiques des acides gras saturés varient en fonction de la longueur de la chaîne carbonée.

Ceux ayant une chaîne courte présentent une plus grande solubilité dans l'eau par rapport aux autres acides gras saturés, et ne se comportent pas physiologiquement comme les autres acides gras. Ils sont plus rapidement absorbés dans l'intestin et sont susceptibles de réguler l'absorption de l'eau et de sodium. On trouve parmi ces acides gras : les acides butyrique et caproïque.

On trouve ensuite les acides gras à chaîne moyenne (de 8 à 12 carbones). Leur absorption et leur catabolisme sont plus rapides par rapport aux acides gras à chaîne plus longue. Ce sont des intermédiaires métaboliques mais aussi des produits de fermentation. Parmi ces acides gras, on trouve les acides caprylique, caprique et laurique [28, 29].

Ces acides gras à chaîne courte et moyenne sont facilement digérés et produisent rapidement de l'énergie. Ils jouent également un rôle physiologique par acylation des protéines. Cette acylation modifie les propriétés physiques et biologiques des protéines en accroissant leur affinité pour les membranes, en stabilisant les relations protéine-protéine, en inhibant ou en activant des protéines enzymatiques [27]. Ces acides gras à chaînes courtes sont présents en faibles quantités dans l'alimentation. Ils semblent neutres vis à vis des concentrations sanguines de LDL cholestérol, HDL cholestérol et triglycérides. Ces acides gras saturés seraient rapidement utilisés pour fournir de l'énergie et n'auraient pas de réel impact sur le métabolisme lipidique [31,32].

Les acides gras ayant une chaîne contenant plus de 12 carbones sont appelés acides gras à chaîne longue. Dans le chocolat, on trouve les acides myristiques, palmitiques et stéariques. Les acides myristiques et palmitiques interviennent dans des modifications co ou post traductionnelles contrôlant l'ancrage de protéines

cytoplasmiques avec la membrane cellulaire. Ces acides gras à longues chaînes et leurs dérivés sont indispensables au développement du cerveau en participant notamment à la constitution de la myéline.

Les acides gras saturés, en particulier C12, C14 et C16, ont tendance à augmenter le taux de cholestérol sanguin et surtout celui du LDL-cholestérol. Ils sont pro-athérogènes et augmentent donc les risques de maladies cardiovasculaires. L'accumulation de ces acides gras, notamment au niveau musculaire ou hépatique serait un élément déclencheur important de l'altération métabolique de ces tissus, en particulier de la diminution de la sensibilité à l'insuline [30]. Ils ont donc un rôle important dans le développement des maladies cardiovasculaires. Sur le long terme, certains de ces acides gras, peuvent altérer les tissus et participer au développement de pathologies comme le diabète, par rapport à d'autres types d'acides gras. L'acide palmitique par exemple, est capable d'influencer de façon délétère le métabolisme cellulaire dans différents tissus. Ils diminuent les capacités d'utilisation du glucose par les cellules musculaires en inhibant la voie intracellulaire conduisant à l'action de l'insuline. L'acide stéarique a au contraire, démontré qu'il était bénéfique en comparaison à l'action de l'acide palmitique [34].

Une surconsommation d'acides gras saturés (notamment d'acide palmitique) joue un rôle non négligeable dans le phénomène inflammatoire qui accompagne l'obésité, notamment en période post prandiale. Les acides gras saturés stimulent la réponse inflammatoire en particulier au moment du repas pouvant induire des effets délétères sur la santé [35, 36].

Les acides gras saturés à très longue chaîne (plus de 18 atomes de carbones), ne sont que très peu présents dans l'alimentation. De plus, leur absorption intestinale est faible. Aucun effet délétère sur les concentrations en lipides plasmatiques n'a été montré pour ce type d'acides gras saturés [32, 33].

2.1.2.2.2. Les acides gras insaturés

Il existe une grande variété d'acides gras insaturés. Le chocolat, qu'il soit noir, au lait ou blanc, contient des acides gras de la série (n-3), (n-6) et (n-9).

On trouve des acides gras mono ou polyinsaturés. Dans le chocolat, on trouve **l'acide oléique** qui est l'acide gras monoinsaturé le plus abondant dans l'alimentation humaine.

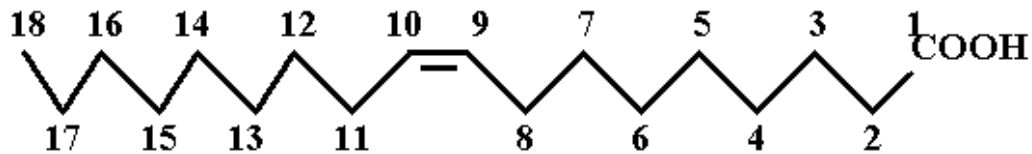


Figure 20 : Structure de l'acide oléique

Source : <http://www.chups.jussieu.fr/polys/biochimie/SGLbioch/POLY.Chp.2.html>

L'organisme peut fabriquer des omega-9 à partir des acides gras saturés. Plusieurs experts estiment qu'un régime alimentaire riche en acides gras monoinsaturés (omega-9) peut contribuer à réduire le risque de troubles cardiovasculaires. Les omega 6 et 9 ont des effets positifs équivalents sur les taux de HDL et LDL-cholestérol, sur l'hypertension et la sensibilité à l'insuline [37]. Selon une méta-analyse publiée en 1998 [38], et une synthèse publiée en 2003 [39], les acides gras monoinsaturés pourraient être intégrés au régime de certains patients souffrant de diabète de type 2. Pour ceux dont le taux de triglycérides sanguins est élevé et qui n'ont pas besoin de perdre de poids, un régime riche en omega-9 peut être aussi efficace qu'un régime riche en glucides et pauvre en graisses. Les acides gras mono-insaturés diminuent un peu moins le LDL cholestérol que les acides gras polyinsaturés. Mais, par rapport aux acides gras saturés, ils entraînent une diminution de ce LDL cholestérol et une légère élévation du HDL cholestérol [44]. De plus une alimentation riche en lipides (surtout s'ils sont sous forme d'acides gras monoinsaturés), entraîne des valeurs plus basses de triglycérides et plus élevées de HDL cholestérol qu'un régime riche en glucides [45].

L'acide linoléique (18 :3 n-3) est présent principalement dans les produits d'origine végétale et les poissons gras. Il est le précurseur de toute la série d'acides gras n-3 formée par désaturations et élongations successives du chef de file des acides gras

omega 3 [28]. Il est anti inflammatoire et sa consommation permettrait de diminuer la concentration en triglycérides plasmatiques [27].

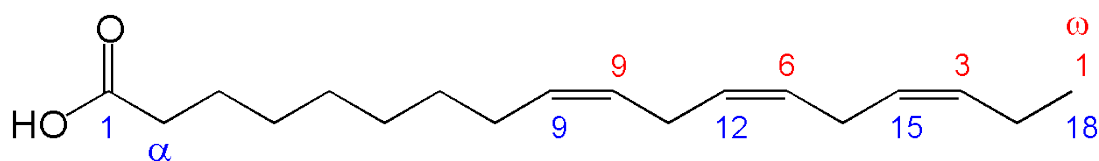


Figure 21 : Structure de l'acide linoléique
Source : <http://fr.academic.ru/pictures/frwiki/65/ALAnumbering.png>

L'acide linoléique (ω -6 : C18 : 2 n-6) est surtout retrouvé dans les matières grasses du lait. Il est plutôt pro-inflammatoire et pro aggrégant plaquettaire [27]. L'acide linoléique a révélé des propriétés anticancéreuses, ce qui a donné de nombreuses recherches in vitro et in vivo sur des animaux. Vers la fin des années 1990, les suppléments renfermant de l'acide linoléique ont fait leur apparition. Ils servaient à améliorer le rapport masse musculaire/masse adipeuse des animaux d'élevage. Les études sur les animaux montrent que l'acide linoléique entraîne une nette diminution de la graisse corporelle et une augmentation de la masse musculaire. Chez l'être humain, l'acide linoléique a un effet faible, mais significatif sur la composition corporelle. Une méta-analyse publiée en 2007 conclut que l'ingestion de 3,2g d'acide linoléique par jour entraîne une réduction de la masse adipeuse, même si elle reste modeste [40].

En ce qui concerne le syndrome métabolique et le diabète, les résultats d'études préliminaires menées sur des animaux, ont révélé qu'une supplémentation en acide linoléique pouvait augmenter la résistance à l'insuline ou normaliser le métabolisme du glucose. Au cours d'études relatives à l'être humain, l'acide linoléique n'a pas eu d'effet bénéfique sur le taux de glucose sanguin. Chez les personnes obèses, cet acide gras semble augmenter le taux de glucose et la résistance à l'insuline [41, 42].

2.1.2.2.3. Le cholestérol

Le cholestérol est une substance à structure polycyclique. C'est un alcool faisant partie de la famille des stérols. C'est un constituant fondamental des membranes

cellulaires, des acides biliaires et des hormones stéroïdiennes. 30% du cholestérol de l'organisme est apporté par l'alimentation, le reste sera synthétisé dans le foie. Le cholestérol se trouve dans chaque cellule et constitue une partie vitale de la membrane cellulaire. Il leur permet d'être moins perméable [46, 47].

Le cholestérol est à l'origine de nombreuses molécules :

- œstrogènes et progestérone produits par les ovaires
- cortisol et aldostérone produits par les glandes surrénales
- testostérone produite par les testicules
- dihydroxycalciférol-1,25, qui est la forme active de la vitamine D. Elle est fabriquée par la peau.

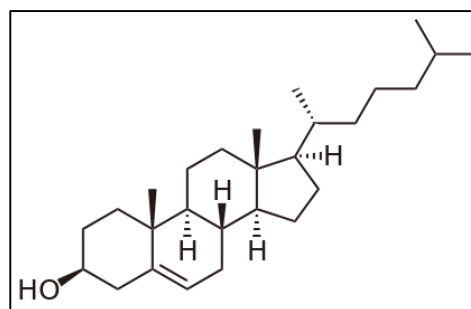


Figure 22 : Structure du cholestérol

Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Cholestérol#/media/File:Cholesterol.svg](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cholest%C3%A9rol#/media/File:Cholesterol.svg)

Le corps fabrique environ 7 fois plus de cholestérol à partir d'acides gras saturés qu'il n'en absorbe. La plus grande partie du cholestérol est fabriquée par le foie mais de petites quantités sont fabriquées par l'intestin, le cortex surrénal et la peau. Le cholestérol alimentaire est absorbé à partir de l'intestin grêle puis va dans le sang jusqu'au foie où il se mélange avec le cholestérol produit par le foie. Ensuite il est transporté vers les tissus cellulaires où il sera utilisé pour fabriquer les membranes plasmiques, ou pour agir comme élément structural dans la synthèse d'hormones stéroïdiennes et de vitamine D [46, 47].

Le cholestérol circulant peut être réparti en deux fractions : le LDL-cholestérol et le HDL-cholestérol. Ces deux types de cholestérol ont des propriétés différentes.

Le LDL-cholestérol (parfois appelé « mauvais cholestérol ») est la fraction dite athérogène du cholestérol. Il transporte le cholestérol du foie vers les tissus périphériques, notamment vers les vaisseaux sanguins. Une accumulation de ce composé dans la paroi des artères contribue à la constitution des plaques d'athérome.

Le HDL-cholestérol est considéré comme protecteur (encore appelé « bon cholestérol ») car il permet le retour du cholestérol vers le foie pour qu'il soit éliminé. Sa concentration plasmatique est inversement proportionnelle au risque de survenue de maladies cardiovasculaires ischémiques [46, 47].

2.1.3. Apport en glucides

2.1.3.1. Composition du chocolat en glucides

Les glucides sont des composés naturels qui jouent un rôle biologique fondamental, notamment dans le stockage de l'énergie. Leur formule chimique de type $C_n(H_2O)_p$ (où $p < n$) fait qu'ils sont également nommés hydrates de carbone. On distingue les glucides simples représentés par les monosaccharides, les oligosaccharides et les disaccharides, et les glucides complexes représentés par les polysaccharides. Ils constituent des réserves énergétiques et sont stockés dans le foie et les muscles sous forme de glycogène facile à mobiliser [27].

Le chocolat contient principalement des glucides simples. Les glucides complexes ne sont représentés que par l'amidon, quelque soit le type de chocolat, en quantité très faible.

Teneur en grammes pour 100 grammes de chocolat	ANC (pour 2000 kcal/jour)	Chocolat noir, 70% de cacao	Chocolat au lait	Chocolat blanc
Glucides totaux	250 g/jour	33,3	56,9	57,7
Glucides simples	37,5 g/jour	21,3	50,5	57,7
Glucides complexes dont Amidon	212,5 g/jour	5,3	1,3	traces

Tableau 15 : Teneur en glucides des différents chocolats
Source : tables Ciquel 2013

Le chocolat noir est celui qui contient le moins de glucides, qu'ils soient complexes ou simples. En revanche, le chocolat blanc comme le chocolat au lait, contiennent uniquement des glucides simples.

Dans le chocolat on peut trouver différents types de glucides. Le premier est le saccharose présent dans tous les types de chocolat noir, au lait ou blanc. C'est un disaccharide composé de deux glucides simples, le glucose et le fructose. Le saccharose est très abondant dans la nature. On le retrouve dans tous les végétaux chlorophylliens car c'est le produit principal de la photosynthèse [48].

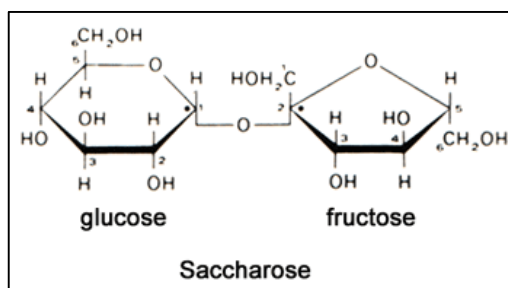


Figure 23 : Structure du saccharose
Source : <http://www.123bio.net/cours/mole/ex1.html>

Le lactose est aussi retrouvé dans le chocolat au lait et le chocolat blanc. Il est constitué d'une molécule de glucose et d'une molécule de galactose. Comme le saccharose, c'est un disaccharide. Il permet de diminuer la saveur sucrée du chocolat [49].

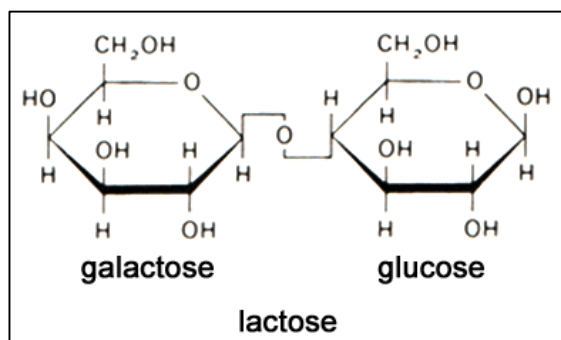


Figure 24 : Structure du lactose
Source : <http://www.123bio.net/cours/mole/ex2.html>

Le glucose peut également être ajouté à la composition du chocolat à hauteur de 20% maximum. C'est un glucide simple qui est ajouté dans de nombreux aliments. Il est la principale source d'énergie de l'organisme [49].

Le fructose est aussi utilisé pour sucrer le chocolat et pour diminuer la saveur sucrée de ce dernier. Dans ce cas, il va remplacer le saccharose dans les chocolats destinés aux diabétiques. S'il n'est pas utilisé en remplacement du saccharose, il peut être ajouté jusqu'à 5% de la masse totale de chocolat [49].

2.1.3.2. Rôle des glucides

Au niveau de l'intestin, les glucides seront dégradés pour libérer des unités osidiques comme le glucose. Ce glucose va ensuite être absorbé par l'intestin pour passer dans la circulation sanguine et rejoindre les hépatocytes dans lesquels il sera stocké ou utilisé par les cellules de l'organisme lorsqu'elles manqueront d'énergie. Dans la lumière intestinale, on trouve aussi du fructose et du galactose qui vont également être assimilés, aller dans le foie pour y être dégradé [9, 22, 27].

Lors d'une trop grande accumulation de glucides, les capacités oxydatives du foie seront saturées et les glucides seront utilisés pour synthétiser des triglycérides qui seront stockés ou redistribués [9, 22, 27].

2.2. Apport nutritionnels en micronutriments

2.2.1. Apport en minéraux et rôles

Les minéraux sont des substances nécessaires, présentes en petites quantités dans l'organisme. Ils interviennent dans certaines fonctions physiologiques comme l'indique le tableau ci-dessous.

Minéral	ANC	Propriétés
Potassium [51, 52]	4000 mg	Maintien de l'équilibre acido-basique Transmission des influx nerveux Maintien de la pression artérielle normale
Phosphore [53]	750 mg	Constituant de la trame minérale de l'os Substrat de la liaison phosphate riche en énergie
Magnésium [54, 55]	H : 420 mg F : 360 mg	Permet le transfert de phosphate Co substrat de la synthèse de protéines Transmission des influx nerveux Maintien de l'intégrité cellulaire Activateur de phosphatases et de phosphokinases
Sodium [56, 57]	2360 mg	Conduction musculaire et cardiaque Transmission des influx nerveux Maintien de l'équilibre acido-basique Régulation du volume plasmatique et de la pression artérielle
Calcium [55, 58]	900 mg	Constituant de la trame minérale de l'os Garant du fonctionnement des vaisseaux sanguins et de la transmission de l'impulsion nerveuse Absorption et utilisation de la vitamine D, vitamine K, magnésium et phosphore Fonctionnement normal des enzymes digestives

Tableau 16 : Les minéraux contenus dans le chocolat et leurs propriétés

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

Pour 100g	ANC	Chocolat noir à 70% de cacao	Chocolat au lait	Chocolat blanc
MINÉRAUX				
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

*Tableau 17 : Composition en minéraux des différents chocolats
Sources : tables CIQUAL – ANSES (2013)*

Le chocolat noir est plus riche en potassium, phosphore et magnésium que les autres chocolats étudiés. 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. La présence de ces minéraux dans le chocolat noir pourrait être bénéfique pour la transmission nerveuse et le maintien de la pression artérielle.

Le calcium est surtout apporté par le chocolat au lait et le chocolat blanc. Ces deux chocolats contiennent du lait en poudre qui contient du calcium. Ces deux chocolats apportent, pour 100g consommés, environ 25% des ANC pour un homme. Enfin, le sodium, est surtout contenu dans le chocolat au lait, et semble issu du lait en poudre.

