



HAL
open science

La noix de Macadamia et son huile : *Macadamia integrifolia* Maiden et Betche, Protéacées

Delphine Pascal

► **To cite this version:**

Delphine Pascal. La noix de Macadamia et son huile : *Macadamia integrifolia* Maiden et Betche, Protéacées. Sciences pharmaceutiques. 2008. dumas-00592150

HAL Id: dumas-00592150

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00592150>

Submitted on 11 May 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
FACULTE DE PHARMACIE DE GRENOBLE

Année : 2008

N°

LA NOIX DE MACADAMIA ET SON HUILE

Macadamia integrifolia Maiden et Betche,
Protéacées

THESE

PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN PHARMACIE
DIPLOME D'ETAT

PASCAL Delphine

Née le 25 août 1983 à Bonneville

THESE SOUTENUE PUBLIQUEMENT A LA FACULTE DE PHARMACIE DE
GRENOBLE

Le 12 décembre 2008

DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

Président du jury :

Mme MARIOTTE Anne-Marie, Professeur de pharmacognosie

Membres :

Mme RAVEL Anne, Maître de conférence de pharmacie

Mme PONCET Françoise, Docteur en pharmacie

La Faculté de Pharmacie de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
FACULTE DE PHARMACIE DE GRENOBLE
Domaine de la Merci 38700 LA TRONCHE

Doyen de la Faculté : Mme le Professeur **Renée GRILLOT**
Vice -Doyen : Mme **Edwige NICOLLE**

Année 2007-2008

PROFESSEURS A L'UFR DE PHARMACIE

| | | |
|---------------------|------------|---|
| BAKRI | Aziz | Pharmacie Galénique et Industrielle, Formulation et Procédés Pharmaceutiques (GRNR) |
| BURMEISTER | Wilhelm | Physique (U.V.H.C.I) |
| CALOP | Jean | Pharmacie Clinique (CHU) |
| DANEL | Vincent | SAMU-SMUR et Toxicologie (CHU) |
| DECOUT | Jean-Luc | Chimie Inorganique (D.P.M.) |
| DROUET | Emmanuel | Immunologie / Microbiologie / Biotechnologie (U.V.H.C.I) |
| FAVIER | Alain | Biochimie (L.C.I.B / CHU) |
| GODIN-RIBUOT | Diane | Physiologie – Pharmacologie (HP2) |
| GRILLOT | Renée | Parasitologie - Mycologie Médicale (Directeur UFR et CHU) |
| MARIOTTE | Anne-Marie | Pharmacognosie (D.P.M.) |
| PEYRIN | Eric | Chimie Analytique (D.P.M.) |
| RIBUOT | Christophe | Physiologie - Pharmacologie (HP2) |
| ROUSSEL | Anne-Marie | Biochimie (L.B.F.A) |
| WOUESSIDJEW | Denis | Pharmacotechnie et Vectorisation (D.P.M.) |

PROFESSEUR ASSOCIE (PAST)

| | | |
|----------------|----------|--------------------------|
| CHAMPON | Bernard | Pharmacie Clinique (CHU) |
| RIEU | Isabelle | Qualitologie (CHU) |

CHU : Centre Hospitalier Universitaire
DPM : Département de Pharmacochimie Moléculaire
GRNR : Groupe de Recherche sur les Nouveaux Radio pharmaceutiques
HP2 : Hypoxie Physiopathologie Respiratoire et Cardiovasculaire
LBFA : Laboratoire de Bioénergétique Fondamentale et Appliquée
LCIB : Laboratoire de Chimie Inorganique et Biologie
UVHCI : Unit of Virus Host Cell Interactions

Mise à jour du 11/09/07

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
FACULTE DE PHARMACIE DE GRENOBLE
Domaine de la Merci 38700 LA TRONCHE

Doyen de la Faculté : Mme le Professeur **Renée GRILLOT**
Vice-Doyen : Mme **Edwige NICOLLE**

Année 2007-2008

MAITRES DE CONFERENCES DE PHARMACIE

| | | |
|--------------------------|-----------------|--|
| ALDEBERT | Delphine | Parasitologie - Mycologie (L.A.P.M) |
| ALLENET | Benoît | Pharmacie Clinique (THEMAS TIMC-IMAG / CHU) |
| BATANDIER | Cécile | Nutrition et Physiologie (L.B.F.A) |
| BOUMENDJEL | Ahcène | Pharmacognosie (D.P.M.) |
| BRETON | Jean | Biologie Moléculaire / Biochimie (L.C.I.B) |
| BUDAYOVA SPANO | Monika | Biophysique Structurale (U.V.H.C.I) |
| CHOISNARD | Luc | Pharmacotechnie et Vectorisation (D.P.M) |
| COLLE | Pierre Emmanuel | Anglais |
| DELETRAZ-DELPORTE | Martine | Droit Pharmaceutique Economie Santé |
| DEMEILLIERS | Christine | Biochimie (N.V.M.C) |
| DESIRE | Jérôme | Chimie Bio- organique (D.P.M.) |
| DURMORT-MEUNIER | Claire | Microbiologie (L.B.S.) |
| ESNAULT | Danielle | Chimie Analytique (D.P.M.) |
| FAURE | Patrice | Biochimie (HP2 / CHU) |
| GEZE | Annabelle | Pharmacotechnie et Vectorisation (D.P.M.) |
| GERMI | Raphaële | Microbiologie (L.V.H.C.I. / CHU) |
| GILLY | Catherine | Chimie Thérapeutique (D.P.M.) |
| GROSSET | Catherine | Chimie Analytique (D.P.M.) |
| HININGER-FAVIER | Isabelle | Biochimie (L.B.F.A) |
| JOYEUX-FAURE | Marie | Physiologie -Pharmacologie (HP2) |
| KRIVOBOK | Serge | Botanique (L.C.B.M) |
| MOUHAMADOU | Bello | Cryptogamie, Mycologie Générale (L.E.C.A) |
| MORAND | Jean-Marc | Chimie Thérapeutique (D.P.M.) |
| MELO DE LIMA | Christelle | Biostatistiques (L.E.C.A) |
| NICOLLE | Edwige | Chimie Organique (D.P.M.) |
| PINEL | Claudine | Parasitologie - Mycologie Médicale (CIB / CHU) |
| RACHIDI | Walid | Biochimie (L.C.I.B) |
| RAVEL | Anne | Chimie Analytique (D.P.M.) |
| RAVELET | Corinne | Chimie Analytique (D.P.M.) |
| SEVE | Michel | Biotechnologie (CHU / CRI IAB) |
| SOUARD | Florence | Pharmacognosie (D.P.M) |
| TARBOURIECH | Nicolas | Biophysique (U.V.H.C.I.) |
| VANHAVERBEKE | Cécile | Chimie Bio- organique (D.P.M.) |
| VILLET | Annick | Chimie Analytique (D.P.M.) |

ENSEIGNANTS ANGLAIS

FITE Andrée

GOUBIER Laurence

POSTES D'ATER

| | | |
|--------|-------------------------|--|
| ½ ATER | RECHOUM Yassine | Immunologie |
| ½ ATER | MESSAI Radja | Mathématiques |
| ½ ATER | GLADE Nicolas | Biophysique |
| 1 ATER | KHALEF Nawale | Pharmacie Galénique et Industrielle, Formulation et Précédés Pharmaceutiques |
| 1 ATER | NZENGUE Yves | Biologie cellulaire |
| 1 ATER | PEUCHMAUR Marine | Chimie Organique |

PROFESSEUR AGREGÉ (PRAG)

ROUTABOUL Christel Chimie Inorganique (D.P.M.)

CHU : Centre Hospitalier Universitaire
CIB : Centre d'Innovation en Biologie
DPM : Département de Pharmacochimie Moléculaire
HP2 : Hypoxie Physiopathologie Respiratoire et Cardiovasculaire
IAB : Institut Albert Bonniot, Centre de Recherche « Oncogenèse et Ontogenèse »
IBS : Institut de Biologie Structurale
LAPM : Laboratoire Adaptation et Pathogenèse des Microorganismes
LBFA : Laboratoire de Bioénergétique Fondamentale et Appliquée
LCBM : Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux
LCIB : Laboratoire de Chimie Inorganique et Biologie
LECA : Laboratoire d'Ecologie Alpine
NVMC : Nutrition, Vieillesse, Maladies Cardiovasculaires
TIMC-IMAG : Laboratoire Technique de l'Imagerie, de la Modélisation et de Cognition
UVHCI : Unit of Virus Host Cell Interactions

Remerciements :

A Madame Anne-Marie Mariotte,

Je vous remercie pour votre aide, vos nombreux conseils et votre disponibilité tout au long de ce travail.

A Madame Anne Ravel,

Je vous remercie pour votre appui et la présence dans mon jury.

A Madame Françoise Poncet,

Un grand merci pour votre soutien et la présence dans mon jury,
Merci de m'avoir fait partager vos connaissances.

A mes parents, à mon frère,

Pour votre soutien, votre compréhension et vos encouragements durant toutes ces années d'études,

Merci de m'avoir donné la chance de faire ces études.

A mes amis,

Pour tous les moments passés pendant ces études.

TABLE DES MATIERES :

| | |
|--|----|
| LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES | 11 |
| INTRODUCTION | 15 |
| 1^{ère} PARTIE : BOTANIQUE | 16 |
| 1. Place dans la systématique | 17 |
| 2. Le genre <i>Macadamia</i> | 18 |
| 3. Espèce utilisée | 19 |
| 4. Description morphologique | 20 |
| 4.1. Tronc | 20 |
| 4.2. Feuilles | 20 |
| 4.3. Racines | 21 |
| 4.4. Fleurs | 21 |
| 4.5. Pollinisation | 21 |
| 4.6. Fruit | 22 |
| 5. Exploitation du macadamier | 25 |
| 5.1. Conditions environnementales requises | 25 |
| 5.2. Optimisation de l'exploitation | 25 |
| 5.3. La filière <i>Macadamia</i> | 26 |
| 5.4. Différents aspects du marché de la noix | 31 |

| | |
|--|----|
| 2^{ème} PARTIE : COMPOSITION CHIMIQUE | 34 |
| 1. Obtention de l'huile | 35 |
| 2. Propriétés physico-chimiques de l'huile | 36 |
| 3. Composition chimique de l'huile | 37 |
| 3.1. Lipides | 37 |
| 3.2. Composés phénoliques | 45 |
| 3.3. Informations nutritionnelles de l'huile | 46 |
| 4. Composition chimique de la graine | 47 |
| 4.1. Vitamines hydrosolubles | 47 |
| 4.2. Protéines et acides aminés | 48 |
| 4.3. Sucres | 49 |
| 4.4. Oligoéléments et éléments | 49 |
| 4.5. Informations nutritionnelles de la noix | 51 |

| | |
|---|----|
| 3^{ème} PARTIE : PHARMACOLOGIE CLINIQUE LIEE A LA CONSOMMATION DE NOIX : PROTECTION CARDIOVASCULAIRE | 52 |
| 1. Réduction du cholestérol sanguin | 53 |
| 1.1. Rôle des acides gras monoinsaturés | 53 |
| 1.2. Rôle des phytostérols | 59 |
| 2. Réduction des autres marqueurs du risque cardiovasculaire | 59 |
| 2.1. Influence des acides gras de la noix de Macadamia sur les marqueurs de l'inflammation, du stress oxydant et du risque cardiovasculaire | 59 |
| 2.2. Rôle de l'arginine | 61 |

| | |
|---|----|
| 4^{ème} PARTIE : UTILISATIONS DE LA NOIX ET DE SON HUILE | |
| VALORISATION DES SOUS-PRODUITS | 62 |
| 1. Noix | 63 |
| 1.1. Utilisations alimentaires | 63 |
| 1.2. Allergies à la noix | 64 |
| 2. Huile | 66 |
| 2.1. Usage alimentaire | 66 |
| 2.2. Usage cosmétique | 67 |
| 3. Sous-produits de la noix | 70 |
| 3.1. Farines déshuilées | 70 |
| 3.2. Coque | 70 |
| CONCLUSION | 72 |
| BIBLIOGRAPHIE | 74 |

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES :

| | |
|---|----|
| Figure n° 1: carte d'Australie ; Queensland et Nouvelle Galles du Sud à l'est, d'après [90] | 17 |
| Tableau I: classification systématique de la famille de la noix de Macadamia d'après [94] | 17 |
| Figure n°2 : espèces appartenant au genre Macadamia d'après [55], [72], [93] | 18 |
| Figure n°3: macadamier d'après [31]. | 20 |
| Figure n°4: branches de macadamier d'après [32] photo fournie par Orkos S.A.R.L. | 20 |
| Figure n°5: coupe transversale de feuille de Macadamia vue au microscope optique, grossissement x 200 d'après [64] | 20 |
| Figure n°6: grappes de fleurs de Macadamia d'après [80]. | 21 |
| Figure n°7: pistil au microscope électronique à balayage. barre d'échelle= 250 µm, flèche supérieure : papille stigmatique terminale, flèche inférieure : rainure saillante d'après [39] | 21 |
| Figure n°8: coques de noix d'après [31] | 22 |
| Figure n°9 : coque de noix de Macadamia fracturée d'après [37] | 22 |
| Figure n°10: péricarpes de noix de Macadamia d'après [80] | 23 |
| Figure n°11: péricarpes ouverts renfermant les coques contenant les noix de Macadamia d'après [80] | 23 |
| Figure n°12: noix de Macadamia d'après [80] | 23 |
| Figure n°13: noix de Macadamia au microscope électronique à transmission, coupe transversale de la jonction entre 2 cotylédons créant la double cuticule. C : cuticule, p : parenchyme, cw : paroi cellulaire, ob : corps huileux, barre d'échelle= 500 nm d'après [72] | 23 |
| Figure n°14: fleurs, fruits, croissance du fruit d'après [28] | 24 |
| Figure n°15: rangées de plants d'arbres de Macadamia d'après [80] | 25 |
| Figure n°16: traitement des noix d'après [80] | 26 |
| Figure n°17: balayeuse mécanique d'après [80] | 26 |
| Figure n°18 : séchage des noix d'après [57]. | 27 |
| Figure n°19: représentation des 3 directions pour le test de compression de la coque de noix de Macadamia d'après [6] | 28 |
| Figure n°9: coque de noix de Macadamia fracturée suite à la propagation d'une fracture verticale d'après [37] | 28 |

| | |
|---|----|
| Figure n°20: coque de noix de Macadamia avec une fracture horizontale après avoir été compressée : (a) avec une courte fracture, la coque ne peut être ouverte entièrement ; (b) avec une longue fracture, elle peut l'être, d'après [37] | 28 |
| Tableau II: catégories des noix de Macadamia commercialisées d'après [80] | 30 |
| Figure n°21: production australienne de noix en tonnes de 1987 à 2008 d'après [80] | 31 |
| Figure n°22: prix producteur des noix en dollars US par kg de 1987 à 2008 d'après [80] | 33 |
| Tableau III: prix de quelques fruits à coque (€/kg) d'après [91]. | 33 |
| Figure n°23: obtention de l'huile vierge d'après [88] | 35 |
| Tableau IV: caractères physico-chimiques de l'huile de Macadamia d'après [80], [44]. | 36 |
| Tableau V: composition (% massique) en acides gras saturés des huiles d'après [13] | 38 |
| Tableau VI: composition (% massique) en acides gras monoinsaturés des huiles d'après [13] | 39 |
| Figure n°24: structures des acides gras d'après [77] | 39 |
| Tableau VII: composition (% massique) en acides gras polyinsaturés des huiles d'après [13] | 40 |
| Tableau VIII: abréviations des acides gras constitutifs des glycérides d'après [24] | 41 |
| Tableau IX: pourcentages des triglycérides isolés dans l'huile de Macadamia d'après [24] | 42 |
| Tableau X: composition en phytostérols en mg/100g de noix de Macadamia et d'amandes, non détecté si <0,3 d'après [50]. | 43 |
| Figure n°25: structure des phytostérols d'après [77] | 44 |
| Figure n°26: teneur relative en phytostérols de noix, graines et produits dérivés [β -sitostérol (S), campestérol (C), stigmastérol (ST)] d'après [50]. | 44 |
| Tableau XI: teneur en vitamine E en mg/kg de noix de Macadamia séchées et torréfiées et d'amandes grillées et caramélisées dans du miel [16] | 44 |
| Tableau XII: concentration des composés phénoliques identifiés dans l'huile de Macadamia d'après [51]. | 45 |
| Figure n°27: structure des composés phénoliques d'après [51]. | 46 |
| Tableau XIII: informations nutritionnelles des huiles de Macadamia et d'amande /100g d'huile d'après [68], [80] et [92]. | 46 |
| Tableau XIV: teneur en vitamines hydrosolubles en mg/100g de la noix de Macadamia d'après [80] et de l'amande d'après [92]. | 47 |

| | |
|--|----|
| Tableau XV: teneur en acides aminés de la noix de Macadamia et de l'amande en g/100g de protéines et apports recommandés par l'organisation mondiale de la santé en acides aminés essentiels pour un enfant de 2-5ans et un adulte d'après [68]. | 48 |
| Tableau XVI: teneur en sucres (g/100g de graines) de la noix de Macadamia et de l'amande d'après [15]. | 49 |
| Tableau XVII: concentration en éléments de la noix de Macadamia et de l'amande ($\mu\text{g/g}$ de graine) et apports alimentaires recommandés ($\mu\text{g/j}$) pour les adultes selon le comité de nutrition et d'alimentation, l'institut de médecine, les académies nationales d'après [44] | 49 |
| Figure n°28: distribution du calcium et du magnésium dans les différents échantillons de noix d'après [44]. | 50 |
| Figure n°29: distribution des éléments dans les différents échantillons de noix d'après [44]. | 50 |
| Tableau XVIII: informations nutritionnelles des noix de Macadamia et amandes /100g de graines d'après [17], [44], [68], [80], [92]. | 51 |
| Tableau XIX: valeurs normales des lipides sanguins (mmol/L) d'après [78]. | 53 |
| Figure n°30 : protocole de l'étude de Nestel d'après [47]. | 54 |
| Tableau XX: effet des régimes sur les taux des lipides sanguins (mmol/L) d'après [47]. | 54 |
| Figure n°31 : protocole de l'étude de Curb d'après [10]. | 55 |
| Tableau XXI: effet des régimes sur les concentrations sériques des lipides (mmol/L) d'après [10] | 55 |
| Figure n° 32 : protocole de l'étude de Colqhoun d'après [8]. | 56 |
| Tableau XXII: % de variation des taux de lipides de M par rapport à G d'après [8] | 56 |
| Figure n°33 : protocole de l'étude de Garg d'après [18]. | 57 |
| Tableau XXIII: effet du régime sur les taux de lipides sanguins (mmol/L) d'après [18]. | 57 |
| Figure n°34: protocole de l'étude de Yamamoto d'après [76]. | 58 |
| Tableau XXIV: effet des régimes sur les taux de lipides sanguins d'après[76] | 58 |
| Figure n° 35 : protocole de l'étude de Garg d'après [19]. | 59 |
| Figure n°36: influence du régime sur le taux d'homocystéine ($\mu\text{mol/L}$) d'après [19], [18]. | 60 |
| Figure n°37: marqueurs plasmatiques du stress oxydant : 8-isoprostane ; de l'inflammation : leucotriène B4, thromboxane B2, prostacycline I2 (pg/mL) avant et après consommation de noix de Macadamia d'après [19]. | 60 |
| Figure n°38: noix de Macadamia torréfiées salées d'après [89] | 63 |