2.2.2. Apport en oligoéléments et rôles

Les oligoéléments sont des métaux indispensables à la vie d'un organisme vivant mais n'apportant pas d'énergie. Leurs principales propriétés sont récapitulées dans le tableau ci-après.

Oligo-éléments	ANC	Propriétés
Fer [60–62]	H : 9 mg F : 16 mg	Stockage et transport de l'oxygène vers l'ensemble des tissus Rôle dans la production d'énergie Protection des cellules contre les effets néfastes des radicaux libres Rôle dans la réponse immunitaire
Zinc [54, 63]	H : 12 mg F : 10 mg	Rôle dans la réponse immunitaire Impliqué dans le métabolisme des glucides, lipides, protéines et acides nucléiques Protection contre les effets toxiques des radicaux libres Rôle dans la synthèse de métallo-enzymes
Cuivre [54, 62]	H : 2 mg F : 1,5 mg	Rôle dans la qualité des cartilages, minéralisation des os Co facteur enzymatique Régulation de peptides, neurotransmetteurs Essentiel au bon fonctionnement du myocarde Essentiel dans les processus anti-inflammatoires et immuns
Manganèse [54]	3 mg	Cofacteur d'enzymes importantes dans la lutte contre le stress oxydant (superoxyde dismutase)
Iode [54, 64]	150 µg	Essentiel au bon fonctionnement thyroïdien
Selenium [54, 65, 66]	H : 60 µg F : 50 µg	Activation de la glutathion peroxydase (antioxydant) Prévention de l'altération de la membrane cellulaire Maintien de l'intégrité des muscles squelettiques et cardiaques

Tableau 17 : Les oligo éléments contenus dans le chocolat et leurs propriétés

Le chocolat noir contient plus de fer que le chocolat au lait ou le chocolat blanc (10,7mg/100g versus 2 et 0,2g/100g). D'après le tableau ci-après, on remarque que le chocolat noir contient plus d'oligo-éléments que les autres chocolats. L'hypothèse la plus probable est que les oligoéléments sont contenus dans la poudre de cacao et non dans le beurre de cacao. Le chocolat noir est riche en fer, manganèse, cuivre et zinc. Ces oligo-éléments sont importants dans la réponse immunitaire, notamment contre le stress oxydatif. De plus, le zinc, le cuivre et le manganèse sont des cofacteurs enzymatiques et participent donc à de nombreuses réactions enzymatiques. Le fer est très présent dans le chocolat noir. Ce chocolat apporte, 118% des ANC pour les hommes et 66% pour les femmes, en fer. On remarque également d'après le tableau 2 que l'iode est très présent

dans le chocolat au lait. On peut supposer que cela est dû à la forte proportion de lait présente dans ce chocolat, le lait étant une source d'iode.

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

Tableau 18 : Composition en oligoéléments des différents chocolats
Sources : tables CIQUAL – ANSES (2013)

2.2.3. Apport en vitamines et rôles

Les vitamines sont des composés chimiques indispensables aux échanges vitaux. Les vitamines du groupe B sont par exemple, des précurseurs de coenzymes, d'autres vitamines vont être antioxydantes (comme les vitamines C et E). Les rôles des vitamines sont très nombreux. Ils sont récapitulés dans le tableau ci après.

Minéral	ANC	Propriétés
Vitamine D (calciférol) [53, 67, 68]	400 UI/j	Augmentation de l'absorption digestive du calcium et résorption tubulaire du phosphore et du calcium ionisé Rôle important dans le métabolisme phosphocalcique Aide au maintien des taux sanguins de calcium et de phosphore bénéfiques pour la santé ; Rôle dans la construction et la conservation des os Régulation de la division et de la spécialisation cellulaire Modulation du système immunitaire
Vitamine E (tocophérol) [62, 69, 70]	15 à 18 UI/j	Anti oxydant Anti thrombotique
Vitamine K [62, 69, 71]		Indispensable à l'activation de facteurs de coagulation Intervient dans la fixation du calcium
Vitamine C (acide ascorbique) [69, 72]		Important dans le métabolisme glucidique Important dans l'absorption du fer au niveau intestinal

		Antioxydant
Vitamine B1 (thiamine) [66, 69]	1,3 à 1,5 mg/j	Rôle dans le métabolisme glucidique (voie des pentoses)
Vitamine B2 (riboflavine) [63, 69]		Participe à la chaîne respiratoire des dipyrindine-nucléotides et des cytochromes Aide à neutraliser les radicaux libres Aide à la conversion des vitamines B6 et B9 en forme active
Vitamine PP (acide nicotinique) [53, 66]	15 à 20 mg/j	Précurseur du NAD et NADP qui interviennent dans presque toutes les réactions d'oxydoréductions
Vitamine B5 (acide pantothénique) [63, 69]	7 à 10 mg/j	Convertir les aliments en glucose, lequel sert à produire de l'énergie ; Décomposer les lipides, glucides et protéines pour produire de l'énergie Synthétiser le cholestérol ; Produire les globules rouges ainsi que les hormones sexuelles et stéroïdes (anti-stress).
Vitamine B6 (pyridoxine) [55, 73]	2 mg/j	Produire les neurotransmetteurs, qui assurent la communication neuronale ; Produire les hormones, les globules rouges et les cellules du système immunitaire ; Réguler (avec les vitamines B12 et B9) le taux d'homocystéine dans le sang, un acide aminé qui pourrait être associé aux risques cardiovasculaires.
Vitamine B9 et B12 [53, 69, 72]	400 µg/j 3 µg/j	Utiliser les acides aminés, les unités de base des protéines ; Produire les acides nucléiques (par ex. l'ADN), qui constituent le matériel génétique de l'organisme ; Former les globules rouges dans la moelle osseuse ; Assurer une croissance rapide des cellules durant la petite enfance, l'adolescence et la grossesse ; Réguler (avec les vitamines B6 et B12) la concentration sanguine d'homocystéine, un acide aminé, associée à l'augmentation du risque cardiovasculaire

Tableau 19 : Les vitamines contenues dans le chocolat et leurs principales propriétés

Comme on peut le constater d'après les tables Ciquel 2013 et le tableau ci après, les différents chocolats ne contiennent pas la même quantité de vitamines. Le chocolat noir est plus riche en vitamine D, B1, PP, B6 et B9 que les autres chocolats. Cependant, les quantités sont faibles. Leur impact santé sera probablement limité dans le cadre de la consommation de chocolat. Nous ne reparlerons pas de leur effet santé, sur le métabolisme glucidique, lipidique et les maladies cardiovasculaires, dans le cadre d'une consommation de chocolat.

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

Tableau 20 : Composition en vitamines des différents chocolats
Sources : tables CIQUAL – ANSES (2013)

2.3. Les polyphénols

2.3.1. Composition en polyphénols du chocolat

De nombreuses classes de polyphénols ont été identifiées comme les phénols, les benzoquinones, les acides phénoliques, les acétophénones, les acides phénylacétiques, les coumarines, les chromones, les naphtoquinones, les xanthones, les anthraquinones, les flavonoïdes ou encore les lignanes.

Le chocolat est l'un des aliments les plus riches en flavonoïdes. La poudre de cacao contient environ 10% de flavonoïdes, le chocolat noir, un peu moins. En plus d'être des antioxydants, ce sont des pigments responsables de la coloration des fleurs et des fruits. Les flavonoïdes ont un squelette carboné avec deux cycles en C6 reliés par une chaîne en

C3. Il y a plusieurs sous classes dans les flavonoïdes, et la principale retrouvée dans le chocolat est celle des catéchines.

Les catéchines font partie de la famille des flavonoïdes. Elles ont pour formule brute $C_{15}H_{14}O_6$. Elles sont présentes, surtout dans le thé vert, mais également en plus faible quantité dans le chocolat. Les catéchines se différencient par le degré d'oxydation des noyaux phénoliques. Les principales catéchines présentes dans l'alimentation sont la catéchine, l'épicatéchine, la gallocatéchine et l'épigallocatechine.

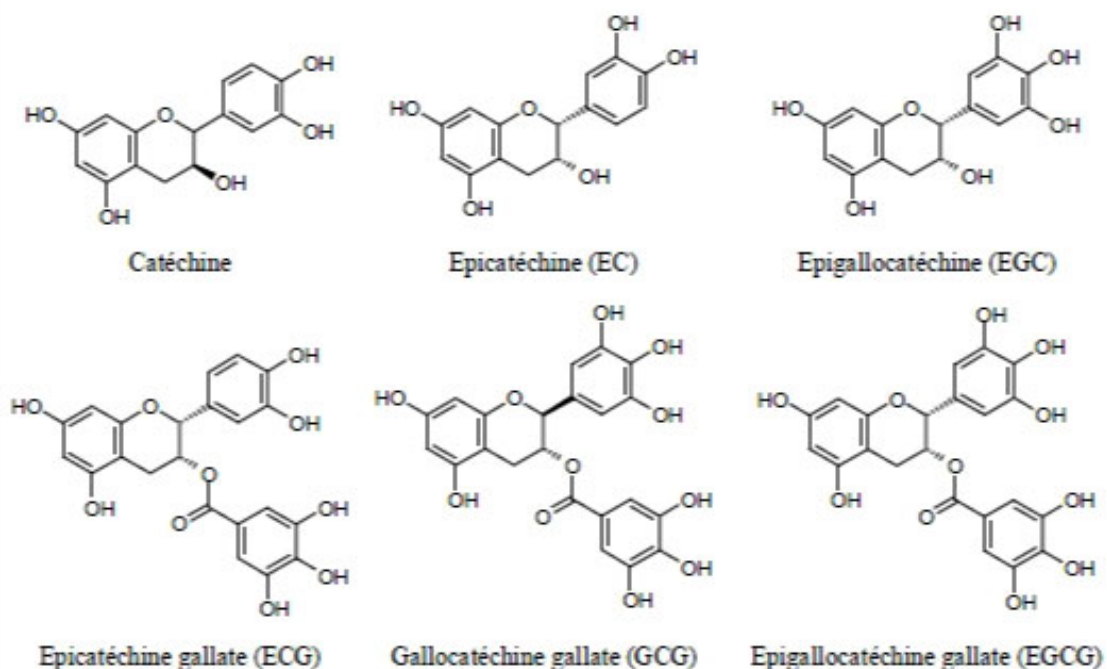


Figure 24 : Formules développées des différentes catéchines

Source : <http://biologiedelapeau.fr/spip.php?mot149>

Les fèves de cacao renferment de fortes quantités de polyphénols. Cependant, durant les différentes étapes qui permettent de passer d'une fève de cacao au chocolat (ou au cacao en poudre), une partie de ces polyphénols est détruite. Malgré cela, le cacao reste une importante source de flavonols. Il peut en contenir plus que le thé ou le vin rouge. En moyenne, les polyphénols peuvent représenter jusqu'à 6% de la masse totale de cacao.

Type de polyphénols et quantité pour 100g de chocolat	Chocolat noir	Chocolat au lait	Chocolat blanc
FLAVONOÏDES			
Flavonols (mg)			
Catéchine	20,50	4,64	0
Epicatéchine	75,53	14,58	0
Cinnanamtanin A2	53,83	NC	0
Procyanidine	62,50	NC	0
Quercetine	25,00	NC	0
ACIDES PHENOLIQUES			
Acide ferulique (mg)	24	NC	0
STILBENES			
Resveratrol (mg)	0,14	NC	0

Tableau 21 : Composition en polyphénols dans les différents chocolats
Source : *phenols-explorer.com*

Malgré les transformations nécessaires pour passer des fèves de cacao au chocolat, on les retrouve dans le chocolat en différentes quantités selon la variété des fèves de cacao. De nombreuses études ont été menées afin d'identifier les propriétés de santé des catéchines. Les catéchines sont de très bons antioxydants in vitro, mais in vivo, cette propriété ne semble pas se concrétiser. De faibles concentrations de catéchines permettent cependant de moduler la signalisation cellulaire et l'expression des gènes.

En fonction de la composition macro et micronutritionnelles du chocolat, et notamment de sa richesse en polyphénols, molécules antioxydantes, on peut s'attendre à ce que le chocolat puisse avoir un rôle dans différentes pathologies, où le stress oxydatif pourrait être exacerbé, comme le diabète de type 2, l'hypertension artérielle ou l'obésité. Ce rôle pourrait aussi être attribué aux vitamines qu'il contient, qui sont, pour certaines, anti oxydantes ou être attribué à la modification de la composition en lipides qui pourrait influencer sur les grandes voies métaboliques. Nous verrons dans la partie suivante, le rôle du chocolat dans ces pathologies, en évoquant le rôle des nutriments qui le constituent et qui pourraient en expliquer les effets. Nous commencerons par étudier son rôle au travers d'études de corrélation entre consommation de chocolat et réduction d'incidence des pathologies telles que le diabète de type 2, l'hypertension artérielle et l'obésité, puis nous tenterons d'illustrer les mécanismes d'action mis en jeu pour expliquer son rôle bénéfique dans ces pathologies. Enfin, nous aborderons les limites à la consommation de chocolat en santé.

3. Intérêt du chocolat en santé : effets et limites

3.1. Consommation du chocolat et effet santé

3.1.1. Effet santé de la consommation de chocolat

3.1.1.1. *Un lien entre consommation de chocolats et diabète ?*

Différentes études épidémiologiques ont montré que la consommation de chocolat noir riche en polyphénols diminuerait le risque de survenue du diabète. Certaines d'entre elles sont reprises ci-après.

Ainsi la corrélation inverse entre consommation en chocolat et la survenue de diabète a été étudiée par l'équipe de Greenberg *et al.* Cette étude épidémiologique incluant des personnes âgées de 45 à 64 ans, sans pathologies cardiovasculaires et sélectionnées dans différents états des Etats-Unis (Caroline du Nord, Minnesota, Maryland et Mississippi), se basait sur la réponse à des questionnaires téléphoniques, s'intéressant à la fréquence alimentaire de consommation de chocolat et l'apparition d'un diabète. Ce questionnaire réalisé à trois reprises renseigné par les volontaires de l'étude, notifiait combien de fois au cours de la dernière année, les participants avaient mangé une barre ou un morceau de chocolat. Les participants étaient ensuite classés en fonction de leur fréquence de consommation de chocolat, en neuf niveaux : « presque jamais », « moins de trois fois par mois », « une fois par mois », « 2 à 4 fois par semaine », « entre 5 et 6 fois par semaine », « 1 fois par jour », « entre 2 et 3 fois par jour », « 6 fois par jour » et « plus de 6 fois par jour ». Il est à noter que le type de chocolat consommé, blanc, noir ou au lait, n'était pas spécifié dans ces questionnaires. 7802 participants ont été sélectionnés, 6614 participants ont pu répondre aux trois enquêtes et 861 nouveaux cas de diabète ont été diagnostiqués. Il a ainsi été démontré dans cette étude que la consommation de chocolat la plus fréquemment associée à une diminution du risque de diabète correspondait à la consommation de 2 à 6 portions par semaine. Aucune association significative n'était retrouvée lorsqu'une portion de chocolat par jour était consommée. Dans cette étude, les participants consommant le plus de chocolat étaient généralement jeunes, de race blanche, minces et fumeurs et consommaient aussi plus

d'aliments riches en lipides et glucides expliquant peut-être, la non corrélation observée entre consommation de chocolat plus de 6 fois par jour et réduction de l'incidence du diabète. Les résultats de cette étude épidémiologie ne prouvent donc pas que la consommation de chocolat diminue le risque de survenue du diabète. Elle suggère qu'une consommation modérée de chocolat serait associée à une moindre survenue de diabète de type 2 [79].

Le lien entre consommation de chocolat riche en polyphénols et diminution du risque de diabète a aussi été suggéré dans l'étude de Oba *et al.* Dans cette étude de cohorte, menée sur une population japonaise d'individus sains (n'ayant pas de diabète, de cancer, de maladie cardiovasculaire), de moins de 70 ans, les participants renseignaient un questionnaire alimentaire et de santé. 5897 hommes et 7643 femmes ont été inclus et les participants étaient classés selon trois catégories correspondant à la fréquence de consommation de polyphénols à travers la consommation de thé, de café et de collations au chocolat. Les trois catégories de consommation étaient : « jamais ou presque jamais », « une à trois collations par mois », et « une collation par semaine ou plus ». La survenue du risque de diabète dans les différentes catégories était étudiée en fin de suivi en étudiant la réponse insulinaire suite à un test de tolérance au glucose. Les résultats ont montré une faible, mais significative corrélation inverse chez les hommes entre consommation de collations au chocolat et risque de survenue du diabète, corrélation qui était non significative chez les femmes, permettant de suggérer que la consommation de chocolat était inversement associée au risque de survenue du diabète chez les japonais ; même si cette population consomme habituellement peu de chocolat par rapport à la population occidentale. D'après les auteurs, cette association inverse serait due à la présence de la caféine contenue dans le chocolat suggérant un rôle des polyphénols du chocolat dans la réduction de l'incidence du diabète de type 2 [78].

Le rôle possible de l'effet des polyphénols contenus dans le chocolat dans la diminution de l'incidence du diabète a été étudié par Ruzaidi A *et al* chez des rats séparés en deux groupes : sains et diabétiques, soumis à une alimentation normale ou à une alimentation contenant de 1 à 3% d'extraits de cacao. L'expérience a été menée pendant 4 semaines. Les résultats ont montré que dans les groupes de rats sains et dans le groupe

de rats diabétiques, la consommation de 1 à 3% d'extraits de cacao permettait d'avoir une glycémie significativement moins élevée par rapport au groupe contrôle. Comme le montre les figures ci-après, les glycémies des groupes ayant une alimentation non enrichie en extraits de cacao, étaient plus élevées à la fin de l'expérience que pour les groupes ayant une alimentation enrichie en cacao.

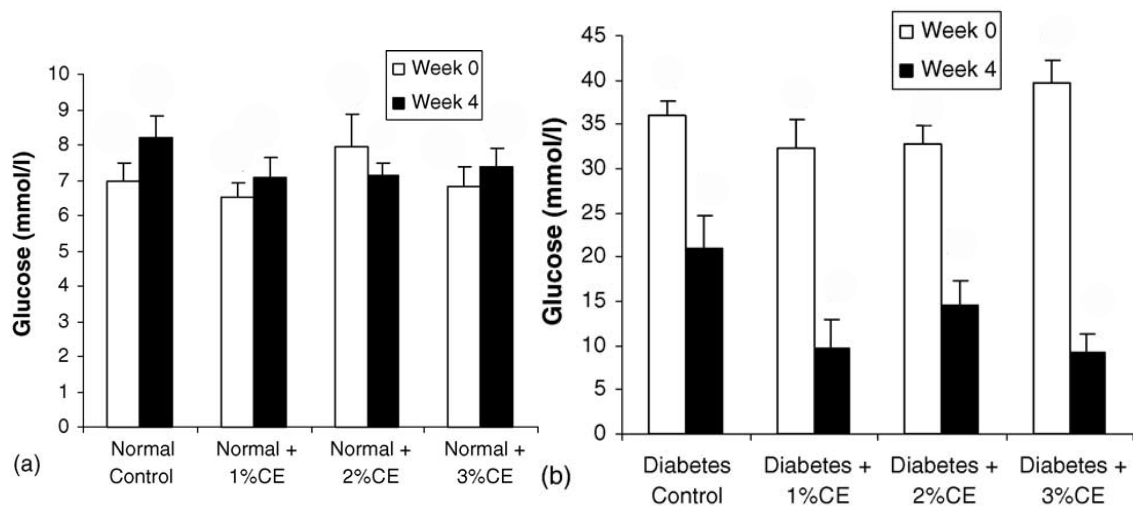


Figure 25 : Effets de la supplémentation en extrait de cacao sur la glycémie de rats sains ou diabétiques
D'après : D'après Ruzaidi A et al. [80]

En conclusion, l'administration de 1 à 3% d'extrait de cacao dans la ration alimentaire permettrait de réduire la glycémie de rats sains et de rats diabétiques. Cet effet était attribué par les auteurs à certains composants du cacao comme l'épicatechine, polyphénol contenu dans le cacao [80].

Les polyphénols contenus dans le chocolat seraient ainsi capables d'induire une diminution de la glycémie, mais également une meilleure réponse à l'insuline, comme le suggère l'étude de Grassi D et al. Dans cette étude, 15 participants ont été inclus afin d'apprécier si le chocolat noir pourrait améliorer la sensibilité à l'insuline. Après une période de 7 jours sans chocolat, les participants recevaient aléatoirement 100g de chocolat noir, contenant 500 mg de polyphénols, ou 90g de chocolat blanc, ne contenant pas de polyphénols, pendant une durée de 15 jours. Après cette phase de 15 jours, une nouvelle période de 7 jours sans chocolat était réalisée. Puis les deux groupes étaient

inversés pour recevoir le chocolat qu'ils n'avaient pas eu durant la période précédente [81].

A la fin de chaque phase, les participants étaient soumis à un test de tolérance orale au glucose. La glycémie et le taux d'insuline étaient mesurés toutes les 30 minutes après le début du test de réponse orale au glucose. Plusieurs mesures ont été réalisées pour apprécier l'insulinosensibilité des sujets après consommation de chocolat avec ou sans polyphénols :

- Evaluation du modèle d'homéostasie de résistance à l'insuline (HOMA-IR)
- Index de sensibilité à l'insuline (ISI)
- Index quantitatif de sensibilité à l'insuline (QUICKI)

Ainsi après consommation pendant 15 jours de chocolat noir comparativement à la consommation de chocolat blanc, l'HOMA-IR diminuait significativement suggérant une réduction de l'insulinorésistance. Le QUICKI quant à lui était significativement plus élevé après consommation de chocolat noir tout comme l'ISI suggérant cette fois une amélioration de l'insulinosensibilité comme en atteste la figure ci-après [81].

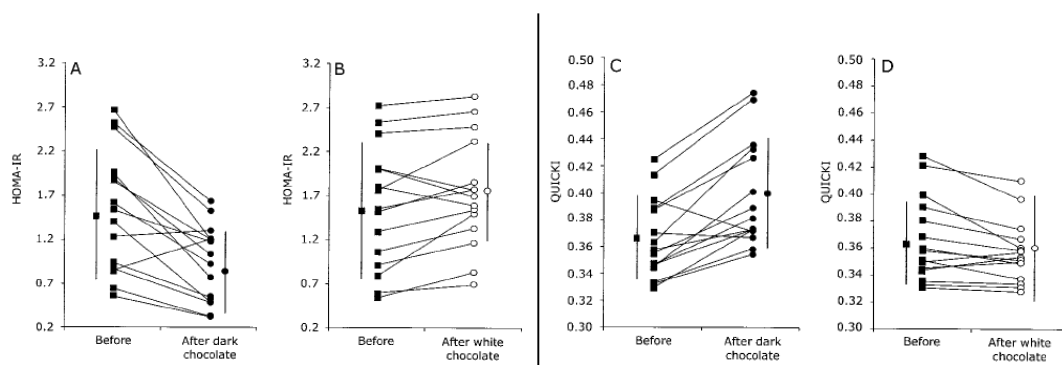


Figure 26 : Effets du chocolat noir sur l'homéostasie glucidique appréciée par l'HOMA-IR et le QUICKI

Source : Grassi D et al. [81]

Légende :

- A : résultats après consommation de chocolat noir de l'HOMA-IR
- B : résultats après consommation de chocolat blanc de l'HOMA-IR
- C : résultats après consommation de chocolat noir du QUICKI
- D : résultats après consommation de chocolat blanc du QUICKI

Ces résultats suggèrent que la consommation de chocolat noir améliore la sensibilité à l'insuline de sujet sain probablement grâce aux polyphénols qu'il contient ; le chocolat blanc ne contenant pas de polyphénols n'induisait pas cette amélioration d'insulinosensibilité. [81]

Cependant malgré l'amélioration de l'équilibre glycémique par amélioration de l'insulinosensibilité et l'existence d'un lien entre consommation modérée de chocolat et diminution de l'incidence de diabète probablement en lien avec la consommation de polyphénols qu'il contient, des études sur un plus grand nombre de sujets semblent nécessaires pour appréhender à plus large échelle les effets protecteurs du chocolat noir ou d'autres aliments contenant des polyphénols sur l'insulinosensibilité et l'incidence du diabète. De plus, des études chez des patients diabétiques semblent nécessaires pour appréhender l'impact des polyphénols du chocolat sur l'amélioration de l'insulinosensibilité.

3.1.1.2. Un lien entre consommation de chocolats et maladies cardiovasculaires ?

Les maladies cardiovasculaires tout comme le diabète, sont des facteurs importants de la morbi-mortalité chez l'homme et la femme. Les aliments dits fonctionnels auraient un intérêt potentiel comme régulateurs de l'apparition de maladies cardiovasculaires. Ainsi, le chocolat a émergé comme pouvant être un aliment fonctionnel qui pourrait réduire l'incidence de ces pathologies, comme le suggère une synthèse des études épidémiologiques proposée par Paillard F *et al*, 2014 que nous nous proposons d'illustrer ci-après [82].

Selon cette méta-analyse, le chocolat et les polyphénols qu'il renferme, pourraient réduire la pression artérielle. Ainsi, la consommation de 30 mg de polyphénols issus du chocolat noir, pendant 18 semaines permettait une diminution modeste mais non négligeable de la pression artérielle systolique et diastolique, respectivement de 2,9 et 1,9 mmHg chez des hommes sains ; cette diminution n'étant pas observée avec la consommation d'une même quantité de chocolat blanc objectivant ainsi le rôle des polyphénols dans la réduction de la pression artérielle [82].

Le rôle antihypertenseur des polyphénols du chocolat, retrouvé également dans l'étude de Quiñones M. *et al*, renforce cette hypothèse. Le but de ces auteurs était plus

précisément d'évaluer l'effet antihypertenseur possible, à court terme, de polyphénols extraits de cacao après leur administration orale chez des rats hypertendus. Les rats étaient leur propre contrôle, et plusieurs concentrations d'extraits de cacao riche en polyphénols étaient utilisées. Avant l'administration des différentes solutions, les rats hypertendus montraient des valeurs de pressions systoliques de $216,9 \pm 3,3$ mmHg et de pressions diastoliques de $158,8 \pm 3,8$ mmHg. Les valeurs de tensions artérielles obtenues après administration orale d'eau distillée étaient très similaires à celles obtenues avant son administration. Par contre, l'administration de polyphénols extraits de cacao entraînait une diminution significative de la pression artérielle (diastolique et systolique) chez les rats hypertendus. Cette diminution de la tension artérielle systolique était maximale lorsque la concentration de polyphénols de la solution administrée était de 80 mg/kg, avec une diminution de $28,6 \text{ mmHg} \pm 4,5 \text{ mmHg}$, suggérant un rôle des polyphénols du chocolat dans la baisse de la pression artérielle [84].

D'autres essais ont été réalisés chez des personnes en surpoids ou obèses pour apprécier le rôle des polyphénols du chocolat sur la réduction de la pression artérielle. Dans l'étude d'Almoosawi S *et al*, des femmes de poids normal, en surpoids ou obèses étaient incluses. Comme pour l'étude de Grassi D *et al*, une période sans consommation de chocolat était observée en début d'expérience puis les participantes recevaient, par jour, soit 20g de chocolat noir, contenant 500 mg de polyphénols, soit 20g de chocolat noir placebo, pauvre en polyphénols puis les groupes de participantes étaient inversés. Chaque phase de consommation de chocolat durait 4 semaines. Pour les besoins de l'étude, les participantes devaient répartir leur consommation de chocolat tout au long de la journée, sans changer leurs habitudes alimentaires. Une liste de produits riches en polyphénols était fournie aux participantes afin qu'elles ne consomment pas ces aliments et boissons pendant la durée de l'étude pour ne pas masquer l'effet des polyphénols du chocolat [87].

Afin de simplifier la présentation des résultats, les données des femmes en surpoids et obèses ont été regroupées pour ne faire qu'un seul groupe. Chaque groupe comprenait 21 femmes. Les résultats sont présentés ci après.

		Chocolat noir riche en polyphénols		Chocolat noir placebo	
	Groupe d'IMC	Début d'expérience	Fin d'expérience	Début d'expérience	Fin d'expérience
Pression artérielle systolique (mmHg)	< 25	108 (103 – 110)	103 * (99 – 107)	107 (104 – 109)	108 (103 – 113)
	≥ 25	119 (114 – 124)	115 * (110 – 119)	120 (116 – 123)	118 (114 – 121)
Pression artérielle diastolique (mmHg)	< 25	72 (69 – 74)	70 (68 – 72)	72 (69 – 74)	73 (71 – 76)
	≥ 25	79 (75 – 83)	76 * (72 – 80)	79 (75 – 83)	80 (76 – 84)

Tableau 22 : Effets du chocolat noir riche en polyphénols vs pauvre en polyphénols sur la pression artérielle chez des femmes de poids normal, en surpoids et obèses

Source : D'après Almoosawi S et al. [87]

Avec * correspondant à $p < 0,05$

Le tableau ci-avant, montre une diminution de la pression artérielle (systolique et diastolique) plus importante pour les femmes ayant un IMC supérieur à 25 kg/m^2 que pour les autres femmes, et suggère que les sujets en surpoids et obèses répondent mieux aux propriétés hypotensives du chocolat noir. Les auteurs ont cependant noté que la réponse était différente d'un sujet à l'autre, et n'était pas toujours associée à une diminution significative ou de même ordre de grandeur [87].

Ces données sont cohérentes avec des résultats plus récents rapportés par Davison *et al*, dans une cohorte de sujets présentant un $\text{IMC} \geq 25 \text{ kg/m}^2$ où l'objectif était d'évaluer les effets des polyphénols du cacao et de l'exercice physique régulier sur la pression artérielle. Les participants étaient répartis aléatoirement et recevaient du chocolat riche ou pauvre en flavonols et pratiquaient ou non de l'exercice physique quotidiennement. D'après cette étude, le chocolat noir riche en flavonols diminuerait la pression artérielle diastolique en présence ou en absence d'activité physique, contrairement au chocolat pauvre en flavonols. Les résultats de l'étude sont représentés ci dessous [88].

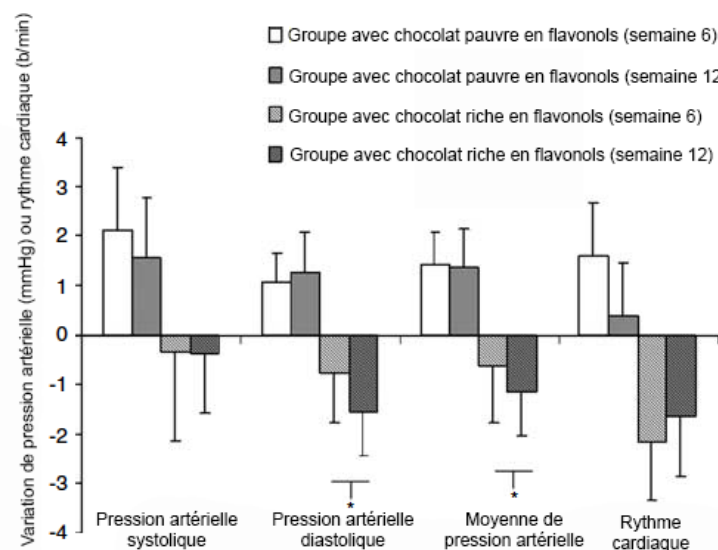


Figure 27 : Effets du chocolat noir riche ou pauvre en polyphénols sur la variation de la pression artérielle et du rythme cardiaque chez des sujets en surpoids
D'après : D'après Davison K et al. [88]

Sur ce schéma, les variations de pression artérielle et de rythme cardiaque étaient plus importantes avec le chocolat riche en flavonols qu'avec le chocolat pauvre en flavonols suggérant que le chocolat noir riche en flavonols permettrait donc d'améliorer la fonction endothéliale des sujets en surpoids et obèses, en diminuant principalement la tension artérielle diastolique [88].

La consommation de chocolat au-delà de sa capacité à réduire la pression artérielle, pourrait également réduire les événements cardiovasculaires. Ainsi, Zoomer *et al*, ont cherché à modéliser l'efficacité à long terme de la consommation quotidienne de chocolat noir sur la santé cardiovasculaire dans une population présentant un syndrome métabolique et donc à haut risque de développer des maladies cardiovasculaires. Les participants de l'étude ne devaient pas présenter de maladies cardiovasculaires et/ou diabète au préalable. Le modèle de Markov a été utilisé pour modéliser les effets que pourraient avoir la consommation quotidienne de chocolat noir sur la santé cardiovasculaire. Ce modèle est présenté ci-après. Il permet de suivre sur le long terme le devenir d'une population donnée en la séparant en différents groupes selon tout d'abord leur consommation de chocolat, puis leur survie avec ou sans maladie cardiovasculaire et leur mortalité due ou non aux maladies cardiovasculaires. Chaque groupe ainsi défini était ensuite subdivisé en ces mêmes sous-groupes pour suivre leur devenir en terme de

survie et de mortalité en lien ou non avec la présence de maladies cardiovasculaires comme schématisé ci-après [83].

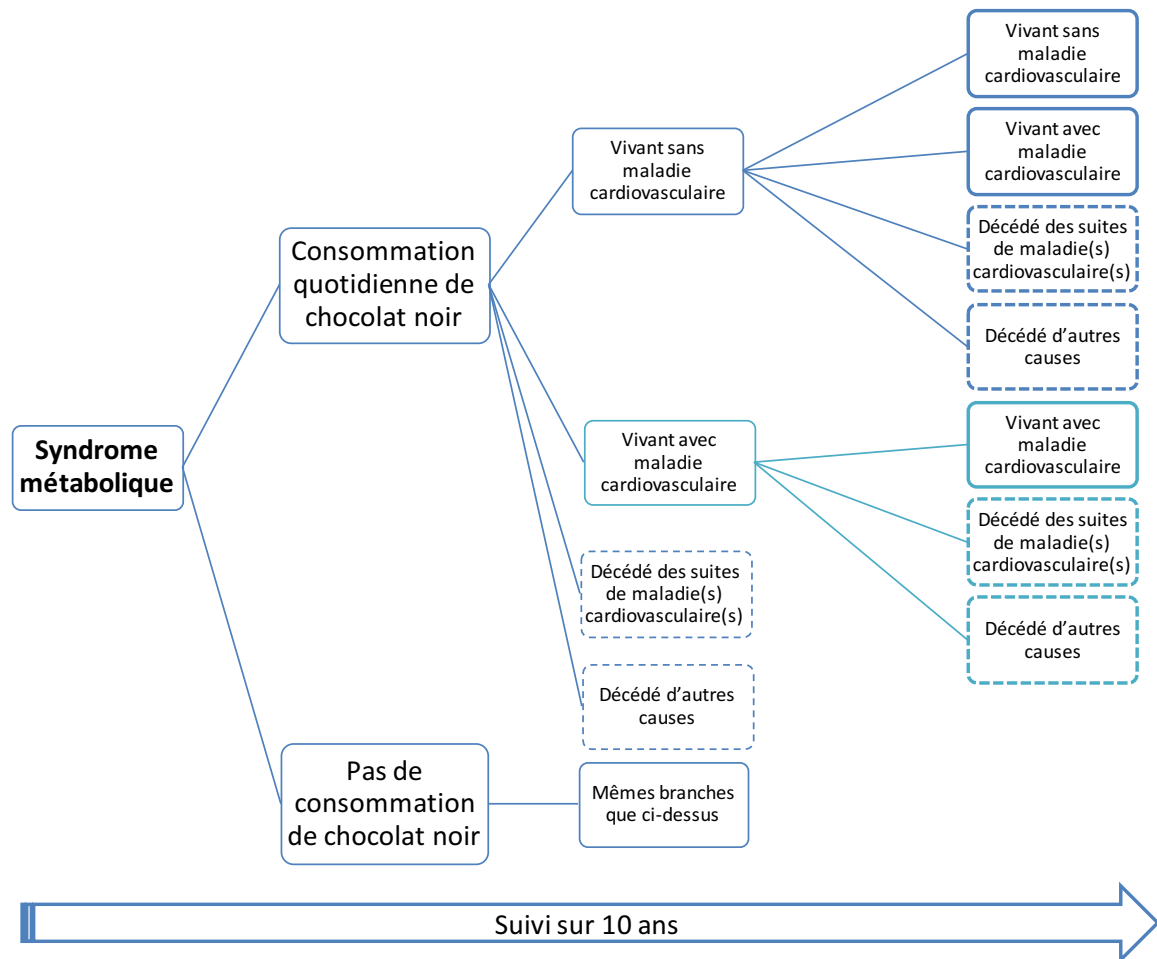


Figure 28 : Illustration du modèle de Markov utilisé dans l'étude de Zoomer et al pour apprécier l'effet de la consommation du chocolat sur la survenue d'évènements cardiovasculaires [83].