| | |
|--|----|
| Figure n°39: préparations culinaires australiennes à base de noix de Macadamia d'après [80] | 63 |
| Figure n°40: Noix de Macadamia torréfiées salées nature, à l'oignon et à l'ail, caramélisées, avec glaçage café, enrobage chocolat d'après [89] | 64 |
| Figure n°41: Noix entières enrobées de chocolat au lait et cookies noix de Macadamia, chocolat blanc d'après [89] | 64 |
| Figure n°42 : classification structurale des allergènes des fruits à coque et leurs rôles (en gras) d'après [25]. | 65 |
| Figure n°43:huiles vierges biologiques de noix de Macadamia d'après [83], [84] | 66 |
| Figure n°44: crème mains à base d'huile de Macadamia d'après [85] | 68 |
| Figure n°45 : crème capillaire à base d'huile de Macadamia d'après [86] | 68 |
| Tableau XXV: composition de la formule d'un stick solaire d'après [20]. | 69 |
| Figure n°46: huile de noix de Macadamia cosmétique et Mélange d'huile de noix de Macadamia régénérante et d'huiles essentielles décongestionnantes après-soleil d'après [87] | 69 |
| Figure n°47 : shampoing à base d'huile de Macadamia d'après [85] | 69 |

INTRODUCTION

La légende raconte que, bien avant que les explorateurs européens ne situent l'Australie sur une carte, le peuple Aborigène se réunissait sur les pentes des chaînes montagneuses de la côte est l'automne pour récolter les graines d'arbres au feuillage toujours vert : les macadamiers, dont ils nommaient la noix : « Kindal kindal ». Ils célébraient leurs rites ancestraux autour d'un grand feu grâce auquel ils chauffaient les noix pour les concasser. Dans les années 1950, ces arbres ont été notifiés par les botanistes Ferdinand Von Mueller et Walter Hill. Les 2 hommes ont été frappés par la beauté majestueuse des spécimens poussant dans les forêts tropicales de la région du sud-est du Queensland et du nord-est de la Nouvelle-Galles du Sud.

La noix de *Macadamia* appartient à la famille des Protéacées. Ce sont parmi les premiers angiospermes retrouvés fossilisés en Australie, ils offrent une opportunité d'étudier l'adaptation d'une plante à un sol appauvri. [56]

Le genre *Macadamia* a été donné en hommage au médecin australien qui a patronné au début du XIX^{ème} siècle les recherches d'une équipe de botanistes allemands sur cette noix, le docteur John MacAdam. Une distinction a été faite entre 2 espèces : *M. integrifolia* et *M. tetraphylla*. [80] Seule la première est cultivée. Les cultures à but commercial à Hawaii se sont développées à la fin des années 1940. [3]

Aujourd'hui les macadamiers sont cultivés en Australie, Nouvelle Zélande, à Hawaii, en Californie et en Afrique du Sud. Ces pays correspondent à des latitudes tropicales car le macadamier requiert des températures clémentes et une humidité constante. [61] L'Australie et les USA sont les deux principaux pays producteurs. [26] L'Australie est le pays qui a véritablement industrialisé la culture et l'exploitation du macadamier en codifiant avec précision chaque étape de la filière. Le protocole de chaque étape doit être respecté pour obtenir un produit final de qualité. L'Australie a réussi à imposer son standard et tient à pérenniser sa position dominante.

L'intérêt que l'on porte actuellement à cette noix dont les Aborigènes se nourrissaient déjà va grandissant. Il est utile de faire le point sur les connaissances scientifiques disponibles à son sujet afin d'évaluer le réel intérêt de la consommation de cette noix ou de son huile.

L'espèce botanique sera décrite, ainsi que la culture et la filière *Macadamia*. La composition chimique de l'huile et de la noix seront précisées.

Les résultats des études de pharmacologie clinique seront présentés, ainsi que les applications courantes de l'huile et de la noix.

BOTANIQUE

L'espèce *M. integrifolia* est cultivée pour l'exploitation de ses noix. Elle est originaire d'Australie ; du sud-est du Queensland et du nord-est de la Nouvelle-Galles du Sud.

Elle pousse sous des latitudes subtropicales.



Figure n°1: carte d'Australie; Queensland et Nouvelle Galles du Sud à l'est, d'après [90]

La culture du macadamier ne pose pas de problème particulier puisqu'il s'adapte à des sols variés.

En revanche, la récolte et le traitement du fruit sont des étapes longues et délicates, dues à la fragilité de la noix. Ainsi s'explique le prix relativement élevé de ces noix.

La production mondiale est en constante augmentation car de nouveaux pays misent sur cette culture importante pour leur économie.

1. Place dans la systématique

La classification de la famille de la noix de *Macadamia* est donnée par le département d'agriculture des Etats-Unis :

| | |
|-------------|--------------|
| Sous-classe | Rosidae* |
| Ordre | Proteales |
| famille | Proteaceae** |

Tableau I: classification systématique de la famille de la noix de *Macadamia* d'après [94]

*18 ordres : Apiales, Celastrales, Cornales, Euphorbiales, Fabales, Geraniales, Haloragales, Linales, Myrtales, Podostemales, Polygalales, Proteales, Rafflesiales, Rhamnales, Rizophorales, Rosales, Santalales, Sapindales. [94]

**9 genres : *Banksia* L.f., *Embothrium* J.R. and G. Forst , *Grevillea* R. Br. Ex Knight, *Hakea* Schrad, *Isopogon* R. Br. Ex Knight, *Leucospermum* R. Br., *Macadamia* F. Muell, *Protea* L., *Sternocarpus* R. Br. [94]

2. Le genre *Macadamia*

Le genre *Macadamia* regroupe 11 espèces :

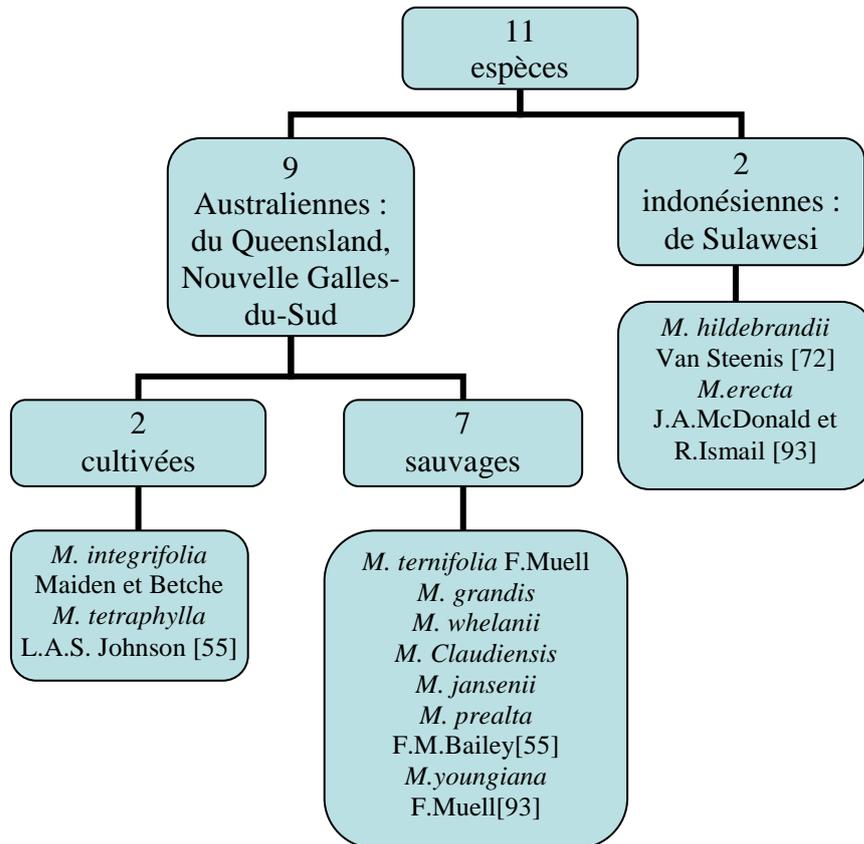


Figure n°2 : espèces appartenant au genre *Macadamia* d'après [55], [72], [93].

Seules 2 espèces produisent des noix comestibles : *M. integrifolia* et *M. tetraphylla*. *M. integrifolia* est cultivée pour ses noix et son huile. *M. tetraphylla* produit des noix ovales à coque dure de catégorie plus petite, de rendement moindre que *M. integrifolia* : elles sont donc moins adaptées à la commercialisation. [81]

M. ternifolia produit de petites noix amères non comestibles et toxiques car elles contiennent des glucosides cyanogéniques : 9,6µmol/g de poids frais. [79] [11] Elle n'est donc pas cultivée. A titre de comparaison, les espèces comestibles *M. integrifolia* et *M. tetraphylla* en contiennent 0,15µmol/g. [11] Les glucosides cyanogéniques identifiés sont la durrhine et la protéacine, précurseurs de l'acide cyanhydrique. [41]

On a longtemps considéré *M. ternifolia* comme un variant de *M. integrifolia*. On pensait extraire l'huile de *M. ternifolia*. Quand la terminologie I.N.C.I. (Nomenclature Internationale des Ingrédients Cosmétiques enregistrée au niveau européen) est apparue, c'est ce nom qui a été donné à l'huile. [9]

Les cosmétiques contenant de l'huile de noix de Macadamia mentionnent donc l'espèce *M. ternifolia*. [1]

Les techniques actuelles d'étude génétique ont permis d'établir que *M. ternifolia* et *M. integrifolia* sont 2 espèces distinctes. [59]

3. Espèce utilisée

L'espèce utilisée pour la consommation de noix est *M. integrifolia*. Elle est nommée noix de Macadamia à coquille tendre, noix australienne, noix du Queensland, noix bopple et noix du bush. [48]

Il existe 43 cultivars commerciaux ; les plus utilisés sont Elimbah, Keaau, Keauhou. [69]

La société californienne des cultivateurs de fruits rares les décrit comme tels :

Elimbah : originaire d'Australie et importé en Californie. Les coques sont minces, les graines occupent 50% de la taille des noix.

Keaau (HAES 660) : originaire d'Hawaii. Les noix de taille moyenne sont au nombre de 80 pour 454g.

Keauhou (HAES 246) : originaire d'Hawaii. Les noix de taille moyenne à grosse sont au nombre de 54 pour 454g. Les coques sont d'épaisseur moyenne. Les graines occupent 40% de la taille des noix. La saison de récolte est courte et les arbres sont résistants. [82]

4. Description morphologique



Figure n°3: macadamier d'après [31].

4.1. Tronc

Les arbres grandissent lentement jusqu'à atteindre la hauteur de 12 à 15m.[80]

4.2. Feuilles



Figure n°4: branches de macadamier d'après [32] photo fournie par Orkos S.A.R.L.

Les feuilles sont épaisses et d'un vert foncé brillant. [80]

Malgré la relative épaisseur des feuilles : environ 0,25mm, la photosynthèse peut se réaliser en profondeur à travers le mésophylle. [64]

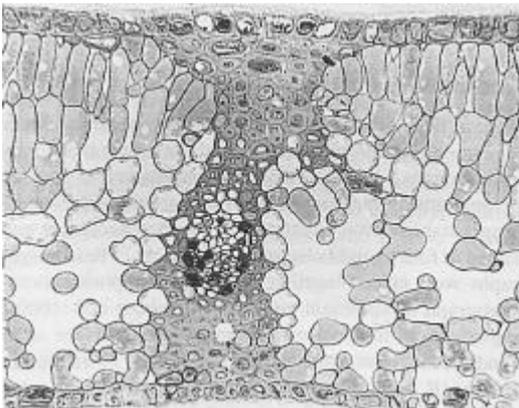


Figure n°5: coupe transversale de feuille de Macadamia vue au microscope optique, grossissement x 200 d'après [64]

4.3. Racines

Le macadamier est adapté aux sols pauvres en nutriments car il développe de nombreux faisceaux de racines sur l'axe de la racine principale. [56]

4.4. Fleur

Un arbre porte des fleurs, des noix jeunes et matures simultanément toute l'année. [80]

Les branches portent des grappes de 100 à 300 fleurs allongées blanches au parfum doux. La floraison se déroule de mai à septembre. [42] A l'issue de cette période, 90% des fleurs tombent. [67] La fleur porte 4 étamines et un pistil. Elle est auto-incompatible et protandre : les anthères sont matures avant les stigmates. [70] L'ovaire contient 2 ovules orthotropes dont un avorte. [72]



Figure n°6: grappes de fleurs de Macadamia d'après [80].

4.5 Pollinisation

Le pistil porte un style et un présentateur de pollen de structure complexe. Il est rainuré et surmonté d'une papille. Cette rainure saillante augmente la surface qui porte le pollen et donc la quantité de pollen. Cela permet une pollinisation malgré la difficulté d'accès du pollen à la cavité stigmatique. [39]

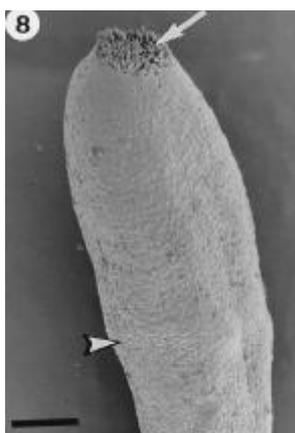


Figure n°7: pistil au microscope électronique à balayage. barre d'échelle= 250 μ m, flèche supérieure : papille stigmatique terminale, flèche inférieure : rainure saillante d'après [39]

Les pollinisateurs sont les abeilles *Apis mellifera* L. introduites et les abeilles indigènes *Trigona spp.* [23] La pollinisation par ces insectes est accrue lorsque les cultures sont à proximité de la forêt tropicale, leur réservoir naturel. Cette vision positive de la forêt est nouvelle car elle était autrefois considérée comme une source d'insectes ravageurs. [4] Etant données les pertes importantes de fleurs et la difficulté de pollinisation, le rôle des insectes pollinisateurs est déterminant pour la production de fruits.

4.6. Fruit



Figure n°8: coques de noix d'après [31]

Un macadamier met 8 à 12 ans pour porter des fruits. [46]

Botaniquement, le fruit est un follicule mais le terme de “noix” est utilisé communément pour décrire à la fois la coque et la graine. [72] La coque est de forme sphérique, solide, uniforme, de faible densité et de structure proche du bois. Elle est donc difficile à casser sans altérer la noix. [37]

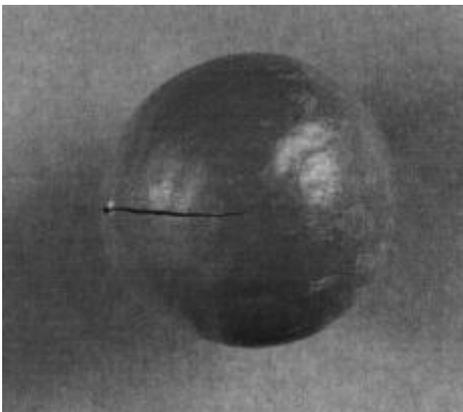


Figure n°9 : coque de noix de Macadamia fracturée d'après [37]

La graine est constituée d'un embryon blanc sphérique de 2 cotylédons recouverts d'une cuticule. Elle est entourée d'une coque brune sombre de 2,5cm de diamètre et 2 à 3mm d'épaisseur. La coque est contenue dans un péricarpe fibreux vert. [80]



Figure n°10: péricarpes de noix de Macadamia d'après [80]



Figure n°11: péricarpes ouverts renfermant les coques contenant les noix de Macadamia d'après [80]



Figure n°12: noix de Macadamia d'après [80]

L'embryon mature contient de nombreux corps huileux et protéiques dans le parenchyme.
[72]

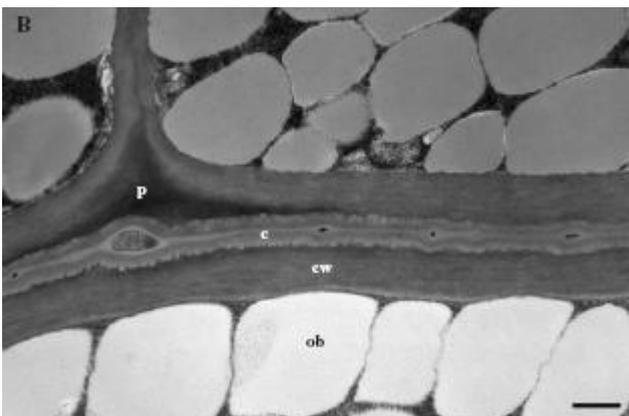


Figure n°13: noix de Macadamia au microscope électronique à transmission, coupe transversale de la jonction entre 2 cotylédons créant la double cuticule. C: cuticule, p: parenchyme, cw: paroi cellulaire, ob: corps huileux, barre d'échelle= 500 nm d'après [72]

Le développement des noix dure 7,5 mois : croissance en octobre-novembre, durcissement des coques fin décembre et conversion de l'amidon et des sucres en huile de janvier à mars. Ce dernier processus est déterminant pour la qualité de la noix. [80]

L'abscission des fruits matures a lieu de mars à septembre lorsqu'ils atteignent la taille d'un pois. [67]

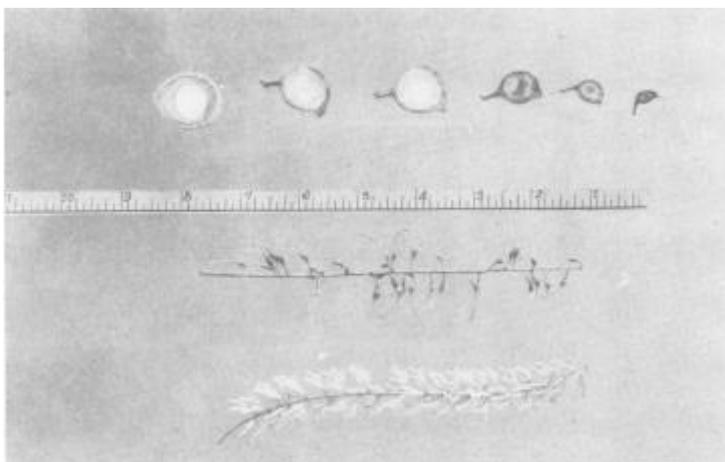


Figure n°14: fleurs, fruits, croissance du fruit d'après [28]

5. Exploitation du macadamier

5.1. Conditions environnementales requises

Le sol doit avoir une profondeur de 1 à 2m, un pH de 6 et être riche en matière organique. La composition chimique du sol ne semble pas déterminante pour la culture puisque les concentrations minérales du sol sont supérieures aux besoins physiologiques des plantes. [43]

Les macadamiers matures peuvent supporter de brèves périodes de gel jusqu'à -6°C , mais les jeunes arbres sont sévèrement affectés dès -1°C . Une pluviométrie annuelle de 1200 à 2300 mm dispense de toute irrigation supplémentaire. Des taux de sel dans l'eau excédant 300ppm peuvent provoquer des brûlures. [80]

Une température de 15 à 25°C est adaptée. Une humidité relative de 80% est optimale. [61]

Les arbres poussent sous les latitudes de 25° à 32° sud. [49]

La seule exigence du macadamier est donc d'être planté sous la bonne latitude, ce qui respecte les conditions requises d'humidité et de température.