Selon ce modèle, la consommation quotidienne de chocolat noir réduirait les évènements cardiovasculaires de 0,85% dans une population de sujets présentant un syndrome métabolique suivie pendant 10 ans consommant régulièrement du chocolat noir. Les résultats ont montré que la pression artérielle était diminuée chez les consommateurs de chocolat noir et suggèrent que les effets du chocolat noir sur la pression artérielle pourraient être utilisés comme stratégie de prévention des maladies cardiovasculaires chez des personnes présentant un syndrome métabolique. Dans cette étude, la quantité moyenne de chocolat noir consommé n'était pas précisée, les données de mesure de pression artérielle n'étaient pas non plus publiées [83].

Au delà d'un rôle sur la pression artérielle et la réduction des événements cardiovasculaires, les polyphénols du chocolat pourraient moduler le profil lipidique et l'inflammation des sujets diabétiques de type 2 concourant possiblement à la réduction du risque cardiovasculaire. Ainsi dans l'étude de Rostami A. *et al*, 60 individus (32 dans le groupe chocolat noir et 28 dans le groupe chocolat blanc), présentant un diabète de type 2 stabilisé étaient donc inclus pour appréhender le rôle des polyphénols du chocolat noir sur le profil lipidique de diabétiques de type 2. Les sujets étaient répartis aléatoirement et consommaient soit 25g de chocolat noir, soit 25g de chocolat blanc pendant 8 semaines. Les variations de pression artérielle, de marqueurs du profil lipidique et de l'inflammation étaient ainsi mesurées. Dans le groupe chocolat noir, en comparant aux valeurs basales, les concentrations de l'Apo A1, reflet de la concentration en HDL-c, étaient augmentées. La concentration en ApoB, reflet de la concentration en LDL-c, ainsi que la CRP étaient diminuées en fin d'étude, évoquant un rôle des polyphénols de ce chocolat sur l'amélioration du profil lipidique malgré une augmentation non significative du HDL-c et une baisse non significative du LDL-c. Aucun changement du profil lipidique ou inflammatoire n'avait été observé dans le groupe chocolat blanc suggérant un rôle propre des polyphénols contenus dans le chocolat. Les moyennes des mesures des différents paramètres pour chaque groupe sont présentées dans le tableau ci après [85].

	Chocolat noir		Chocolat blanc		p
	Avant	Après	Avant	Après	
Triglycérides (mg/dL)	118,84	112,37	140,57	143,57	0,055
LDL (mg/dL)	90,59	87,53	95,03	94,35	0,340
HDL (mg/dL)	41,87	42,21	38,53	38,57	0,414
Apo A1 (mg/dL)	149,81	154,37	152,14	150,46	0,060
ApoB (mg/dL)	86,53	82,06	87,96	85,46	0,354
CRP (nm/L)	26,71	18,82	18,59	17,21	0,276

Tableau 23 : Présentation des effets du chocolat noir versus chocolat blanc sur les paramètres lipidiques et de l'inflammation

D'après Rostami A et al. [85]

avec p significatif si inférieur à 0,05. p correspond à la différence entre les moyennes des deux groupes (avant versus avant et après versus après)

Les effets des polyphénols du chocolat sur la pression artérielle, le profil lipidique et l'inflammation ont aussi été étudiés chez des patients présentant des excès de masse grasse. Di Renzo L *et al*, ont étudié le rôle de la consommation de chocolat noir dans le cadre d'un régime méditerranéen sur le profil lipidique, les marqueurs inflammatoires, et la pression artérielle, chez des femmes présentant une forte masse adipeuse bien que de poids normal, qui constituent une catégorie de sujet à risque élevé de survenue de maladies cardiovasculaires. Le pourcentage de masse adipeuse était supérieur à 30% chez ces sujets. Les marqueurs pro inflammatoires, tels que l'IL-1, l'IL-6 ou l'IL-8, étaient très augmentés chez ces sujets. Toutes les participantes dans le cadre de cette étude suivaient un régime standardisé dont la teneur totale en énergie était déterminée par rapport à un individu standard. Les niveaux caloriques étaient ajustés pour maintenir le poids corporel ; ainsi tous les sujets recevaient une ration alimentaire d'environ 1700 kcal/jour. La recommandation de la composition alimentaire de cette ration était la suivante : 55 à 60% de glucides, 15 à 20% de protéines issues pour la moitié de légumes, 25% de lipides, avec moins de 10% d'acides gras saturés, et moins de 300mg de cholestérol consommés par jour, et 30g de fibres. La consommation de chocolat noir, 50g par jour contenant 70% de cacao, lors de ce régime méditerranéen, était associée à une augmentation significative du taux de HDL-cholestérol de plus de 10%, et une diminution du cholestérol total d'environ 11%, de l'IL-1 de 32% et de l'IL-6 passant de $1,81 \pm 2,35$ pg/mL à $1,22 \pm 1,75$ pg/mL. Cet essai illustre les effets favorables de la consommation de chocolat noir sur le cholestérol, en particulier sur le HDL-c et sur les marqueurs de l'inflammation au sein d'une cohorte de sujet présentant un excès de masse grasse après un régime méditerranéen incluant une consommation de chocolat noir [89].

En conclusion, le chocolat riche en flavonols pourrait avoir un impact positif sur les facteurs de risques cardiovasculaires en particulier en réduisant la pression artérielle et en améliorant le profil lipidique de sujets sains, diabétiques de type 2, présentant un excès de masse grasse, ou un syndrome métabolique et pourrait également réduire l'incidence d'évènements cardiovasculaires.

3.1.1.3. Un lien entre consommation de chocolats et obésité ?

L'alimentation déséquilibrée, trop riche en glucides, lipides et pauvre en protéines, est souvent associée à l'obésité, maladie multifactorielle à composante environnementale et génétique. La consommation de chocolat pourrait modifier l'équilibre alimentaire et favoriser un équilibre alimentaire plus sain et ainsi être associé à un risque d'obésité moindre.

Ainsi en 2014, une étude a été conduite pour montrer l'impact de la consommation de chocolat sur l'incidence du surpoids chez des adolescents européens. Cette étude a inclus plus de 1400 adolescents. En début d'expérience, leur indice de masse corporelle, leur pourcentage de masse grasse, leur tour de taille et leur maturation sexuelle étaient mesurés et une enquête alimentaire sur deux jours était renseignée. Le but de cette étude était de montrer que la consommation de chocolat était associée à une diminution de l'indice de masse corporelle (IMC), mais aussi à une amélioration du profil lipidique et des marqueurs d'adiposité. Le marqueur d'adiposité principal mesuré était le pourcentage de masse grasse. Mais les mesures brutes de ces paramètres n'ont pas été publiées, seules des corrélations ont été faites. Les résultats de l'étude ont montré que les adolescents étant compris dans le tiers supérieur de consommation de chocolat avaient des marqueurs d'adiposité plus faibles que ceux compris dans le tiers inférieur. Ce groupe du tiers supérieur était aussi en moyenne plus actif, et consommait plus de lipides insaturés que les adolescents du tiers inférieur. Une consommation importante de chocolat était également associée à une lipémie plus faible, un IMC plus faible, et un tour de taille plus faible également. Cette étude suggère donc qu'une consommation de chocolat pourrait être associée à un IMC plus bas, une moindre adiposité et un profil lipidique plus satisfaisant en lien avec un style de vie plus actif [86]. Cependant d'autres études seraient nécessaires pour asseoir ces conclusions et valider le fait que la consommation de chocolat soit associée à une meilleure hygiène de vie favorisant la réduction de l'IMC. Malheureusement il n'en existe pas d'autres à ma connaissance.

Le chocolat pourrait donc améliorer le profil glycémique et lipidique, réduire la pression artérielle, et l'inflammation. Il serait associé à une moindre prévalence du surpoids, de l'obésité, du diabète de type 2, à une réduction des événements cardiovasculaires par la présence de polyphénols qu'il contient. Le rôle santé du chocolat semble principalement lié à la présence des polyphénols ; les études versus chocolat blanc ou versus chocolat noir pauvre en polyphénols ne retrouvaient pas ces effets. Cependant quels pourraient être les mécanismes des polyphénols sous-tendant ces effets ?

3.1.2. Mécanismes de l'effet santé du chocolat : le rôle des polyphénols

3.1.2.1. *Dans le diabète : Mécanisme d'amélioration de la glycémie et de la sensibilité à l'insuline*

3.1.2.1.1. Rôle direct sur la voie de signalisation de l'insuline, la glycolyse et la néoglucogénèse

Le diabète de type 2 est caractérisé par une insulino-résistance, définie comme la diminution de l'action de l'insuline sur ses tissus cibles (foie, muscles et tissu adipeux) et par la baisse de l'insulino-sécrétion par le pancréas au long cours. Comme nous l'avons vu ci avant, le chocolat par les polyphénols qu'il contient permettrait d'améliorer le profil glycémique, l'insulino-sensibilité et de réduire la prévalence diabète de type 2.

Cependant les mécanismes moléculaires qui sous-tendent ces effets sont encore mal connus. En 2015, une étude a été publiée afin d'étudier les voies métaboliques influencées par l'action des polyphénols du chocolat et justifiant ces effets. Le but de l'étude menée par Cordero *et al*, était d'explorer le rôle du cacao sur l'homéostasie glucidique et sur la résistance à l'insuline hépatique chez des rats diabétiques de type 2. Ces rats étaient répartis en deux groupes expérimentaux : un groupe recevant une alimentation normale, et un autre recevant une alimentation supplémentée en cacao pendant 8 semaines. Une semaine avant leur sacrifice, les rats recevaient une solution intraveineuse de glucose à 35% afin d'apprécier leur équilibre glycémique après à un test de tolérance IV au glucose. Les concentrations de glucose sanguin étaient mesurées toutes les 30 minutes après l'administration du glucose intraveineux. Les chercheurs ont

ainsi pu démontrer que le régime alimentaire riche en cacao freinait plus significativement l'élévation de la glycémie et des concentrations sanguines d'insuline. La sensibilité à l'insuline était augmentée plus significativement dans le groupe de rats supplémentés en cacao suggérant qu'une alimentation riche en polyphénols, avait un impact positif sur la résistance à l'insuline, comme nous l'avions vu précédemment. Dans cette étude, pour aller plus loin dans l'étude des mécanismes impliqués, les effets des polyphénols sur la voie de signalisation de l'insuline étaient étudiés. Les résultats montraient que l'alimentation supplémentée en cacao, prévenait le blocage de la cascade de l'insuline musculaire chez les rats, expliquant le rôle insulino-sensibilisateur des polyphénols. Pour aller plus loin dans la compréhension du mécanisme de régulation de l'insulino-sensibilité par les polyphénols, les protéines impliquées dans la régulation de la néoglucogénèse hépatique et de la glycolyse, ont été mesurées. Ainsi la protéine PEPCCK (Phosphoénolpyruvate carboxykinase) qui contrôle la production hépatique de glucose, était significativement diminuée dans le groupe supplémenté en polyphénols lorsque la glycémie diminuait, suggérant une meilleure freination de la néoglucogénèse après une charge en glucose dans le groupe supplémenté en polyphénols. La protéine GLUT2 qui permet de maintenir l'équilibre entre glucose intra et extracellulaire dans le foie était augmentée suggérant une meilleure utilisation hépatique du glucose dans le groupe supplémenté. La protéine GK qui intervient dans l'utilisation hépatique du glucose au travers de la glycolyse était augmentée suggérant une meilleure stimulation de cette voie après charge en glucose dans le groupe supplémenté [26 - 92]. La meilleure freination de la néoglucogénèse associé à une augmentation de la captation hépatique de glucose et de la glycolyse pourrait expliquer le rôle des polyphénols dans l'amélioration de la sensibilité à l'insuline hépatique et pourrait expliquer la réduction de l'incidence du diabète de type 2 après consommation de chocolat riche en polyphénols.

Par conséquent, une alimentation enrichie en cacao améliore l'homéostasie glucidique et la sensibilité à l'insuline chez les rats diabétiques. D'autres études s'avèrent nécessaires en particulier chez l'homme pour expliquer le mécanisme des polyphénols contenus dans le chocolat dans le diabète de type 2 [92].

3.1.2.1.2. Un rôle des polyphénols dans la freination du stress oxydatif

D'autres études ont été publiées afin de comprendre les effets du cacao sur le métabolisme du glucose suggérant cette fois un rôle dans la diminution du stress oxydatif par les polyphénols du cacao à l'origine d'une amélioration de la glycémie plus importante après un stress induit par une charge en glucose. En 2008, Abbe MD *et al*, ont ainsi réalisé un essai randomisé sur 5 groupes de rats (diabétiques avec régime normal, diabétique avec régime riche en lipides, obèse, obèse diabétique et obèse avec extraits de cacao dans l'alimentation), comme le récapitule la figure ci dessous [93].

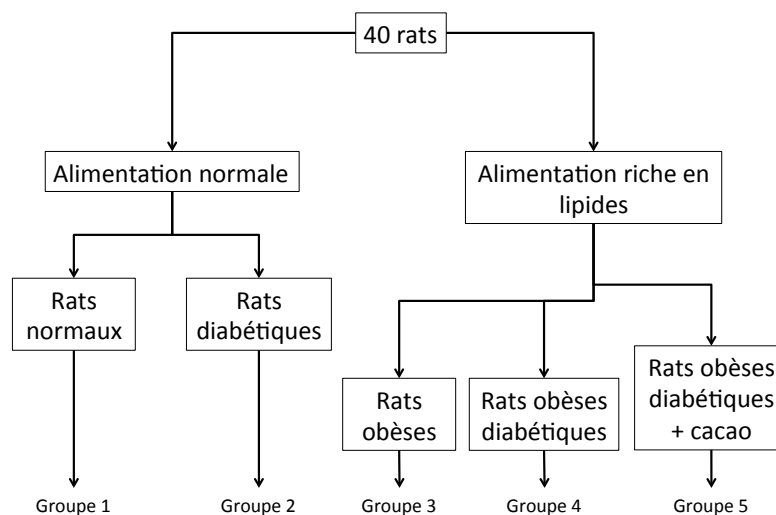


Figure 29 : Répartition des rats en 5 groupes dans l'étude de Abbe MD et al.
D'après Abbe MD et al. [93]

A la fin de l'expérience, un test de tolérance oral au glucose était réalisé. Le but était de déterminer les effets à court terme du cacao sur les rats du groupe 5 (rats obèses, diabétiques soumis à un régime enrichi en cacao) en comparant les aires sous la courbe de glycémie de 0 à 120 min après charge en glucose. D'après les résultats de cette étude, à l'état initial, les rats normaux (groupe 1) et obèses (groupe 3) avaient une glycémie similaire. Par contre les groupes diabétiques, obèses et diabétiques et obèses diabétiques supplémentés en cacao (groupes 2, 4 et 5) avaient une glycémie significativement plus élevée ($p > 0,05$) que les deux autres groupes. Ces glycémies étaient comprises entre 14,82 et 17,62 mmol/L. Dans tous les groupes, après une charge en glucose, la glycémie plasmatique augmentait jusqu'à atteindre un plateau au bout de 30 minutes. Après 30

minutes, les concentrations de glucose plasmatique des rats du groupe 2, 4 et 5 étaient significativement supérieures ($p < 0,05$) que pour les groupes 1 et 3. Ces concentrations commençaient à diminuer après 60 minutes dans tous les groupes. Cependant comparativement aux autres groupes, le cacao ajouté à l'alimentation diminuait significativement la glycémie (dès 60 minutes), lorsque l'on compare ces concentrations à un groupe de rats non supplémentés en cacao suggérant un rôle des polyphénols comme insulino-sensibilisateur en réponse un stress induit [93].

Pour aller plus loin, les auteurs ont également étudié le rôle du stress oxydatif et l'expression des marqueurs de ce stress en réponse à l'altération de la glycémie induite par une charge orale en glucose. D'après leurs résultats, le cacao pourrait avoir des effets protecteurs contre la peroxydation lipidique et augmenterait de manière concomitante le système de défense antioxydant puisqu'il réduirait cette peroxydation lipidique induite par le stress glucidique et augmenterait les capacités antioxydantes [93].

Les propriétés santé des extraits de cacao pourraient être attribuées à des composés polyphénoliques, à des méthylxanthines (caféine et théobromine) et à des minéraux. La contribution des méthylxanthines et des minéraux devrait également être envisagée dans les effets santé des extraits de cacao. Cependant, les mécanismes sous-jacents exacts pour expliquer la baisse de la peroxydation lipidique, et l'amélioration de activités des enzymes antioxydantes induites par les extraits de cacao demeurent encore mal identifiés à ce jour [93].

3.1.2.2. Dans les maladies cardiovasculaires

3.1.2.2.1. Amélioration de la pression artérielle par augmentation du NO et de la vasodilatation

L'hypertension est une maladie associée à un risque d'insuffisance cardiaque. L'hypertension, signe d'un accroissement de la pression à l'intérieur des vaisseaux, fragilise la paroi des artères et accélère la progression de l'athérome et peut induire la majoration du risque d'accidents vasculaires cérébraux [108]. Les flavonols pourraient augmenter la biodisponibilité du monoxyde d'azote, améliorant la vasodilatation des artères, réduisant l'hypertension artérielle, et protégeant l'endothélium vasculaire et ce

qui diminuerait les facteurs de risque cardiovasculaires. L'équipe de Grassi *D et al*, a comparé, en 2008, les effets de cacao riche en flavonols et de cacao pauvre en flavonols sur la pression artérielle chez des adultes présentant une hypertension artérielle. Pour les besoins de cette étude, le cacao était consommé sous forme de barres de chocolat noir ou blanc. Cette étude a inclus 19 participants hypertendus. Pendant la durée de l'étude, les patients ne devaient pas modifier leurs habitudes alimentaires. Ils devaient uniquement consommer moins d'aliments riches en flavonols. La première phase de l'essai était un wash out de 7 jours durant lesquels aucun aliment ou boisson riche en flavonols ne devait être consommé. Puis, les participants étaient séparés en deux groupes pour recevoir soit du chocolat noir riche en flavonols, soit du chocolat blanc ne contenant pas de flavonols. Ils consommaient 100g de chocolat pendant 15 jours. A la fin de cette période une nouvelle phase de wash out était observée avant d'échanger les groupes. Les mesures de la pression artérielle ont été prises en début et fin de chaque période de l'essai. Comme nous l'avons vu dans les études précédentes, une consommation quotidienne de chocolat noir riche en flavonols pendant 15 jours, induisait une baisse de la pression artérielle, systolique et diastolique, alors qu'aucun changement significatif n'était pas observé après consommation de chocolat blanc, comme le montrent les résultats du tableau 26 [73].

	Chocolat noir		Chocolat blanc	
Pression artérielle (mmHG)	Avant	Après	Avant	Après
PA diastolique sur 24h	86,8 ± 3,7	82,6 ± 5,4 * ⁺	87,0 ± 3,5	87,0 ± 3,1
PA systolique sur 24h	134,6 ± 4,4	130,1 ± 5,0 * ⁺	133,8 ± 3,9	133,9 ± 3,6
PA diastolique pendant la journée	90,0 ± 4,0	86,5 ± 5,7 * ⁺	91,0 ± 3,5	90,8 ± 3,0
PA systolique pendant la journée	139,5 ± 4,4	134,9 ± 5,3 * ⁺	138,5 ± 4,0	138,8 ± 4,1
PA diastolique nocturne	78,7 ± 4,4	74,5 ± 6,0 * ⁺	78,9 ± 4,0	79,2 ± 3,3
PA systolique nocturne	129,9 ± 5,5	120,1 ± 5,4 * ⁺	124,2 ± 5,0	124,0 ± 3,3

* différence significative par rapport à la valeur basale (p< 0,05)

⁺ différence significative après consommation de chocolat noir versus chocolat blanc (p < 0,05)

Tableau 24 : Effets de la consommation de chocolat noir versus chocolat blanc sur la pression artérielle
D'après Grassi *D et al*. [73]

La diminution de pression artérielle de ces patients hypertendus après consommation de chocolat était reliée à une augmentation de la vasodilatation des artères de 0,5%, alors qu'avec le chocolat blanc, elle demeurait inchangée suggérant que l'amélioration de la vasodilatation après consommation de chocolat noir contribuerait à réduire la pression artérielle. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Schroeter *et al* qui dans leur essai portant sur des hommes adultes, ont montré que la consommation de cacao riche en flavonols était associée à une augmentation significative de la concentration de NO induisant une augmentation de la vasodilatation artérielle et une diminution de la pression artérielle sanguine. En effet, cette consommation régulière de chocolat était aussi associée à une meilleure vasodilatation artérielle dépendante du flux sanguin. La microcirculation était ainsi augmentée, comme le montre les deux figures ci dessous [96].

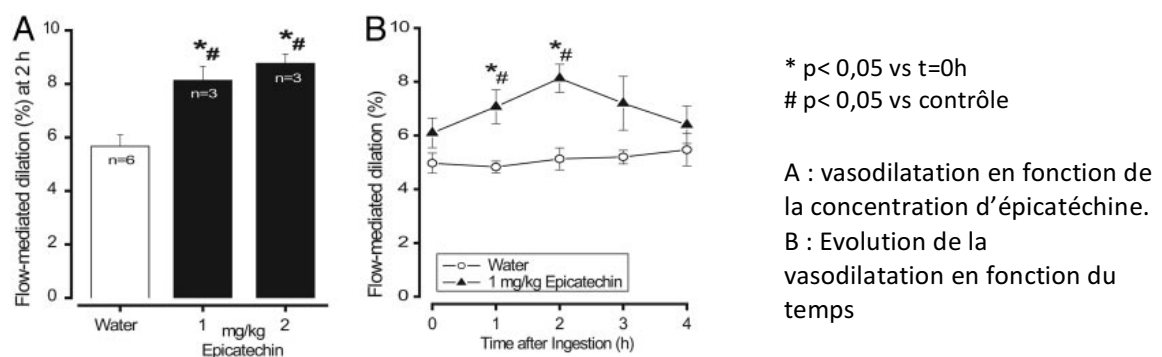


Figure 30 : Effets des polyphénols du chocolat sur la vasodilatation artérielle
D'après Schroeter H *et al.* [96]

Comme le montre la figure ci-dessus, la variation de la vasodilatation était supérieure avec l'épicatéchine mais elle ne l'était pas avec le contrôle négatif (eau). Cette amélioration était corrélée à l'augmentation plasmatique de NO. Ces effets semblent étroitement liés aux concentrations d'épicatéchine et de ses métabolites contenus dans le chocolat. Une consommation sur une longue durée d'un régime riche en flavonols serait donc associée à une augmentation de la synthèse de NO expliquant une augmentation de la vasodilatation, une diminution de pression artérielle observée après consommation de chocolat riche en polyphénols chez des patients hypertendus [96].

3.1.2.2.2. Amélioration du profil lipidique et majoration du HDL-cholestérol

Comme nous l'avons vu précédemment, une alimentation riche en flavonoïdes semble diminuer la survenue d'évènements cardiovasculaires. Le cacao contient de plus importantes quantités de flavonoïdes que le thé ou le vin rouge et a été défini comme aliment fonctionnel dans la prise en charge nutritionnelle de ces maladies cardiovasculaires, grâce à ses fortes concentrations de flavonols. En plus de ses propriétés antioxydantes, le cacao semble avoir un effet bénéfique sur la fonction endothéliale, mais également sur la régulation de la lipémie, de l'inflammation et de la pression artérielle. En 2008, une étude publiée par Martinez-Lopez S *et al*, a évalué les effets d'une consommation régulière et modérée de poudre de cacao riche en flavonols et faible en sucre sur l'évolution des paramètres lipidiques. Cette étude a été faite chez 24 sujets volontaires suivant un régime alimentaire méditerranéen équilibré. L'étude était contrôlée versus placebo chez des sujets sains et des sujets modérément hypercholestérolémiques. L'étude a comportée deux phases. Pendant la première phase, les participants devaient boire 200mL de lait, deux fois par jour, et ce pendant 4 semaines. Pendant la deuxième phase, les sujets ont dû boire 200mL de lait avec un sachet de cacao soluble, également pendant 4 semaines. Le cacao utilisé contenait 45,3mg de flavonols pour 7,5g de cacao. Après la période de consommation de cacao, le cholestérol total, le LDL-cholestérol et les triglycérides étaient mesurés comme le montre le tableau ci après [97].

Volontaires sains				Volontaires hypercholestérolémiques		
	Mesures de base	Après consommation de lait	Après consommation de cacao	Mesures de base	Après consommation de lait	Après consommation de cacao
Cholestérol total (mg/dL)	164 ± 3	168 ± 4	171 ± 3	210 ± 2	217 ± 4	214 ± 7
HDL cholestérol (mg/dL)	58 ± 2	64 ± 3 *	67 ± 2 *	51 ± 2	55 ± 3 *	57 ± 3 *
LDL cholestérol (mg/dL)	88 ± 3	85 ± 4	89 ± 4	129 ± 5	131 ± 4	128 ± 6
Triglycérides (mg/dL)	66 ± 6	62 ± 6	65 ± 7	98 ± 7	85 ± 7	98 ± 7

* $p < 0,001$. Pour les autres mesures, p est non significatif

Tableau 25 : Variations du profil lipidique après consommation de cacao chez des volontaires sains et hypercholestérolémiques

D'après Martinez-Lopez S et al. [97]

Aucune différence significative n'a pu être relevée concernant le cholestérol total ou le LDL cholestérol entre les deux groupes, contrairement au HDL-cholestérol, qui augmentait de façon significative dans les deux groupes. Même si les différences ne sont pas significatives, on remarque une diminution du LDL cholestérol chez les sujets hypercholestérolémiques consommant du cacao. Cette diminution n'est pas retrouvée après consommation de lait. Cette étude suggérait qu'une consommation régulière et modérée de cacao riche en flavonols (45,3mg) pourrait améliorer le profil lipidique en augmentant le HDL-cholestérol. Cette consommation devrait être associée à un régime alimentaire équilibré, de type méditerranéen [97].

Cet effet positif du chocolat sur les concentrations de HDL-c a aussi été étudié chez des rats hypercholestérolémiques qui consommaient de la poudre de cacao, du chocolat blanc et du chocolat noir sur le profil lipidique de rats hypercholestérolémiques. Les rats étaient répartis en deux groupes, eux-mêmes subdivisés en 4 groupes. Ces 4 sous groupes pour le groupe 1 étaient :

- Un groupe contrôle avec alimentation normale
- Un groupe recevant une alimentation riche en lipides et riche en cholestérol
- Un groupe recevant une alimentation riche en lipides et riche en cholestérol, avec 5% de poudre de cacao

- Un groupe recevant une alimentation riche en lipides et riche en cholestérol, avec 10% de poudre de cacao.

Pour le groupe 2, ces sous groupes étaient :

- Un groupe recevant une alimentation normale
- Un groupe recevant une alimentation normale contenant 15% de lipides et 1% de cholestérol
- Un groupe recevant une alimentation riche en lipides et riche en cholestérol, avec 2% de chocolat blanc
- Un groupe recevant une alimentation riche en lipides et riche en cholestérol, avec 2% de chocolat noir [98].

	Cholestérol total (mg/dL)	Triacylglycérols (mg/dL)	LDL-cholestérol (mg/dL)	HDL-cholestérol (mg/dL)	VLDL-cholestérol (mg/dL)
Groupe 1 Groupe contrôle	105 ± 2	98 ± 1	42 ± 1	43 ± 1	19 ± 0,5
Groupe 2 Alimentation riche en lipides	176 ± 3	156 ± 3	124 ± 3	30 ± 1	31 ± 0,7
Groupe 3 Alimentation riche en lipides avec 5% de cacao en poudre	171 ± 2	128 ± 2 *	162 ± 3 *	54 ± 2 *	41 ± 2 *
Groupe 4 Alimentation riche en lipides avec 10% de cacao en poudre	134 ± 3	140 ± 2 *	173 ± 5 *	67 ± 2 *	38 ± 2 *

* p < 0,05 => résultats non significatifs

Tableau 26 : Effets de l'alimentation riche lipides enrichis ou non en polyphénols sur le profil lipidique
D'après Fadlalla A et al. [98]

D'après les résultats ci dessus, on note une nette augmentation du cholestérol total que ce soit avec une alimentation supplémentée en cacao ou non. Cependant, plus la part de cacao en poudre est importante, et moins cette augmentation est importante. On voit par contre, que le HDL-cholestérol est très augmenté avec une alimentation contenant du cacao. Le HDL cholestérol est dit protecteur, donc cette augmentation pourrait être bénéfique.

Il est important de noter que ces résultats retrouvés pour le chocolat blanc diffèrent de ceux du chocolat noir, comme le récapitule le tableau ci après (ici, toutes les valeurs mesurées étaient significatives ($p > 0,05$)) [98].

	Cholestérol total (mg/dL)	Triacylglycérols (mg/dL)	LDL-cholestérol (mg/dL)	HDL-cholestérol (mg/dL)	VLDL-cholestérol (mg/dL)
Groupe 1 Groupe contrôle	105,25 $\pm$ 2,29	98,13 $\pm$ 1,47	42,50 $\pm$ 1,88	43,13 $\pm$ 1,13	19,63 $\pm$ 0,46
Groupe 2 Alimentation riche en lipides	176,75 $\pm$ 3,49	156,38 $\pm$ 3,66	124,70 $\pm$ 3,50	30,75 $\pm$ 1,04	31,28 $\pm$ 0,73
Groupe 3 Alimentation avec 2% de chocolat blanc	129,25 $\pm$ 3,49	126,25 $\pm$ 3,05	66,0 $\pm$ 1,39	38,0 $\pm$ 1,41	25,25 $\pm$ 0,77
Groupe 4 Alimentation avec 2% de chocolat noir	115,25 $\pm$ 2,82	108,38 $\pm$ 3,58	59,33 $\pm$ 1,35	39,25 $\pm$ 1,16	21,68 $\pm$ 0,71

Tableau 27 : Effets d'une alimentation riche en lipides supplémenté en chocolat noir ou blanc sur le profil lipidique

D'après Fadlalla A et al. [98]

L'augmentation de cholestérol total est plus faible avec le chocolat noir qu'avec une alimentation contenant 10% de cacao en poudre (115,25 $\pm$ 2,82 mg/dL versus 134,50 $\pm$ 2,73 mg/dL). Les rats recevant une alimentation riche en lipides et cholestérol, ont montré une augmentation importante du cholestérol, des triglycérides et du LDL-cholestérol. Cette augmentation est plus importante que pour les rats recevant une alimentation normale. D'un autre côté, les rats nourris avec une alimentation riche en lipides et cholestérol ont aussi montré une diminution du HDL-cholestérol, comparés aux rats sains. La consommation de cacao en poudre ou de chocolat noir par les rats hypercholestérolémiques par rapport au chocolat blanc a montré une diminution significative du cholestérol total, du LDL-cholestérol et des triglycérides et une augmentation du HDL-cholestérol. Cette observation n'a pas été retrouvée avec le chocolat blanc. Le cacao et le chocolat noir, auraient donc un effet de réduction du cholestérol total, des triglycérides et du LDL-cholestérol, mais aussi un effet d'augmentation du HDL-cholestérol qui serait attribuable aux flavonoïdes contenus dans le cacao et le chocolat noir [98].

Pour finir, les effets à long terme du chocolat sur le HDL cholestérol ont été étudiés par Mursu J *et al.* Les chocolats utilisés contenaient différentes quantités de polyphénols. Les effets étudiés portaient sur les lipides sériques et la peroxydation lipidique in vivo et in vitro. L'étude a été menée sur des volontaires sains pendant 3 semaines qui recevaient soit du chocolat blanc, soit du chocolat noir, soit du chocolat noir enrichi en polyphénols. Dans les groupes chocolat noir et chocolat noir enrichi en polyphénols, une augmentation du HDL cholestérol sérique était observée (respectivement 11,4% et 13,7%). Au contraire dans le groupe chocolat blanc, une légère diminution était montrée (diminution de 2,9%). Les polyphénols du cacao pourraient donc augmenter la concentration du HDL-cholestérol. Le HDL-cholestérol est considéré comme protecteur car il favoriserait le retour du cholestérol vers le foie pour qu'il soit éliminé. Sa concentration plasmatique est, de plus, inversement proportionnelle au risque de survenue de maladies cardiovasculaires suggérant un possible rôle du chocolat dans la réduction de l'incidence de ces pathologies [99].

En favorisant la formation de HDL-cholestérol, le chocolat noir riche en polyphénols permettrait de lutter contre les facteurs de risques cardiovasculaires. Mais qu'en est-il du rôle de ces polyphénols sur la fonction endothéliale régulièrement altérée dans les maladies cardiovasculaires ?

3.1.2.2.3. Amélioration de la fonction endothéliale

L'oxyde nitrique ou monoxyde d'azote (NO) joue un rôle dans la régulation du tonus vasculaire. C'est un vasodilatateur puissant. En présence de moins grande quantité de NO, la fonction endothéliale sera altérée, car la balance entre facteurs vasodilatateurs et vasoconstricteurs sera rompue. En 2012, Grassi *et al* ont cherché à montrer les effets du chocolat noir riche en flavonols sur la dilatation des vaisseaux. 12 volontaires sains ont été répartis aléatoirement pour recevoir soit du chocolat noir soit du chocolat blanc. Le chocolat blanc ne contenait pas de flavonols et servait de contrôle négatif. Les mesures de la dilatation des vaisseaux ont été prises avant et après un test de tolérance à une charge orale de glucose chez ces sujets sains. Après 7 jours de « wash out », les volontaires recevaient soit 100g de chocolat noir, soit 100g de chocolat blanc pendant

trois jours. La dilatation des vaisseaux (contrôlée par la libération de NO) était mesurée après chaque phase de l'étude. En comparant les deux périodes de consommation, les chercheurs ont remarqué que le chocolat noir augmentait significativement la vasodilatation ($8,51 \pm 0,69\%$ versus $7,88 \pm 0,68\%$, $p=0,03$). Cependant après un test de tolérance au glucose, la vasodilatation passait de $7,88 \pm 0,68\%$ à $6,07 \pm 0,76\%$ ($p=0,027$), $6,74 \pm 0,51$ ($p=0,046$) et $7,16 \pm 0,97\%$ ($p=0,07$), respectivement à 1, 2 et 3h dans le groupe chocolat blanc alors qu'elle n'était pas significativement différente après consommation de chocolat noir suggérant que le chocolat noir améliorerait la vasodilatation endothéliale en prévenant la diminution de la vasodilatation induite par le stress oxydatif induit par une charge de glucose [94].

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, le cacao pourrait avoir des effets protecteurs contre la peroxydation lipidique et pourrait augmenter le système de défense antioxydant. Selon Mellor D *et al* [90], la consommation de chocolat noir riche en polyphénols aurait un effet bénéfique sur le stress oxydatif. Ainsi, Mellor *et al*, ont cherché à montrer que l'ingestion de chocolat riche en polyphénols atténuerait les effets négatifs que l'hyperglycémie aiguë transitoire exerçait sur le stress oxydatif mais également sur la fonction endothéliale. 10 participants ayant un diabète de type 2 traité par metformine ou par régime alimentaire approprié étaient inclus. Avant de commencer l'étude, une période de « wash out » était observée par chaque participant. Durant cette période, ils ne devaient pas consommer certains aliments riches en polyphénols, dont le cacao et le chocolat. Les sujets étaient ensuite répartis aléatoirement pour recevoir soit 13,5g de chocolat noir riche en polyphénols (contenant 3,5% de polyphénols), soit 13,5g de chocolat noir pauvre en polyphénols (0,9%). Aucune différence significative n'a été mise en évidence en basal entre les 10 participants (mesures faites sur la glycémie, l'insulinémie, après consommation de chocolat noir riche en polyphénols la fonction endothéliale et le stress oxydatif). Cependant grâce au tableau ci après, on peut observer que la fonction endothéliale et le stress induit par la charge en glucose étaient améliorés/limités après consommation de chocolat noir riche en polyphénols vs chocolat noir pauvre en polyphénols comme en témoigne respectivement la diminution des facteurs d'adhésion et la non élévation des isoprostanes urinaires.