5.2. Optimisation de l'exploitation

Un arbre n'est productif qu'au bout de 8 à 12 ans. Une alternative plus rapide au greffage classique consiste en la régénération in vitro qui permet l'insertion de gènes afin d'optimiser les cultures. [46]

D'autre part, il est nécessaire de remplacer chaque année les arbres vieillissants par de jeunes plants.

Les arbres sont plantés tous les 3 à 4m selon de longues rangées espacées de 6 à 10m afin de faciliter le passage des machines. [80]



Figure n°15: rangées de plants d'arbres de Macadamia d'après [80]

Les noix arrivées à maturité ne seront pas toutes commercialisées car il reste de nombreuses étapes délicates pour obtenir le produit fini. Une exigence de qualité s'impose à toutes les étapes.

5.3. La filière Macadamia

La filière regroupe les étapes illustrées ci-dessous.

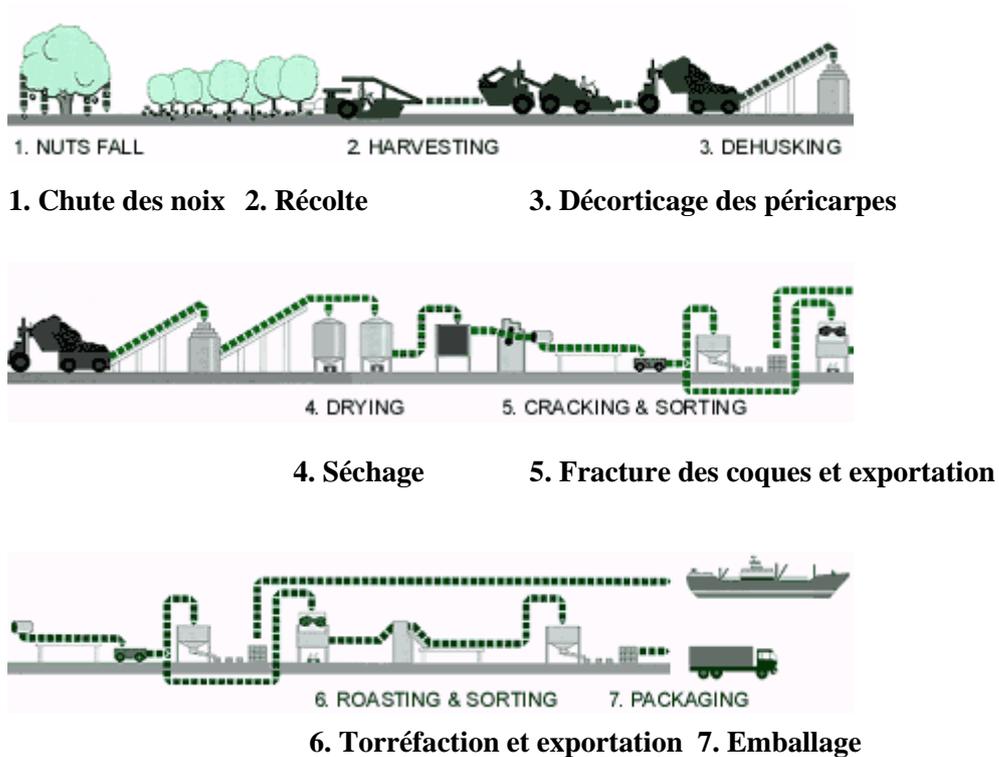


Figure n°16: traitement des noix d'après [80]

Un arbre porte des fleurs, des noix jeunes et mures simultanément toute l'année. [80]

5.3.1. Récolte

Les noix sont récoltées régulièrement par des balayeuses mécaniques. [80]



Figure n°17: balayeuse mécanique d'après [80]

5.3.2. Décorticage des péricarpes

Les coques doivent être débarrassées de leurs péricarpes dans les 24 h afin de préserver leur fraîcheur et faciliter le séchage. Les péricarpes décortiqués sont valorisés en paillis organiques. [80]

5.3.3. Séchage

Le séchage entraîne une déshydratation qui provoque la rétraction de la graine à l'intérieur de la coque et permet à cette dernière d'être ouverte sans endommager son contenu. [80]

Le séchage doit commencer peu après la récolte pour prévenir tout rancissement par hydrolyse ou développement de moisissures. [57] Il dure un mois et a lieu en 2 temps illustrés ci-dessous :

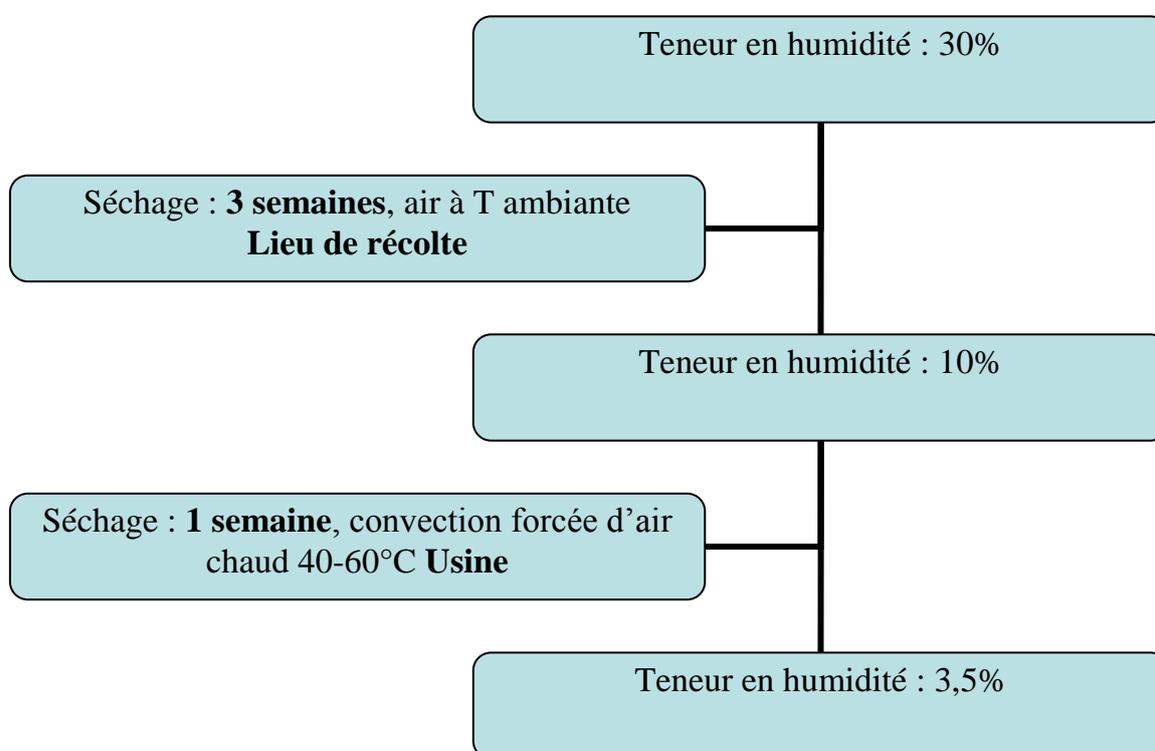


Figure n°18 : séchage des noix d'après [57].

5.3.4. Casse des coques

Le séchage provoque la fissuration de 80% des coques. [37] La fracture des coques très dures est délicate mais incontournable. Les machines modernes ont été développées pour éviter tout risque d'écrasement de la graine en fracturant la coque. [80]

La force de compression à exercer pour initier une fissure qui demande le moins d'énergie et cause le moins de dommage pour la graine, doit être appliquée longitudinalement depuis le hile de la noix et dans le sens de la suture. [6]

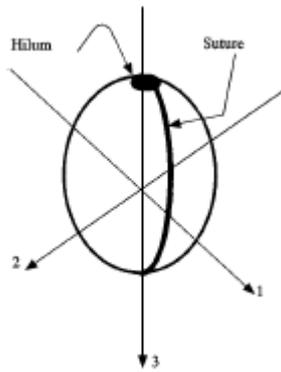


Figure n°19: représentation des 3 directions pour le test de compression de la coque de noix de Macadamia d'après [6]

Figure n°9: coque de noix de Macadamia fracturée suite à la propagation d'une fracture verticale d'après [37]

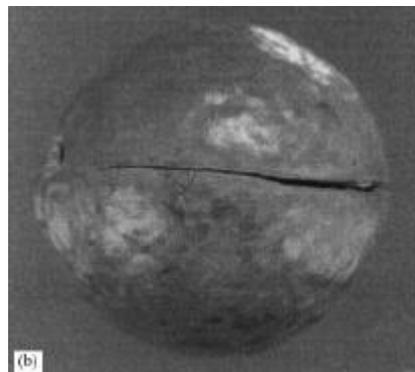
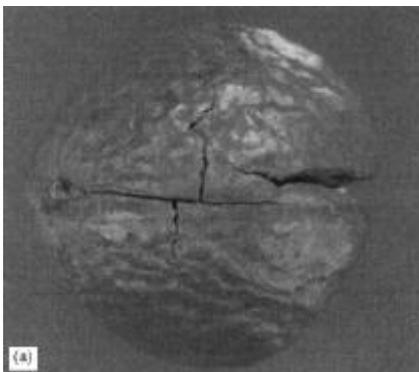
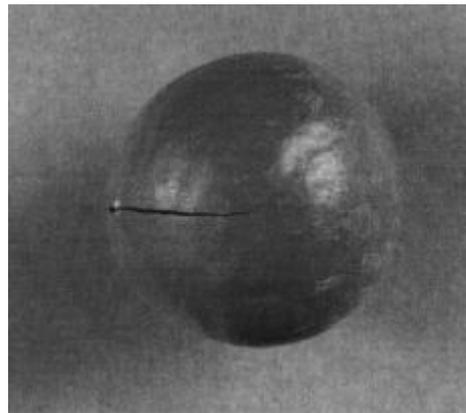