Table 1 The baseline and 120 min following the 75-g oral glucose load*

	High-polyphenol chocolate (mean $\pm$ SEM)			Low-polyphenol chocolate (mean $\pm$ SEM)		
	Fasting	120 min after 75-g oral glucose load (180 min after consuming chocolate)	P-value†	Fasting	120 min after 75-g oral glucose load (180 min after consuming chocolate)	P-value†
Glucose (mmol/l)	6.6 $\pm$ 0.1	11.8 $\pm$ 0.3	< 0.01	6.5 $\pm$ 0.1	11.6 $\pm$ 0.3	< 0.01
Insulin (μ U/l)	16.6 $\pm$ 1.2	103.2 $\pm$ 8.5	0.02	15.1 $\pm$ 0.8	101.6 $\pm$ 8.2	0.02
Reactive hyperaemia peripheral arterial tonometry (%)	1.7 $\pm$ 0.1	2.3 $\pm$ 0.1	0.01	2.0 $\pm$ 0.1	2.1 $\pm$ 0.1	0.44
Intercellular adhesion molecule 1 (ng/ml)	325.6 $\pm$ 9.0	310.0 $\pm$ 8.4	0.20	321.1 $\pm$ 7.6	373.6 $\pm$ 10.5	0.04
E-selectin (ng/ml)	111.3 $\pm$ 5.8	96.6 $\pm$ 5.6	0.09	94.4 $\pm$ 4.0	105.8 $\pm$ 3.5	0.28
P-selectin (ng/ml)	253.0 $\pm$ 14.8	235.0 $\pm$ 7.7	0.62	265 $\pm$ 15.2	268.5 $\pm$ 12.4	0.92
P-selectin glycoprotein ligand 1 (U/ml)	281.9 $\pm$ 12.2	212.6 $\pm$ 8.7	0.13	262.9 $\pm$ 5.5	327.5 $\pm$ 7.3	0.09
Urinary 15-F2t isoprostane:creatinine (mg/mol)	117.7 $\pm$ 4.0	116.8 $\pm$ 5.7	0.48	110.4 $\pm$ 3.0	207.1 $\pm$ 5.7	0.02

*All data were tested for normality using Shapiro–Wilks, data found to be normally distributed were analysed using paired *t*-test and data that violated normality were analysed using Wilcoxon's signed ranks.
†All P-values are the difference from baseline to 120 min following the 75-g glucose load (taken 60 min after the consumption of either 13.5 g of high-polyphenol or low-polyphenol chocolate) .

Figure 31 : Effets du chocolat noir riche en polyphénols sur la fonction endothéliale au sens large
D'après Mellor D *et al.* [90]

Dans une étude antérieure de Vasquez *et al.*, il avait été démontré que les polyphénols du cacao augmentaient les concentrations sanguines d'oxyde nitrique (NO). C'est cette élévation de concentration en NO qui expliquait dans cette étude, l'augmentation de relaxation de l'endothélium vasculaire et la diminution des facteurs d'adhésion intercellulaires exprimés par l'endothélium vasculaire [90 - 91]. Ce rôle du NO dans l'amélioration de la fonction endothéliale après consommation de chocolat riche en polyphénols pourrait aussi être évoqué dans les résultats obtenus par Mellor *et al.*

Le développement de la dysfonction endothéliale est également associé à des facteurs de risques athérosclérotiques comme le tabagisme, l'hypertension artérielle ou le diabète de type 2. La dysfonction endothéliale peut également être due à une augmentation de la lipémie. Ce dysfonctionnement apparaît après une augmentation de la lipémie post prandiale. Westphal *et al* [95] ont cherché à savoir si cette dysfonction endothéliale induite par une augmentation de la lipémie post-prandiale pourrait être améliorée par la consommation de cacao riche en flavonols. Cette étude a inclus 18 volontaires de poids normal, non fumeur, ne présentant ni alcoolisme, ni obésité, ni diabète, ni maladie du foie et du rein, ni hypertension artérielle et pas de traitement

médicamenteux régulier. Les participants ne devaient pas changer leurs habitudes alimentaires pendant toute la durée de l'étude. Dans cet essai randomisé, en double aveugle et contrôlé *versus* placebo, différentes mesures étaient réalisées deux fois avec un intervalle d'une semaine entre chaque recueil de données. A chaque fois, un repas riche en lipides et associé à une consommation de cacao riche ou pauvre en flavonols était consommé par les participants. Les sujets étaient séparés en deux groupes de façon aléatoire, soit dans le groupe « cacao riche en polyphénols » soit dans le groupe « cacao pauvre en polyphénols ». La vasodilatation de l'endothélium mesurée par échographie était étudiée et rapportée pour obtenir les résultats suivants à 0, 2, 4 ou 6h de suivi.

	Temps			
	0h	2h	4h	6h
Vasodilatation liée au flux sanguin (%)				
Repas avec cacao pauvre en flavonols	8,5 ± 0,6	6,5 ± 0,3**	7,6 ± 0,5**	8,2 ± 0,5**
Repas avec cacao riche en flavonols	8,8 ± 0,5	7,7 ± 0,4**	8,3 ± 0,5***	8,5 ± 0,5*

* p < 0,05

** p < 0,001

*** p < 0,012

Tableau 28 : Etude de la vasodilatation liée à la consommation de cacao riche ou pauvre en flavonols
D'après Westphal S et al. [95]

D'après le tableau ci-dessus, Westphal *et al* ont pu remarquer que la dilatation des vaisseaux était moindre après un repas riche en lipides associé à la consommation de cacao pauvre en flavonols (entre 1h et 4h après le repas) ce qui n'était pas retrouvé après un repas riche en lipides associés à la consommation de cacao riche en polyphénols. D'après leurs résultats, le cacao riche en flavonols pourrait réduire la dysfonction endothéliale induite par une augmentation de la lipémie post prandiale, probablement par une amélioration de la synthèse de NO par l'endothélium.

Pour finir, en 2008, Grassi *et al*, avaient déjà montré des effets positifs du cacao sur la fonction endothéliale suggérant que le cacao permettrait une amélioration de la vasodilatation débit dépendante, ce qui, à terme, permettrait une diminution de la pression artérielle. Cette équipe de chercheurs, avaient déjà travaillé sur le rôle des flavonols du chocolat sur la réduction de la pression artérielle en 2005. Le but était cette

fois de montrer que les flavonols du chocolat pouvaient diminuer la pression artérielle chez des sujets hypertendus. Cette étude a été faite en comparant chocolat noir et chocolat blanc sur 15 volontaires sains. Après une période de wash-out de 7 jours ; les participants étaient séparés en deux groupes pour recevoir soit 100g de chocolat noir contenant environ 500 mg de polyphénols, soit 90g de chocolat blanc ne contenant donc pas de polyphénols. A la fin de ces 15 jours, un nouveau wash out était réalisé, puis les deux groupes inversaient leurs traitements. La consommation de chocolat noir riche en flavonols augmentait significativement la vasodilatation artérielle alors que le chocolat pauvre en flavonols ne montrait pas de tels effets. Les mesures de cette vasodilatation n'étaient pas publiées, mais une corrélation était faite entre consommation de flavonols et vasodilatation. En effet, les mesures de pression artérielle étaient significativement diminuées, passant de 141 mmHg à 138 mmHg après consommation de chocolat noir riche en flavonols. Ces observations n'étaient pas visibles après consommation de chocolat noir pauvre en flavonols. Comme d'autres études que nous avons citées, l'ont suggéré, le chocolat noir protégerait l'endothélium vasculaire en augmentant la biodisponibilité du NO, et améliorerait de manière dépendante la vasodilatation de l'endothélium. La conclusion de cette expérience se rapproche de celle des autres études que nous avons détaillées. Les flavonols sembleraient être les molécules impliquées dans le mécanisme d'amélioration de la fonction endothéliale par augmentation de la production de NO [100].

Toutes ces études suggèrent que les polyphénols du chocolat, et plus particulièrement les flavonols ont des effets bénéfiques sur la fonction endothéliale notamment en limitant le stress oxydatif induit soit par une hyperglycémie soit par une hyperlipidémie en augmentant la production de NO responsable d'une meilleure vasodilatation.

3.1.2.2.4. Amélioration de la fonction coronaire

Les produits contenant du cacao ont une meilleure capacité anti-oxydante et contiennent plus de flavonoïdes que le thé, le vin rouge ou certains fruits connus pour leur richesse en flavonoïdes. Dans l'étude de Yumi S *et al*, l'équipe a mesuré la vitesse

d'écoulement coronaire chez des adultes sains par échoDoppler. L'étude a été menée pendant deux semaines sur 39 volontaires sains qui consommaient soit du chocolat noir riche en flavonoïdes (catéchine, épicatechine et procyanidine) ou du chocolat blanc ne contenant donc pas de flavonoïdes. Le chocolat blanc a été utilisé comme contrôle négatif. Plusieurs autres mesures que l'échoDoppler ont été réalisées, afin d'avoir une vision globale du profil lipidique, glucidique et oxydatif des participants (dosage de cholestérol total, HDL-cholestérol, LDL-cholestérol, triglycérides, HbA1c (hémoglobine glyquée), marqueurs du stress oxydatif). Après deux semaines de consommation de chocolat blanc ou noir, aucune différence significative entre les deux groupes n'a pu être mise en évidence, que ce soit sur la pression artérielle (systolique et diastolique) ou sur le rythme cardiaque. Cette expérience n'a pas montré de différence en terme de profils lipidiques ou glucidiques après consommation de chocolat noir riche en flavonoïdes ou de chocolat blanc. Aucune variation n'a pu être mise en évidence sur les marqueurs du stress oxydatif, contrairement à ce que nous avons pu voir précédemment. En revanche, sur les echoDoppler, des différences ont pu être observées. Après deux semaines de consommation de chocolat noir, la vitesse d'écoulement coronaire augmentait significativement par rapport aux mesures en début d'expérience et par rapport à deux semaines de consommation de chocolat blanc. En résumé, la consommation de chocolat noir riche en flavonoïdes améliorerait la circulation coronaire chez les adultes sains. Cette amélioration semblait indépendante de toute variation du profil lipidique et glucidique et de toute modification des marqueurs du stress oxydatif et de la pression artérielle [101]. De plus amples études semblent nécessaires pour approfondir ce point.

3.1.2.2.5. Amélioration de la fonction plaquettaire

La dysfonction endothéliale et l'activation plaquettaire sont à la base de la pathologie athéro-thrombotique menant à une vasoconstriction, à la formation de thrombus et à un phénomène inflammatoire déstabilisant les plaques d'athérome majorant le risque cardiovasculaire [28].

Hermann F *et al*, ont étudié les effets bénéfiques du chocolat noir riche en polyphénols sur la fonction endothéliale et la fonction plaquettaire. Cet essai a été réalisé

en comparant chocolat noir et chocolat blanc. 20 volontaires sains ayant une dysfonction endothéliale et une hyperactivation plaquettaire ont été inclus dans l'étude. Ils ont été séparés en deux groupes pour recevoir soit du chocolat blanc soit du chocolat noir. La vasodilatation débit dépendante a été mesurée, ainsi que la fonction plaquettaire et le statut antioxydant. Les mesures de départ n'ont pas montré de différences significatives entre les individus. Ici, nous ne nous intéresserons qu'à la fonction plaquettaire. Les résultats des mesures de l'activation plaquettaire ont été exprimés en pourcentage de surface de vaisseau sanguin couverte par les plaquettes. Deux heures après ingestion de chocolat noir, l'adhésion plaquettaire en réponse au stress oxydatif a été diminuée, passant de 5% à 3,2%. Aucune variation significative de l'activation plaquettaire n'a été retrouvée avec le groupe consommant du chocolat blanc [102].

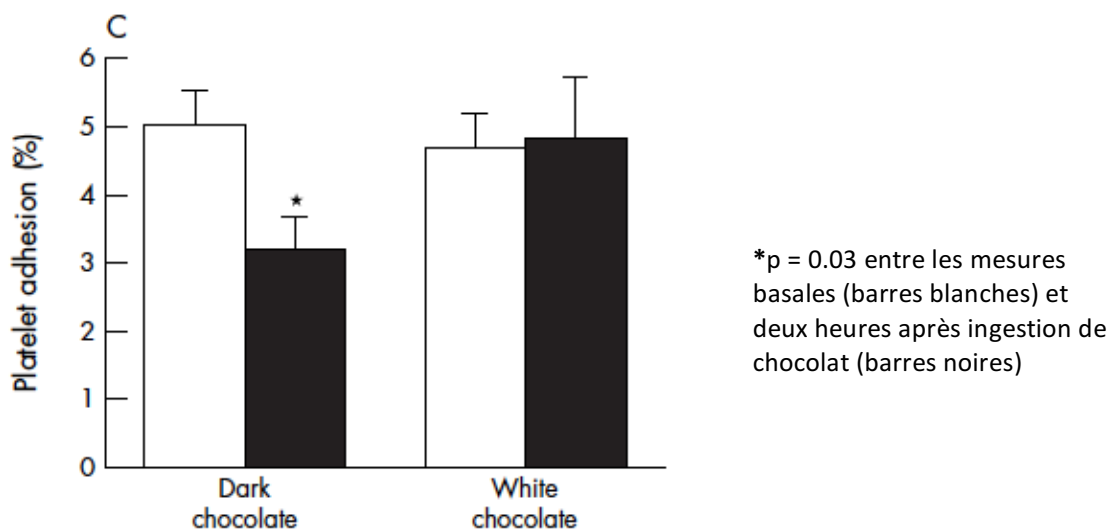


Figure 32 : Pourcentage d'adhésion plaquettaire en fonction de la consommation de chocolat noir ou chocolat blanc.

D'après HermannF et al. [102]

Dans cette étude, l'adhésion plaquettaire induite était fortement diminuée avec une consommation de chocolat noir. La haute teneur en flavonoïdes du chocolat noir pourrait expliquer le mécanisme empêchant l'adhésion plaquettaire que l'on retrouve ici. En plus de leur capacité antioxydante intrinsèque, les flavonoïdes pourraient influencer l'activité de diverses enzymes et altérer les voies de signalisation pathologiques du stress oxydatif. En effet la dysfonction endothéliale et l'activation plaquettaire sont, en partie, causées par l'inactivation du NO sécrété habituellement par l'endothélium. Les flavonoïdes pourraient permettre de contrer cette inactivation [102].

Le chocolat noir aurait donc des effets favorables à la fois sur la fonction endothéliale, la fonction coronaire, mais aussi sur l'activation plaquettaire en réponse à un stress induit.

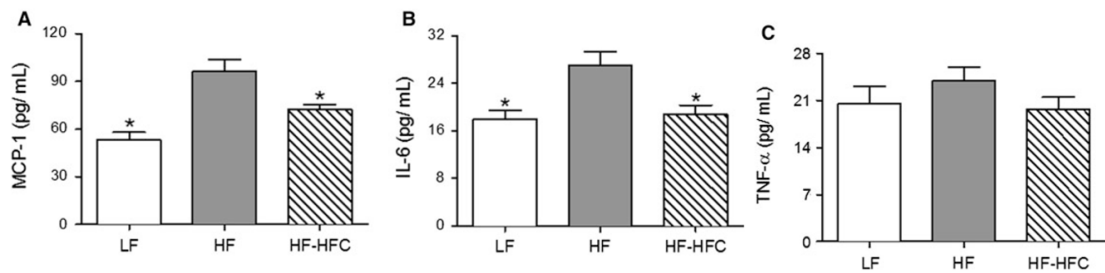
3.1.2.2.6. Amélioration du profil métabolique par réduction de l'inflammation en lien avec l'obésité et le surpoids

L'obésité est définie comme une manifestation phénotypique d'une accumulation anormale ou excessive de lipides. L'obésité est une maladie multifactorielle qui augmente le risque de développer un diabète de type 2, des maladies cardiovasculaires, des maladies hépatiques liées à l'obésité ou encore certains cancers. L'inflammation due à l'obésité est caractérisée par une infiltration des macrophages dans le tissu adipeux, reliée à une production anormale de cytokines et à une activation des voies inflammatoires.

Gu Y *et al* ont étudié les effets d'une supplémentation avec du cacao en poudre sur les marqueurs de l'inflammation liés à l'obésité. Cet essai a été fait sur des souris. Plusieurs groupes de souris ont été constitués et consommaient une :

- Alimentation avec une teneur faible en lipides (LF)
- Alimentation avec une teneur importante en lipides (HF)
- Alimentation avec une teneur importante en lipides et supplémentée en cacao (HF-HFC)

Les marqueurs inflammatoires étaient très élevés chez les souris nourries avec des aliments riches en lipides. La supplémentation avec du cacao diminuait les concentrations plasmatiques de ces marqueurs (ici MCP-1 et IL-6). Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence sur les concentrations en $\text{TNF}\alpha$, même si les chercheurs ont pu remarquer que dans le groupe des souris supplémentées en cacao, les concentrations de ce marqueur tendaient à être plus faibles comme le montre la figure ci dessous [103].



A : taux de MCP-1 en fonction des différents groupes de souris
 B : taux d'IL-6 en fonction des différents groupes de souris
 C : taux de TNF-α en fonction des différents groupes de souris

Figure 33 : Variation du profil inflammatoire de souris obèses en réponse à un régime riche en lipides et cacao

D'après Gu Y et al. [103]

Il est également intéressant de noter que la consommation de cacao augmentait également la sécrétion d'adiponectine par le tissu adipeux, connu pour son effet insulinosensibilisateur. En résumé, Gu *et al.*, ont montré que le cacao et ses polyphénols pourraient réduire l'inflammation en lien avec l'obésité.

Malgré la capacité d'une supplémentation en cacao à induire une vasodilatation de l'endothélium vasculaire, à améliorer le profil lipidique, glucidique et inflammatoire et le rôle qu'il pourrait jouer dans la prévention des maladies cardiovasculaires et des maladies métaboliques comme le diabète, il reste cependant intéressant au vue de la composition du chocolat riche en glucides et lipides de s'intéresser à ses limites sur les effets bénéfiques qu'il pourrait exercer en santé.

3.2. Limites des effets santé du chocolat

Malgré les effets positifs exercés par les polyphénols du chocolat noir, le chocolat noir reste un produit riche en calories mais aussi en lipides, pour le chocolat noir et/ou en glucides, pour le chocolat au lait et le chocolat blanc, ce qui pourrait en limiter les effets.

D'après les études que nous avons vues précédemment, il s'avère que ce sont les polyphénols contenus dans le chocolat noir qui auraient un effet sur les maladies cardiovasculaires étant donné que le chocolat blanc qui n'en contient pas, n'exerce pas ces vertus. Cependant, le haut niveau calorique du chocolat qu'il soit noir, au lait ou blanc, impose la prudence avant de recommander sa consommation comme aliment fonctionnel qui pourrait avoir un effet positif sur les maladies cardiovasculaires. En effet, une consommation calorique trop importante non compensée par un surcroît d'activité physique, favorise l'obésité et les complications qu'elle peut entraîner comme des complications cardiovasculaires, ou encore métaboliques [106]. Une surcharge calorique, surtout si elle est riche en lipides, augmente notamment les concentrations de LDL-c. Cette augmentation est un facteur de risque de maladies cardiovasculaires [108].

Cet excès calorique peut également altérer l'équilibre glycémique. Ainsi une étude menée en 2010 sur 36 sujets a cherché à démontrer les effets d'une alimentation hypercalorique sur sa capacité à induire une obésité et altérer l'équilibre glycémique. Cet essai a été réalisé pendant 28 jours après une suralimentation à base de 360 kcal/j. Certains paramètres métaboliques ont été mesurés et des biopsies du tissu adipeux ont été réalisées. Ces mesures ont été faites en début et en fin d'expérience. Le poids des sujets avait augmenté (en moyenne de 2,7 kg) tout comme leur masse grasse (1,1% environ) et ce régime hypercalorique était associé à une diminution de la sensibilité à l'insuline, d'environ 11%. Le chocolat par l'apport calorique supplémentaire qu'il pourrait apporter pourrait nous amener à nuancer son impact sur la prévention de l'insulinorésistance [107]. En effet dans le diabète, la maladie commence plusieurs années avant que l'on puisse détecter des signes cliniques comme l'hyperglycémie, la polyurie et la polydypsie [108]. En effet, pendant une période plus ou moins longue selon les patients, le pancréas va s'adapter à l'insulino-résistance et produire plus d'insuline en réponse à la diminution de l'insulinosensibilité des tissus. Dans un contexte de surpoids

ou d'obésité, ce problème de sensibilité à l'insuline semble relié à un excès de lipides au niveau viscéral en lien avec un développement ectopique de lipides qui ne sont plus stockés au niveau du tissu adipeux et qui viendront perturber la voie de signalisation de l'insuline réduisant l'insulino-sensibilité et favorisant l'insulino-résistance [27]. Le chocolat par son apport majoré en glucides, lipides et en calories pourrait favoriser ce développement ectopique de lipides et pourrait contribuer à majorer l'insulino-résistance.

De plus, certains types d'acides gras sont susceptibles d'augmenter le risque de survenue de diabète de type 2. Ainsi, l'excès d'apport en acides gras saturés est démontré comme étant un facteur favorisant l'insulino-résistance qui elle même favorise à terme l'apparition de diabète de type 2 [109]. Plus précisément une alimentation trop riche en acides gras saturés de type C14 et C16 pourrait d'autant plus majorer ce risque de diabète de type 2 contrairement aux acides gras saturés riches en C18 qui réduiraient ce risque. Le chocolat contient des acides gras saturés (tableau 14). Par conséquent, une consommation trop importante en chocolat pourrait favoriser l'induction d'une insulino-résistance pouvant conduire à un diabète de type 2 par majoration de l'apport en acides gras saturés même si les études vues ci avant tendent à démontrer que la consommation modérée de chocolat noir riche en polyphénols réduirait cette incidence [32].

Cependant, les acides gras saturés n'ont pas tous les mêmes effets métaboliques. L'acide palmitique (C16) par exemple, est un inhibiteur de la voie intracellulaire de l'insuline dans le muscle squelettique [30]. L'accumulation de lipides et plus particulièrement de C16, dans le tissu musculaire serait responsable d'une inhibition de cette voie intracellulaire de l'insuline réduisant la captation cellulaire du glucose à l'origine d'une hyperglycémie majorée et de la nécessité de sécrétion de plus d'insuline pour exercer son effet hypoglycémiant signant l'apparition d'une insulino-résistance. Le fonctionnement du foie et du pancréas serait également altéré en présence d'un excès d'acides gras saturé de type C16 participant à l'installation d'un diabète de type 2. Ainsi une surconsommation d'acides gras saturés de type C16 diminuerait les capacités de sécrétion d'insuline des îlots β du pancréas majorant le risque d'apparition de diabète de type 2 [110]. L'acide palmitique est aussi considéré comme pro inflammatoire. Il stimulerait la réaction inflammation dans certains types cellulaires comme l'adipocyte (au cours de la phase post prandiale notamment) [111]. Ces acides gras pourraient aussi

participer au développement de l'athérosclérose, en entraînant une augmentation du LDL-cholestérol. Ces dyslipidémies induites sont un facteur de risque important de développement de maladies cardiovasculaires. L'état inflammatoire et la dysrégulation lipidique sont associés à une majoration du risque cardiovasculaire. Ainsi, le dysfonctionnement endothélial induit par une dyslipidémie peut induire une inflammation à l'origine d'une majoration du risque d'athérosclérose [112]. De par la présence de C16 dans le chocolat, on ne peut donc pas assurer que la consommation de chocolat ne présente pas un risque de complication pour la santé tel que le diabète de type 2 ou les maladies cardiovasculaires. Cependant si on se reporte à la composition du chocolat (tableau 14), on voit que le chocolat noir à 70% de cacao contient plus d'acides gras saturés que les autres chocolats, mais parmi ces acides gras, deux sont principalement retrouvés, l'acide palmitique et l'acide stéarique. Si on regarde les quantités présentes pour le chocolat noir, on voit qu'il contient surtout de l'acide stéarique. Or l'acide stéarique par rapport à l'acide palmitique serait moins athérogène. Ainsi, une étude a montré qu'un régime alimentaire riche en acide stéarique n'augmenterait pas les concentrations lipidiques plasmatiques comme le LDL-c par rapport à un régime riche en acide oléique ou linoléique suggérant un rôle bénéfique contre le développement des maladies cardiovasculaires [30].

Ainsi, de par la présence en polyphénols comme démontré précédemment et possiblement par la moins grande présence d'acides gras saturés de type palmitique au profit d'acides gras saturés stéarique, le chocolat noir pourrait quand même participer à réduire l'incidence du diabète de type 2 et le risque de maladies cardiovasculaires ce qui n'est probablement pas le cas des chocolats blancs ou au lait.

Le chocolat contient également des glucides simples de type saccharose (tableau 15). Le saccharose est métabolisé en glucose et fructose qui ont des voies de métabolisation différemment régulées. Après ingestion, le fructose est capté et métabolisé par le foie de manière indépendante de l'insuline contrairement au métabolisme hépatique et périphérique du glucose. De plus, le fructose serait apte à modifier le profil lipidique par majoration de la lipogénèse et pourrait participer à l'apparition d'effets secondaires comme l'insulino-résistance par majoration des intermédiaires lipidique de la lipogénèse. Il n'est ainsi pas impossible d'imaginer que les

chocolats riches en saccharose ou en fructose augmenteraient le risque de diabète de type 2 comme cela pourrait être le cas pour le chocolat blanc ou le chocolat au lait qui contiennent plus de saccharose que le chocolat noir et de surcroît moins de polyphénols [113]. Le type de chocolat consommé pourrait donc engendrer des effets différents et plus ou moins délétère sur le profil métabolique.

Un bémol pourrait être émis pour le chocolat au lait, en effet, en comparant les quantités de glucides comprises dans les trois chocolats, on remarque que le chocolat au lait est celui qui contient le plus de glucides mais ces glucides ne sont pas forcément aussi délétères que ceux du chocolat blanc puisqu'une grande partie de ces glucides correspondent au lactose issu du lait. Cependant, aucune étude ne s'est encore intéressée à l'impact du chocolat blanc ou au lait, en fonction de sa composition en glucides sur l'incidence des maladies cardiovasculaires, de l'obésité ou encore de diabète de type 2.

Il ne faut pas non plus oublier que la plupart des études sur la consommation de chocolat présentées ci-avant ont été réalisées avec des doses quotidiennes modérées de chocolat, qu'il soit noir, au lait ou blanc et que ces études étaient souvent faites sur des durées courtes (quelques mois au mieux) et sur de faibles cohortes ne permettant pas d'appréhender les effets à long terme et à large échelle de la consommation de chocolat [81]. Il faudrait que les essais soient menés sur plusieurs années pour appréhender l'impact santé global du chocolat. Cela permettrait d'avoir du recul sur les effets au long cours et de l'effet dose d'une consommation importante de chocolat, en particulier sur les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2 et l'obésité.

Les études sélectionnées ici, concernent le chocolat consommé seul. Il existe d'autres études s'appuyant sur des aliments à base de cacao ou de chocolat montrant ou non les effets positifs du cacao sur le diabète, les maladies cardiovasculaires ou l'obésité. Pour une recherche plus complète sur les effets du chocolat, il aurait fallu inclure ces études. Cela aurait permis d'avoir une vision plus globale de l'impact santé de la consommation de chocolat en le consommant sous la forme où il l'est dans nos populations. En effet, le chocolat n'est pas toujours consommé pur sous forme de tablettes. Il peut être incorporé dans des gâteaux ou biscuits. Dans ce cas, l'effet matrice

de l'aliment en question peut être différent car la quantité et le type de nutriments et leur ratio les uns par rapport aux autres ne seront pas les mêmes et pourraient exercer un impact santé différent. On ne pourra donc pas transposer les résultats des études portant sur le chocolat à des aliments à base de chocolat. En effet, une étude sur le concept de synergie alimentaire a cherché à démontrer que les micronutriments consommés séparément ou dans un aliment donné n'avaient pas les mêmes effets biologiques. Dans cette revue de littérature, les chercheurs déduisaient que les interrelations entre les constituants dans les aliments étaient importantes. Elles dépendaient de l'équilibre entre les constituants au sein de la nourriture, de la façon dont ces nutriments survivaient à la digestion et de leur capacité à être actif au niveau cellulaire [114].

De nombreuses études restent donc encore à mener pour parler des bienfaits ou des méfaits du chocolat en santé.

Conclusion

Le cacao est un aliment connu depuis des siècles dont les premières traces sont retrouvées dans les forêts d'Amérique du Sud.

Il s'agit d'un aliment fortement consommé en France si l'on en croit les études épidémiologiques nutritionnelles qui retracent sa consommation dans la population Française comme l'étude INCA 2 ou Nutrinet-Santé dans son rapport sur la consommation de polyphénols en France. Dans ce travail, les études des parts de marché de sa consommation n'ont volontairement pas été présentées car peu informatives et bien souvent non représentatives de sa consommation au sein de la population générale.

Ainsi, après un rappel de la découverte du cacao et de son exploitation, ce travail nous a permis d'illustrer les nombreuses étapes de transformations subies par le cacao avant d'arriver à la tablette de chocolat que nous connaissons aujourd'hui. Grâce à ces transformations, et aux innovations technologiques, nous avons pu mettre en lumière l'existence à l'heure actuelle de dizaines de sortes de chocolat, dont la composition en macro et micronutriments varie. Ils sont ainsi plus ou moins cacaotés, plus ou moins riches en lipides, en glucides et en polyphénols.

L'étude de la composition nutritionnelle des différents chocolats noir, blanc ou au lait et des chocolats allégés en sucre et/ou en graisses nous a ensuite permis d'illustrer les différences de composition de ces chocolats. Ainsi les chocolats allégés en glucides voient le saccharose remplacé par des édulcorants alors que les chocolats allégés en lipides voient les lipides remplacés par des bulles d'air ou du jus de fruits. Les différents édulcorants utilisés présentent des avantages et des inconvénients qui semblent dépendants de leur métabolisation mais leur rôle sur le métabolisme glucidique et lipidique en particulier lorsqu'ils sont présents dans le chocolat est peu étudié. Nous avons donc choisi de focaliser notre travail sur le rôle que pourrait exercer en santé les chocolats noir, au lait et blanc en étudiant l'influence de leur composition sur des pathologies tels que le diabète de type 2 et les maladies cardiovasculaires. Ainsi, nous avons choisi d'illustrer l'importance des variations de compositions en macro et micronutriments des chocolats permettant ainsi de souligner que le chocolat noir, qui

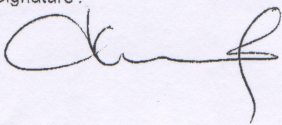
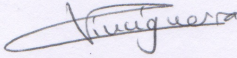
renferme plus de beurre de cacao, contenait plus de lipides que le chocolat blanc alors que le chocolat blanc était quant à lui plus sucré. La composition en micronutriments, et surtout en polyphénols, différait également puisqu'ils étaient absents du chocolat blanc, et présents en divers pourcentages dans le chocolat noir.

Le rôle sur la santé cardiovasculaire et l'équilibre glycémique des polyphénols contenus dans le chocolat noir, a ensuite été principalement étudié dans ce travail pour illustrer les propriétés santé du chocolat noir. En effet, depuis quelques années, les polyphénols sont particulièrement étudiés pour connaître leur impact en santé. Le rôle des polyphénols a été ici étudié dans le cadre d'une consommation de chocolat noir chez des sujets sains, des patients diabétiques, hypertendus ou obèses pour en apprécier l'effet santé. Nous avons illustré qu'ils permettraient entre autre d'améliorer la pression artérielle de sujets sains, mais aussi de patients hypertendus et diabétiques, qu'une consommation quotidienne de chocolat noir permettait d'améliorer le profil glucidique en améliorant la sensibilité à l'insuline de sujets sains et diabétiques et d'améliorer le profil lipidique en réduisant le risque cardiovasculaire de sujets sains et diabétiques. Nous avons également illustré que le cacao et ses polyphénols amélioraient la fonction endothéliale notamment en jouant sur la vasodilatation de l'endothélium, la production de monoxyde d'azote (NO) et la réduction de la pression artérielle et ce d'autant plus si un stress métabolique préalable y était associé. Enfin, les flavonols du chocolat sembleraient améliorer le profil métabolique par réduction de l'inflammation au niveau du tissu adipeux en lien avec l'obésité et le surpoids.

Malheureusement toutes ces études ont été menées sur des petits groupes de volontaires et sur un laps de temps court et semblent donc difficilement extrapolables à la population générale. De plus, on ne pourrait réduire le rôle du chocolat en santé qu'à la présence de polyphénols. La présence d'acides gras saturés en particulier d'acide palmitique, de fructose et sa propension à accroître la ration calorique pourrait venir contrebalancer les effets bénéfiques sur le métabolisme glucidique et lipidique exercés par les polyphénols qu'ils renferment ; ces points ont été développés dans la dernière partie de ce travail.

Par conséquent, pour l'heure, il semble difficile de donner une réponse tranchée à la question « le chocolat est-il bénéfique ou délétère pour la santé ». A la lumière de ce travail, il semble important de moduler la réponse en fonction des profils métaboliques

des consommateurs, du type de chocolat consommé, de la fréquence de consommation et de la quantité consommée, qui semblent vraisemblablement impacter différemment les effets du chocolat sur le métabolisme lipidique et glucidique amenant à considérer avec précaution les effets santé du chocolat dans la population générale, diabétique ou à risque élevé de maladies cardiovasculaires.

Le Président de la thèse, Nom : <i>Pr Jean Goudabue</i> Signature : 	28 AVR. 2016 Vu et permis d'imprimer, Lyon, le Vu, la Directrice de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, Faculté de Pharmacie Pour le Président de l'Université Claude Bernard Lyon 1,  Professeure C. VINCIGUERRA
--	---

Bibliographie

1. Harwich N. Histoire du chocolat. Paris. Les éditions Desjonqueres. 1ère édition. 2008. 312 pages
2. Alain Ducasse. Les étapes de la fabrication, processus complexe [En ligne]. 2008. [Consulté le 26 janvier 2015]. <http://www.lechocolat-alainducasse.com/fr/content/18-les-etapes-de-la-fabrication-un-processus-complexe>
3. Lindt. La création du chocolat Lindt [En ligne]. 2008. [Consulté le 26 janvier 2015] <http://www.lindt.fr/lunivers-lindt/lhistoire-de-lindt/la-creation-du-chocolat-lindt/>
4. Le Devin W. Cépages, millésimes, crus, décryptage des différents types de cacao. [En ligne]. 22 mars 2012 [consulté le 15 janvier 2015]. http://www.liberation.fr/vous/2012/03/22/cepages-millesimes-crus-decryptage-des-differents-types-de-cacao_804917
5. Unifa. Le chocolat [En ligne]. 2008. [consulté le 16 janvier 2015]. http://www.unifa.be/_STUDIOEMMA_WWW/images/publicaties/Brochure_Chocolat_2006_08.pdf
6. Tibère Valérie. 101 chocolats à découvrir. Paris. Dunod. 2014. 224 pages
7. Règlement européen n°1924/2006 du 20 décembre 2006 relatif aux allégations nutritionnelles de santé sur les denrées alimentaires. 1924/2006.
8. Additifs alimentaires. Maltitol, sirop de maltitol [En ligne]. 2006. [consulté le 25 janvier 2015]. <http://www.additifs-alimentaires.net/E965.php>.
9. Zazzo J-F, Puissant, MC. Dictionnaire de Nutrition et Diététique. Paris. Editions Maloine. 2010. 336 pages
10. Lazarin A. Stevia : le sucre vertueux. Paris. Editions Le sang de la terre; 2009. 95 pages
11. Hurtel J. Stevia [En ligne]. 2010. [Consulté le 24 février 2015] <http://www.phytomania.com/stevia-sucre-edulcorant.html>
12. Chatsudthipong V, Muanprasat C. Stevioside and related compounds: Therapeutics benefits beyond sweetness. Pharmacology & Therapeutics. 2008 ; 121 : 41–

54.

13. Briand P. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments sur un nouveau projet d'arrêté relatif à l'emploi du rébaudioside A extrait de *Stevia rebaudiana* comme additif alimentaire. Maisons-Alfort: AFSSA; 2009 mars. Report No.: 2008-SA-0321.

14. Additifs alimentaires. Erythritol [En ligne]. 2008. [consulté le 25 janvier 2015].
<http://www.additifs-alimentaires.net/E968.php>

15. Fredot E. Connaissance des aliments : bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Paris. Editions Tec et Doc. 2012. 614 pages

16. Passeport santé. Les alternatives au sucre [En ligne]. 2010. [consulté le 25 janvier 2015].

http://www.passeportsante.net/fr/Actualites/Dossiers/DossierComplexe.aspx?doc=alternatives_au_sucre_page1_3_do

17. Péliissier E. La vérité sur les sucres et les édulcorants. Paris. Editions Odile Jacob. 2013. 176 pages

18. Darrigol J. Aspartame et autres édulcorants : alternatives naturelles, miel, sirop d'érable, stevia. Paris. Editions Chariots d'or. 2010. 187 pages

19. Soffritti M, et al. Consequence of Exposure to Carcinogens Beginning During Developmental Life. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*. janv 2008;(102):118–24.