Figure n°20: coque de noix de Macadamia avec une fracture horizontale après avoir été compressée : (a) avec une courte fracture, la coque ne peut être ouverte entièrement ; (b) avec une longue fracture, elle peut l'être, d'après [37]

5.3.5. Séparation des coques des noix

Les coques sont séparées mécaniquement des noix. Des ouvriers éliminent à la main les coques ayant échappé aux séparateurs mécaniques. [31]

5.3.6. Torréfaction des noix

Les noix sont torréfiées dans des fours à convection à 125°C pendant 20 minutes. La couleur est un critère de qualité important des noix grillées. Un séchage de 3 semaines mal conduit par le producteur provoque un brunissement du centre de la noix lors de la torréfaction suite à la réaction de Maillard. [69]

5.3.7. Qualité des noix

5.3.7.1. Catégories

Les noix grillées peuvent être consommées telles quelles ou incorporées à des préparations. Il existe différentes catégories standardisées pour les classer.

| catégorie | Qualité des noix | description | photographie |
|-----------|--|--|---|
| 0 | Entières extra | Grosses noix min 98% >20mm |  |
| 1 | Entières 1 ^{er} choix | Min 95% >17mm |  |
| 2 | Entières et moitiés 1 ^{er} choix | Mélange 50/50 >13mm ou selon indications |  |
| 3 | Mélange 1 ^{er} choix pour cocktail | Min 15% entières et moitiés >13mm |  |
| 4 | Moitiés 1 ^{er} choix | Min 80% moitiés 10-14mm |  |
| 5 | Larges morceaux 1 ^{er} choix | 8-12mm |  |

| | | | |
|---|---------------------------------------|---------|---|
| 6 | Morceaux 1 ^{er} choix | 5-9mm |  |
| 7 | Petits morceaux 1 ^{er} choix | 3-6mm |  |
| 8 | Fins granulés 1 ^{er} choix | Max 4mm |  |

Tableau II: catégories des noix de Macadamia commercialisées d'après [80]

5.3.7.2. Emballage

Les noix sont empaquetées dans des boîtes, des bocaux en verre ou des paquets flexibles pelliculés d'un film d'aluminium. Elles sont conditionnées sous atmosphère contrôlée en CO₂ ou N₂ et sous vide partiel d'air. [80]

5.3.7.3. Conservation

Les noix se conservent une année dans leur emballage d'origine dans un endroit sec et frais. Au-delà, il est conseillé de les placer au froid. Contrairement à d'autres fruits à coque, elles requièrent un environnement pauvre en humidité et en oxygène pour garder leur croquant et leur intégrité. [80]

5.4. Différents aspects du marché de la noix

5.4.1. Production

La noix de Macadamia est l'unique production indigène d'Australie développée à des fins commerciales alimentaires. Elle apporte une forte contribution à l'économie australienne en favorisant l'emploi local et les investissements sur les marchés locaux et internationaux. L'Australie est le 1^{er} producteur mondial de noix de Macadamia avec une production qui a augmenté régulièrement, passant de 4000 tonnes en 1987 à 44000 tonnes en 2004. En 2002 et 2003, la production a été de 30000 tonnes, illustrant la variabilité interannuelle attribuée aux facteurs climatiques.

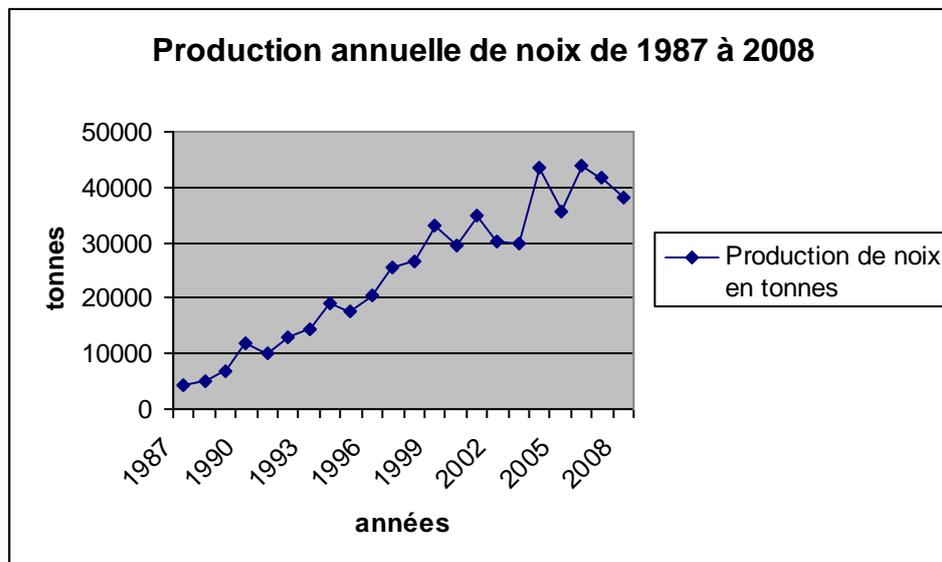


Figure n°21: production australienne de noix en tonnes de 1987 à 2008 d'après [80]

Les plus grands producteurs mondiaux sont l'Australie, Hawaii, l'Afrique du Sud, le Guatemala, le Brésil, et le Costa Rica d'après les chiffres de 2002 du Département Américain de l'Agriculture. [57]

5.4.2. Consommation

Les plus grands consommateurs sont les Etats-Unis avec près de 11000 tonnes en 2003, largement devant le Japon : 3300 tonnes et l'Europe : 3050 tonnes. [80] On peut remarquer que les plus gros producteurs ne sont pas les plus gros consommateurs. L'Australie est consommatrice mais préfère réserver sa production à l'exportation pour des raisons commerciales.

5.4.3. Pertes des récoltes et moyens de contrôle

Les noix tombées naturellement peuvent rancir ou moisir plus ou moins vite, ce qui entraîne 5 à 10% de pertes, ou plus si la chute est importante. [36] Un champignon pathogène du sol, *Xylaria arbuscula* provoque le dépérissement accéléré des macadamiers. [33]

A Hawaï, la punaise verte du sud *Nezara viridula*, Hemiptera : Pentatomidae se nourrit des noix de *Macadamia*. Des pertes en début de saison de 6 à 10% justifient la suppression de cet insecte. En effet, les industriels rejettent les noix si plus de 13% sont endommagées. [75]

En Afrique du Sud, 3 insectes de la famille Tortricidae (Lepidoptera) causent des dégâts économiques d'importance dans les cultures de noix de *Macadamia* : un insecte perforateur de noix *Thaumatotibia batrachopa*, une mouche *T. leucotreta* et la mouche du Litchi *Cryptophlebia peltastica*, mais le contrôle chimique par les insecticides est efficace. [65]

En 1989, dans le sud-ouest d'Hawaï les pertes engendrées par *Nezara viridula* ont été de 60% sur 3 mois. Actuellement, les prédateurs de cet insecte suffisent à détruire ses œufs. [27]

Un autre insecte foreur de noix de la même famille, *Ecdytolopha torticornis* a été responsable de la baisse de 39% du rendement en 1992 au Costa Rica. [5] Le composant principal de la phéromone de la mouche femelle semble contrôler les populations. Les insecticides n'ont pas été considérés comme nécessaires. [7]

Le rat noir *Rattus rattus* cause des pertes dans les récoltes de noix de *Macadamia* en Australie de l'ordre de 30%. Il ronge la coque pour manger en partie ou entièrement la noix. Une fois la coque percée, la noix devient impropre à la consommation humaine. Le rat transporte des noix dans son habitat voisin et fait des allées et venues entre la plantation et son habitat. La revégétalisation des habitats adjacents non cultivés avec les herbes originelles permet de réduire de 65% les noix rongées. Il s'agit d'une alternative aux appâts et aux raticides qui peuvent être toxiques pour l'homme et l'environnement. [14]

Les facteurs de pertes de noix sont identifiés et bien contrôlés.

5.4.4. Prix des noix

Le prix des noix depuis 1987 est présenté ci-dessous. Il fluctue et a baissé significativement depuis 2005 alors que la production ne cesse d'augmenter.

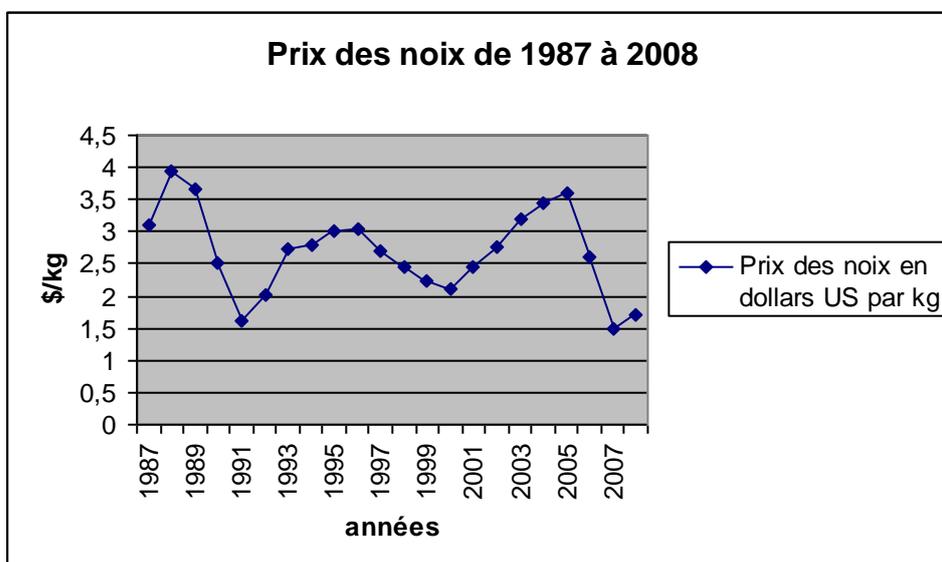


Figure n°22: prix producteur des noix en dollars US par kg de 1987 à 2008 d'après [80]

Le prix consommateur est plus fort à cause des traitements délicats et coûteux.