20. EFSA. Aspartame [En ligne]. 2007 [consulté le 25 janvier 2015].
<http://www.efsa.europa.eu/fr/topics/topic/aspartame.htm>

21. EUFIC. Le fructose et la santé du méabolisme [En ligne]. 2009. [consulté le 25 janvier 2015].

http://www.eufic.org/article/fr/artid/Le_fructose_et_la_sante_du_metabolisme/

22. Apfelbaum M, Romon M, Dubus M. Diététique et nutrition. Paris. Editions Dunod. 2008. 528 pages

23. Skelhon T et al. Queiscent water-in-oil pickering emulsions as a route toward healthier fruit juice infused chocolate confectionary. *J Mater Chem*. 2012;22:19289–95.

24. Bénétiér C et al. Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA 2). AFSSA; 2009.

25. Nutrinet. Etude Nutrinet Santé. Cohorte pour l'étude des relations nutrition-santé des comportements alimentaires et de leurs déterminants. Etat d'avancement et résultats préliminaires 1 an après le lancement. Paris: InVS, Inpes, Inserm; 2010 mai.

Report No.: 1.

26. Wheil J. Biochimie générale : cours et questions de révisions. Dunod. Paris; 2009. 752 pages
27. Berg J et al. Biochimie. 6^e éd. Paris. Editions Flammarion Médecin-Sciences; 2008. 1104 pages
28. Leray C. Les lipides dans le monde vivant, Introduction à la lipidomique. Paris Editions Lavoisier. 2010. 282 pages
29. Walrand S et al. Tous les acides gras saturés ont ils les mêmes effets métaboliques? Nutrition clinique et métabolisme. 2010;24:63–75.
30. Shulman G. Cellular mechanisms on insulin resistance. J Clin Invest. 2008;106:171–6.
31. Grundy S, Denke S. Dietary influences on serum lipids and lipoproteins. J Lipid Res. 1990;31:1149–70.
32. Dubois V, et al. Fatty acids profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritionnal potential. Eur J Lipid Sci Technol. 2007;109:710–32.
33. Kris-Etherton P, et al. Fatty acids and progression of coronary artery disease. Am J Clin Nutr. 1997;65:1088–90.
34. Chavez J, Summers S. Characterizing the effects of saturated fatty acids on insulin signaling and ceramid and diacylglycerol accumulation in 3T3-L1 adipocytys and C2C12 myotubes. Arch Biochem Biophys. 2009;419:101–9.
35. Summers L, Fielding B, Bradshaw H. Substituting dietary saturated fat with polyunsaturated fat changes abdominal fat distribution and improves insulin sensitivity. Diabetologia. 2002;45:369–77.
36. Esposito K, Nappo F, Marfella R. Inflammatory cytokine concentrations are acutely increased by hyperglycemia in humans : role of oxydative stress. Circulation. 2002;(106):2067–72.
37. Gilligham L, et al. Dietary monounsaturated fatty acids are protective against metabolic syndrome and cardiovascular disease risk factors. Lipids. 2011;3(46):209–28.
38. Garg A. High monounsaturatefat diets for patients with diabetes mellitus : a meta analysis. Am J Clin Nutr. 1998;supp 3(67):577S-582S.
39. Ros E. Dietary cis-monounsaturated fatty acids and metabolic control in type 2

diabetes. Am J Clin Nutr. 2003;Supp 3(78):617S-625S.

40. Whigham L, et al. Efficacy of conjugated linoleic acid for reducing fat mass: a meta-analysis in humans. Am J Clin Nutr. 2007;85:1203–11.
41. Kelly G. Conjugated linoleic acid : a review. Altern Med Rev. 2001;4(6):367–82.
42. Ryder J, et al. Isomer-specific antidiabetic properties of conjugated linoleic acid. Improved glucose tolerance, skeletal muscle insulin action, and UCP-2 gene expression. Diabetes. 2001;5(50):1149–57.
43. Bourre J, et al. nervonic acid biosynthesis by erucyl Co-A elongation in normal and quaking mouse brain microsomes. Elongation of other unsaturated fatty acyl-CoA (mono and polyunsaturated). Biochem Biophys Acta. 1976;(474):1–7.
44. Thijssen M, Mensink R. Small differences in the effects of stearic acid, oleic acid and linoleic acid on the serum lipoprotein profile of humans. Am J Clin Nutr. 2005;(82):510–6.
45. Lecerf J, Messing B, Billaux M. Point de vie sur l'athérosclérose. Paris. Editions Arnette. 2000. 267 pages
46. Ambrosi P, Queneau P. Cholestérol. Paris. Editions Larousse. 2005. 95 pages
47. Carrère d'Encausse M. Le cholestérol. Paris. Editions Marabout. 2005. 128 pages
48. Tibi A. Saccharose [En ligne]. 2013 [Consulté le 30 janvier 2015]
<http://www.universalis.fr/encyclopedie/saccharose/>
49. PNNS. Rapport du groupe de travail PNNS sur les glucides partie 2. PNNS; 2007 mars.
50. Alais C, Linden G, Miclo L. Biochimie alimentaire. Paris. Editions Dunod. 2008. 272 pages
51. Ascherio A, Rimm E, Hernan M. Intake of potassium, magnesium, calcium and fiber and risk of stroke among US men. Circulation. 1998;12(98):1198–204.
52. Iso H, Stampfer M, Manson J. Prospective study of calcium, potassium and magnesium intake and risk of stroke in women. Stroke. 1999;9(30):1772–9.
53. Rueff D. La bible des vitamines et des suppléments nutritionnels. Paris. Editions Albin Michel. 2004. 352 pages
54. Shils M et al. Modern Nutrition in Health and Disease. 10ème édition. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
55. Food and Nutrition Board. Dietary reference intake : calcium, phosphorus,

- magnesium, vitamine D, and fluoride. Washington DC: Institute of Medicine; 2004 p. 190–249.
56. Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride and sulfate. Washington DC: Institute of Medicine; 2004.
57. Vollmer W, Sacks F, Ard J. Effects of diet and sodium intake on blood pressure : subgroup analysis of the DASH-sodium trial. *Ann Intern Med.* 2001;12(135):1019–28.
58. Bonithon-Kopp C, et al. Calcium and fibre supplementation in prevention of colorectal adenoma recurrence: a randomised intervention trial. *Lancet.* 2000;9238(356):1300–6.
59. Specker B. Evidence for interaction between calcium intake and physical activity on changes in bone mineral density. *J Bone Miner Res.* 1996;10(11):1539–44.
60. Lynch S. Interaction of iron with other nutrients. *Nutr Rev.* 1997;4(55):102–10.
61. Turnlund J. *Nutrition in Health Disease.* 9ème édition. Baltimore: Williams & Wilkins; 1999.
62. Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes for vitamins A, vitamins K, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. Washington DC: Institute of Medicine; 2001.
63. Bowman B, Russel R. *Present knowledge in nutrition.* 9ème édition. Washington DC: ILSI Press; 2006.
64. Withney E, Rady Rolfes S. *Understanding nutrition.* 11ème édition. Thomson Learning; 2008.
65. Navas-Ancien A, Bleys J, Guallar E. Selenium intake and cardiovascular risk : what is new? *Current Opinions in Lipidology.* 2008;(19):43–9.
66. Bjelakovic G, Nikolova D, Gluud L. Antioxydant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases. *Cochrane database of systematic reviews.* 2008;2.
67. Armas L, Hollis B, Heaney R. Vitamin D2 is much less effective than vitamin D3 in humans. *J Clin endocrinol Metab.* 2004;11(89):5387–91.
68. Holick M. Vitamin D : a millenium perspective. *J Cell Biochem.* 2003;2(88):296–307.
69. Zempleni J, Rucker R, McCormick D, Suttie J. *Handbook of vitamins.* 4ème édition. New York: CRC Press (Taylor & Fracis Group); 2007. 605 pages

70. Traber MG. Vitamin E regulatory mechanisms. *Annu Rev Nutr.* 2007;(27):347–62.
71. Shearer M. Vitamin K. *Lancet.* 1995;8944(345):229–34.
72. Losonczy K, Harris T, Havlik R. Vitamin E and vitamin C supplement use and risk of all-cause and coronary heart disease mortality in older persons : the established populations for epidemiologic studies of the elderly. *Am J Clin Nutr.* 1996;2(64):190–6.
73. Grassi D, et al. Blood Pressure Is Reduced and Insulin Sensitivity Increased in Glucose-Intolerant, Hypertensive Subjects after 15 Days of Consuming High-Polyphenol Dark Chocolate. *J Nutr.* 2008;138(9):1671–6.
74. Enstrom J. Couterpoint - vitamin C and mortality. *Nutr today.* 1993;(28):28–32.
75. Brody T. *Nutritionnal Biochemistry.* Academic Press; 1999.
76. Ziegler E, Filer L. *Present knowledge in nutrition.* 7ème édition. Washington DC: ILSI Press; 1996.
77. Hendler S, Rorvik D. *PDR for nutritionnal supplements.* Montvale: Medical Economics Company Inc; 2001.
78. Oba S, et al. Consumption of coffee, green tea, oolong tea, black tea, chocolate snacks and the caffeine content in relation to risk of diabetes in Japanese men and women. *Brit J Nutr.* 2009;(103):453–9.
79. Greenberg J. Chocolate intake and diabetes risk. *Clinical Nutrition.* 2014;1–5.
80. Ruzaidi A, et al. The effect of Malaysian cocoa extract on glucose levels and lipid profiles in diabetic rats. *J Ethnopharmacol.* 2004;(98):55–60.
81. Grassi D, et al. Short-term administration of dark chocolate is followed by a significant increase in insulin sensitivity and a decrease in blood pressure in healthy persons. *Am J Clin Nutr.* 2005;(81):611–4.
82. Paillard F. Effets du chocolat sur la physiologie et les pathologies cardiovasculaires. *Presse Med.* 2014;43(7 - 8):848–51.
83. Zomer E, et al. The effectiveness and cost effectiveness of dark chocolate consumption as prevention therapy in people at high risk of cardiovascular disease: best case scenario analysis using a Markov model. *BMJ.* 2012;(344):1–9.
84. Quiñones M, et al. Effect of a cocoa polyphenol extract in spontaneously hypertensive rats. *Food Funct.* 2011;(2):649–53.
85. Rostami A, et al. High-cocoa polyphenol-rich chocolate improves blood pressure in

- patients with diabetes and hypertension. *ARYA Atheroscler*. 2015;11(1):21–9.
86. Cuenca-Garcia M, et al. Association between chocolate consumption and fatness in European adolescents. *Nutrition*. 2014;30(2):236–9.
 87. Almoosawi S, et al. Differential effect of polyphenol-rich dark chocolate on biomarkers of glucose metabolism and cardiovascular risk factors in healthy, overweight and obese subjects: a randomized clinical trial. *Food Funct*. 2012;3(10):1035–43.
 88. Davison K, et al. Effect of cocoa flavanols and exercise on cardiometabolic risk factors in overweight and obese subjects. 2008;32(8):1289–96.
 89. DI Renzo L, et al. Effects of dark chocolate in a population of Normal Weight Obese women: a pilot study. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2013;17(16):2257–66.
 90. Mellor D, et al. High-cocoa polyphenol-rich chocolate improves HDL cholesterol in Type 2 diabetes patients. *Diabet Med*. 2010;27(11):1318–21.
 91. Vasquez-Agell M, et al. Cocoa consumption reduces NF- κ B activation in peripheral blood, mononuclear cells in humans. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2013;23(3):257–63
 92. Cordero-Herrera I, et al. Cocoa-rich ameliorates hepatic insulin resistance by modulating insulin signaling and glucose homeostasis in Zucker diabetic fatty rats. *J Nutr Biochem*. 2015;27(7):704–12.
 93. Abbe Maleyki M, et al. Effects of Cocoa Extract on Glucometabolism, Oxidative Stress, and Antioxidant Enzymes in Obese-Diabetic (Ob-db) Rats. *J Agric Food Chem*. 2008;56(17):7877–84.
 94. Grassi D, et al. Protective Effects of Flavanol-Rich Dark Chocolate on Endothelial Function and Wave Reflection During Acute Hyperglycemia. *Hypertension*. 2012;(60):828–32.
 95. Westphal S, Luley C. Flavanol-rich cocoa ameliorates lipemia-induced endothelial dysfunction. *Heart Vessels*. 2010;(26):511–5.
 96. Schroeter H, et al. Epicatechin mediates beneficial effects of flavanol-rich cocoa on vascular function in humans. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2006;(103):1024–9.
 97. Martinez-Lopez S, et al. Realistic intake of a flavanol-rich soluble cocoa product increases HDL-cholesterol without inducing anthropometric changes in healthy and moderately hypercholesterolemic subjects. *Food Funct*. 2014;(5):364–74.
 98. Fadl A, Eman A, Safaa M. The Effect of Cocoa Powder, White Chocolate and Dark

Chocolate on Oxidative Stress and Lipid Profile on Hypercholesterolemic Rats. *J Amer Sci*. 2015;4(11):110–22.

99. Mursu J, et al. Dark Chocolate Consumption Increases HDL Cholestérol Concentration and Chocolate fatty Acids May Inhibit Lipid Peroxydation in Healthy Humans. *Free Rad Bio Med*. 2004;37(9):1351–9.

100. Grassi D, et al. Cocoa reduces blood pressure and insulin resistance and improves endothelium-dependant vasodilatation in hypertensives. *Hypertension*. 2005;2(46):398–405.

101. Yumi S, et al. Acute effect of oral flavonoid-rich dark chocolate intake on coronary circulation, as compared with non-flavonoid white chocolate, by transthoracic Doppler echocardiography in healthy adults. *Intern J Cardio*. 2009;131(3):424–9.

102. Hermann F, et al. Dark chocolate improves endothelial and platelet function. *Heart*. 2006;(92):119–20.

103. Gu Y, Yu S, Lambert JD. Dietary cocoa ameliorates obesity-related inflammation in high fat-fed mice. *Eur J Nutr*. 2014;53(1):149–58.

104. Faisal A, Amin I, Sander K. Molecular mechanisms underlying the potential antiobesity-related diseases effect of cocoa polyphenols. *Mol Nutr Food Res*. 2014;(58):33–48.

105. Tomaru M, et al. Dietary supplementation with cacao liquor proanthocyanidins prevents elevation of blood glucose levels in diabetic obese mice. *Nutrition*. 2007;(23):351–5.

106. Akiyama T, et al. High-fat hypercaloric diet induces obesity, glucose intolerance and hyperlipidemia in normal adult male Wistar rat. *Diabetes Res Clin Pr*. 1996;(31):27–35.

107. Tam C, Viardot A, Clément K. Short-term overfeeding may induce peripheral insulin resistance without altering subcutaneous adipose tissue macrophages in humans. *Diabetes*. 2010;(59):2164–70.

108. Lecler A. *Endocrinologie*. S Editions. Péronnas: Milon-la-Chapelle (Yvelines); 2013. 155 p.

109. Lopez S, Bermudez B, Ortega A. Effects of meals rich in either monounsaturated or saturated fat on lipid concentrations and on insulin secretion and action in subjects with high fasting triglyceride concentration. *Am J Clin Nutr*. 2011;(93):494–9.

110. Allagnat F, et al. ICER - 1 gamma overexpression drives palmitate mediated connexin 36 down regulation in insuline secreting cells. *J Biol Chem*. 2008;(283):5226–34.
111. Ciapaite J, et al. Palmitate and oleate have distinct effects on the inflammatory phenotype of humans endothelial cells. *Biochim Biophys Acta*. 2007;(1771):147–54.
112. Nickenig G, et al. Enhanced expression and autoimmunity of recombinaison signal binding protein kappa in human dilated cardiomyopathy. *Biochem Biophys Res Commun*. 1999;(266):432–6.
113. Hirsch M, et al. Glucides et santé : Etat des lieux, évaluation et recommandations. France: AFSSA; 2004 oct. Report No.: 1.
114. Jacobs DR J, Gross MD, Tapsell LC. Food synergy : an operationnel concept for understanding nutrition. *Am J Clin Nutr*. 2009 ; 89 (suppl) : 1543S-85

L'ISPB - Faculté de Pharmacie de Lyon et l'Université Claude Bernard Lyon 1 n'entendent donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

L'ISPB - Faculté de Pharmacie de Lyon est engagé dans une démarche de lutte contre le plagiat. De ce fait, une sensibilisation des étudiants et encadrants des thèses a été réalisée avec notamment l'incitation à l'utilisation d'une méthode de recherche de similitudes.

LOUBERT Pauline

Le chocolat : un nutriment aux vertus santé dans les troubles du métabolisme glucidique et lipidique ?

Th. D. Pharm., Lyon 1, 2016, 124 p.

RESUME

Le chocolat est un aliment considéré depuis toujours comme ayant de nombreuses vertus santé

Le but de ce travail est de montrer quels impacts exerce le chocolat sur le métabolisme glucidique et lipidique et par quel mécanisme.

Dans une première partie, nous avons retracé l'histoire du chocolat, ses origines, ses processus de fabrication et la place qu'il occupe dans l'alimentation des français.

Dans un deuxième temps, nous avons étudié la composition des différents chocolats ainsi que les propriétés nutritionnelles de ces nutriments.

Enfin, dans une dernière partie, nous avons cherché à comprendre en quoi les nutriments du chocolat pourraient être utilisés dans le cadre de la prévention de différentes pathologies touchant le métabolisme glucidique et lipidique, comme le diabète de type 2, les dyslipidémies et les maladies cardiovasculaires, pathologies pouvant être associées à l'obésité.

Il est difficile de donner une réponse tranchée à la question « le chocolat est il bon ou mauvais pour le métabolisme glucidique et lipidique ? ». De par sa composition en polyphénols, il pourrait être intéressant en prévention, mais à cause de sa forte proportion en lipides et en glucides, ses effets doivent être nuancés.

MOTS CLES

Chocolat

Polyphénols

Métabolisme glucidique et lipidique

JURY

Mme GOUDABLE Joëlle, PU-PH

Mme BLOND Emilie, MCU-PH

Mme CATALA Isabelle, Docteur en Pharmacie

DATE DE SOUTENANCE

Lundi 30 mai 2016

ADRESSE DE L'AUTEUR

62 allée des bleuets, 69500 Amplepuis