Le prix de la noix de Macadamia est relativement élevé comme indiqué ci-dessous.

| Fruit à coque | Prix (€/kg) |
|-----------------------------|-------------|
| Noix de Macadamia | 16,4 |
| Amande | 20,3 |
| Noix de Grenoble avec coque | 5,75 |
| Pistache avec coque | 11, 3 |
| Noix de cajou mondée | 19,4 |

Tableau III: prix de quelques fruits à coque (€/kg) d'après [91].

Le marché mondial de la noix de Macadamia se développe actuellement dans les pays en voie de développement d'Amérique Centrale et d'Afrique du Sud. Les macadamiers y ont été plantés récemment et la production va augmenter dans les années à venir. Se sentant menacée, l'Australie entretient sa réputation de producteur de noix de haute qualité en ayant créé le logo de Macadamia australienne qui garantit l'accréditation ISO 9002. [80]

COMPOSITION

CHIMIQUE

1. Obtention de l'huile

La noix de Macadamia renferme 76% d'huile. [44]

L'huile alimentaire est une huile vierge obtenue comme suit :

Les coques entières séchées sont écrasées, mises dans des poches en toiles appelées scourtins, puis pressées à froid pour obtenir une huile brute. Il n'est pas envisageable, au niveau industriel, de ne garder que la graine pour en extraire l'huile. La pression avec la coque constitue même un avantage puisqu'elle contient des composés phénoliques antioxydants pour l'huile. [51]

L'appellation huile vierge répond à des critères précis :

Extraction à froid ($T < 60^{\circ}\text{C}$) par des procédés mécaniques sans solvants

Clarification par des moyens physiques

Aucun traitement de raffinage

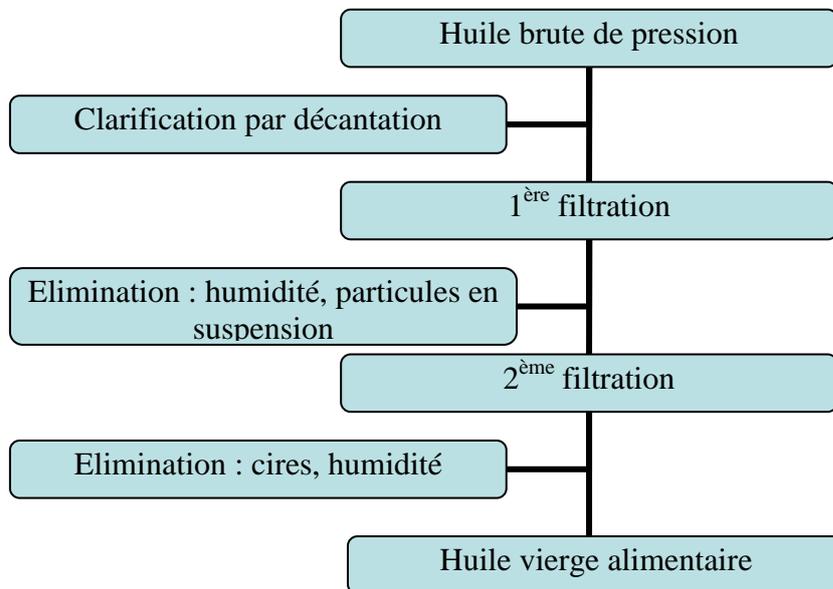


Figure n°23: obtention de l'huile vierge d'après [88]

L'huile vierge brillante et limpide est conditionnée en bouteille de verre brun et commercialisée. Elle doit être conservée à l'abri de la lumière et de la chaleur ; au bas du réfrigérateur pour limiter l'oxydation. [88] Contrairement à d'autres huiles, elle rancit lentement (5h30min à 130°C [51]) car elle est pauvre en acides gras polyinsaturés, donc à faible teneur en peroxydes : 0,56-3,61 meq O_2/kg d'huile. [30]

L'huile cosmétique est l'huile vierge qui est désodorisée. La désodorisation est réalisée dans un réacteur sous vide à 200°C avec injection de vapeur d'eau, suivie d'un refroidissement très rapide. L'utilisation de l'eau est compatible avec les normes BIO. Les composés volatiles responsables des odeurs sont entraînés par la vapeur d'eau.

La neutralisation élimine les acides gras libres et les composés phénoliques légèrement acides. [51] [52]

La décoloration élimine les pigments responsables de la couleur. Lors de cette étape, il est possible d'ajouter des charbons actifs pour éliminer la majorité des contaminants. [88]
L'huile raffinée rancit en 30min à 130°C. Une huile raffinée rancit plus vite qu'une huile de 1^{ère} pression à froid. [51]

2. Propriétés physico-chimiques de l'huile

Couleur : jaune, ambre pale, s'assombrissant par exposition prolongée à la lumière [80]

Odeur et saveur légères de noisette, facilement masquées [80]

| Caractère physico-chimique | Huile de noix de Macadamia | référence |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Température de solidification | -12°C | [80] |
| Point de fusion | 4°C | [80] |
| Point de fumée | 210°C | [80] |
| Indice de réfraction à 20°C | 1,469 | [44] |
| Masse volumique g/mL à 25°C | 0,9125 | [44] |
| Viscosité | faible | [80] |
| Indice d'acide mgKOH/g | 0,4 | [44] |
| Indice d'iode gI ₂ /100g | 78,3 | [44] |
| Indice de saponification mg KOH /g | 193,7 | [44] |

Tableau IV: caractères physico-chimiques de l'huile de Macadamia d'après [80], [44].

3. Composition chimique de l'huile

3.1. Lipides

L'huile contient 99,9% de lipides. [44]

3.1.1. Acides gras

Un acide gras est constitué d'une longue chaîne hydrocarbonée, saturée ou non, terminée par un groupe méthyle à une extrémité, et par une fonction carboxylique à l'autre extrémité. Il s'agit d'un acide carboxylique qui s'écrit d'après la nomenclature internationale $C_x : y_n - m$ avec :

x = nombre de carbones de la chaîne carbonée

y = nombre de doubles liaisons d'insaturation

m = place de la 1^{ère} double liaison à partir du carboxyle terminal ; noté carbone n°1

Un acide gras saturé possède une chaîne hydrocarbonée totalement saturée, tandis qu'un acide gras monoinsaturé a une double liaison, et un acide gras polyinsaturé en a plusieurs. Les doubles liaisons sont toujours séparées de 3 carbones. [13]

La composition en acides gras des fruits à coques détermine les propriétés suivantes :

- la qualité nutritionnelle : les acides gras monoinsaturés et polyinsaturés principalement n-3 et n-6 sont préférables aux acides gras saturés,
- les bénéfices pour la santé liés aux acides gras insaturés sont dus à la diminution du cholestérol sanguin indésirable (VLDL, LDL),
- la saveur,
- la durée de conservation relative à l'oxydation des acides gras insaturés, ce qui induit un rancissement et une perte de saveur. [68]

| Huile de | Macadamia | olive | Avocat |
|-----------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| Plante | <i>M. integrifolia</i> | <i>Olea europaea</i> | <i>Persea americana</i> |
| Acides gras saturés | | | |
| C8 : 0 | – | – | – |
| C10 : 0 | – | – | – |
| C12 : 0 | – | – | – |
| C14 : 0 | 1,3 | – | – |
| C16 : 0 | 9,7 | 12,1 | 15,7 |
| C18 : 0 | 2,1 | 2,6 | 0,7 |
| C20 : 0 | 1,7 | 0,4 | – |
| C22 : 0 | 0,5 | 0,1 | – |
| C24 : 0 | 0,2 | 0,1 | – |
| saturés totaux | 15,4 | 15,3 | 16,4 |

Tableau V: composition (% massique) en acides gras saturés des huiles d'après [13].

Avec environ 15% d'acides gras saturés, ces 3 huiles ont un profil nutritionnel acides gras mono-insaturés. [13]

| Huile de | Macadamia | olive | avocat |
|---|-------------|-------------|-------------|
| monoinsaturés | | | |
| C16 : 1 n-7 acide palmitoléique | 26,7 | 0,8 | 7,3 |
| C16 : 1 n-9 | – | – | – |
| C17 : 1 n-7 Acide heptadécène-9-oïque | – | 0,2 | – |
| C18 : 1 n-9 acide oléique | 48,4 | 72,5 | 60,3 |
| C18 : 1 n-7 acide vaccénique | 3,0 | – | – |
| C20 : 1 n-9 acide gadoléique | 2,0 | 0,3 | 0,2 |
| C20 : 1 n-7 | – | – | – |
| C22 : 1 n-9 acide érucique | 0,7 | – | – |
| C24 : 1 n-9 | – | – | – |
| monoinsaturés totaux | 80,4 | 73,8 | 67,8 |

Tableau VI: composition (% massique) en acides gras monoinsaturés des huiles d'après [13]

Les huiles d'olive, de Macadamia et d'avocat sont riches en acides gras monoinsaturés.[77]

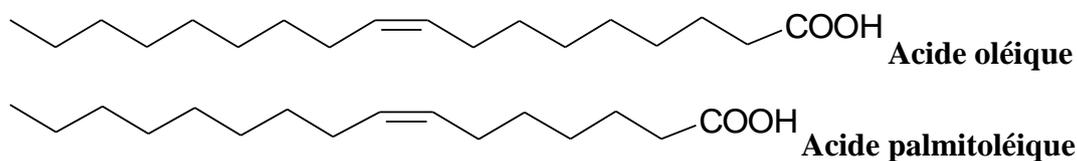


Figure n°24: structures des acides gras d'après [77]

L'huile de Macadamia a la teneur la plus élevée en **acide palmitoléique** et relativement pauvre en **acide oléique**. [13]

| Huile de | Macadamia | olive | avocat |
|---|------------|-------------|-------------|
| polyinsaturés | | | |
| C18 : 2 n-6 acide linoléique | 3,4 | 9,4 | 13,7 |
| C18 : 3 n-3 acide linoléique | 0,2 | 0,6 | 1,4 |
| C18 : 3 n-6 | – | – | – |
| C18 : 4 n-3 | – | – | – |
| C20 : 2 n-6 | – | – | – |
| C20 : 3 n-6 | – | – | – |
| C20 : 4 n-6 | – | – | 0,1 |
| C20 : 5 n-3 | – | – | – |
| C22 : 2 n-6 | – | – | – |
| C22 : 4 n-6 | – | – | – |
| polyinsaturés (PY) totaux | 3,6 | 10,0 | 15,2 |
| PY n-6 totaux | 3,4 | 9,4 | 13,8 |
| PY n-3 totaux | 0,2 | 0,6 | 1,4 |
| Ratio n-6/n-3 Nutritionnel optimal=5 | 17 | 16 | 9,8 |

Tableau VII: composition (% massique) en acides gras polyinsaturés des huiles d'après [13].

Le ratio n-3/n-6 optimal pour l'équilibre nutritionnel est 1/5. Les huiles d'olive, avocat et de noix de Macadamia sont riches en n-6 donc n'atteignent pas ce taux optimal. En revanche elles sont pauvres en acides gras polyinsaturés et l'huile de Macadamia est la plus faiblement pourvue en ces acides gras [13].

3.1.2. Glycérides

Les glycérides ou acylglycérols sont des esters d'acides gras et de glycérol. Ils peuvent être de type mono-, di-, ou tri-glycérides selon qu'ils comportent 1, 2 ou 3 acides gras.

| Nom trivial de l'acide gras | Symbole utilisé | Nombre de carbones : nombre de doubles liaisons |
|-----------------------------|-----------------|--|
| Myristique | M | C14 : 0 |
| Palmitoléique | Po | C16 : 1 |
| Palmitique | P | C16 : 0 |
| Heptadécanoïque | Mo | C17 : 1 |
| Margarique | Ma | C17 : 0 |
| linoléique | Ln | C18 : 3 |
| Linoléique | L | C18 : 2 |
| Oléique | O | C18 : 1 |
| Stéarique | S | C18 : 0 |
| Gadoléique | G | C20 : 1 |
| Arachidique | A | C20 : 0 |
| Béhénique | B | C22 : 0 |
| Lignocérique | Li | C24 : 0 |

Tableau VIII: abréviations des acides gras constitutifs des glycérides d'après [24]

La notation standard des triglycérides utilise l'initiale des noms des acides gras, dans l'ordre de leur position sur le squelette du glycérol.

| Triglycéride | % aire du pic/ aire totale (%) |
|--------------|--------------------------------|
| LOP | 5,3 |
| POPo | 12 |
| GPoPo | |
| POM | 2,0 |
| PPoP | |
| OOMo | 1,8 |
| OMoP | 2,2 |
| GLO | |
| OOO | 38 |
| GOM | |
| OOP | 19,5 |
| SLP | 2,4 |
| POP | |
| GOO | 6,1 |
| GOP | 2,4 |
| AOPo | 6,9 |
| SOP | 0,8 |
| GOG | 0,6 |
| AOO | 0,6 |
| AOP | < 0,1 |

Tableau IX: pourcentages des triglycérides isolés dans l'huile de Macadamia, d'après [24].

Les triglycérides les plus abondants sont :

- trioléate de glycéryle, gadoléate-oléate-myristate de glycéryle,
- dioléate-palmitate de glycéryle,
- palmitate-oléate-palmitoléate de glycéryle, gadoléate-dipalmitoléate de glycéryle.

La majorité d'entre eux est constituée par des acides gras monoinsaturés, ce qui est également le cas des diglycérides [24].

3.1.3. Insaponifiables

La matière insaponifiable ne contient pas d'ester et ne subit donc pas de réaction de saponification. La fraction insaponifiable de l'huile de Macadamia est de 0,31% et 0,44% pour l'huile d'amandes. [34]

3.1.3.1. Phytostérols

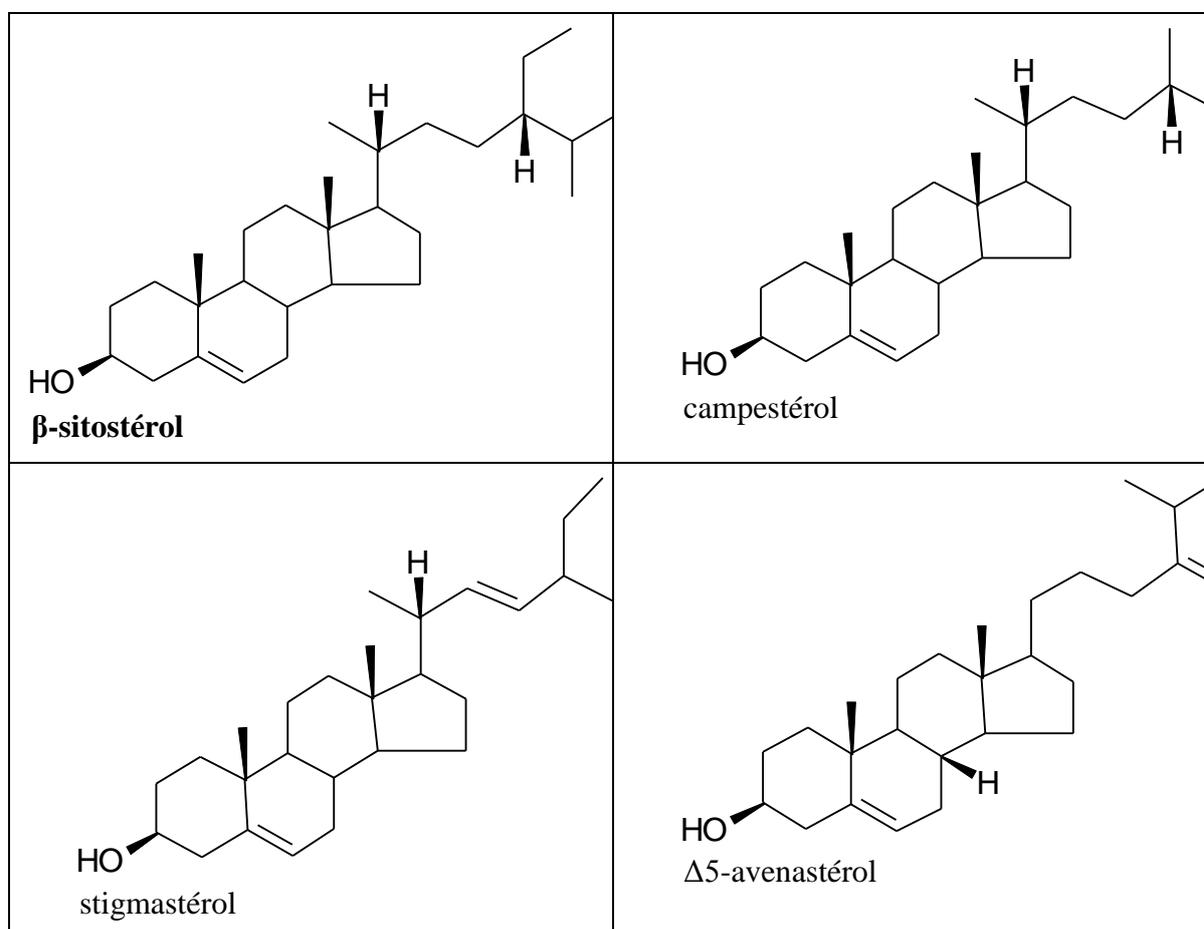
Le squalène est le précurseur des phytostérols, il en reste donc très peu dans l'huile ; 185µg/g d'huile de Macadamia et 95µg/g d'huile d'amande. [38]

Les phytostérols sont les stérols des plantes qui ont une structure proche de celle du cholestérol. Ils sont présents en faible quantité.

| Phyto-stérol (mg/100g) | β -sitostérol | campestérol | stigmastérol | Δ 5-avenastérol | sitostanol | campestanol | Autres stérols | Phytostérols totaux |
|------------------------|---------------------|-------------|--------------|------------------------|-------------|-------------|----------------|---------------------|
| Macadamia | 143,7 | 9,6 | non détecté | 13,3 | non détecté | 2,9 | 17,0 | 187 |
| Amande | 143,4 | 4,9 | 5,0 | 19,7 | 3,2 | 3,3 | 19,6 | 199 |

Tableau X: composition en phytostérols en mg/100g de noix de Macadamia et d'amandes, non détecté si <0,3 d'après [50].

Les compositions en phytostérols sont voisines avec une majorité de β -sitostérol.



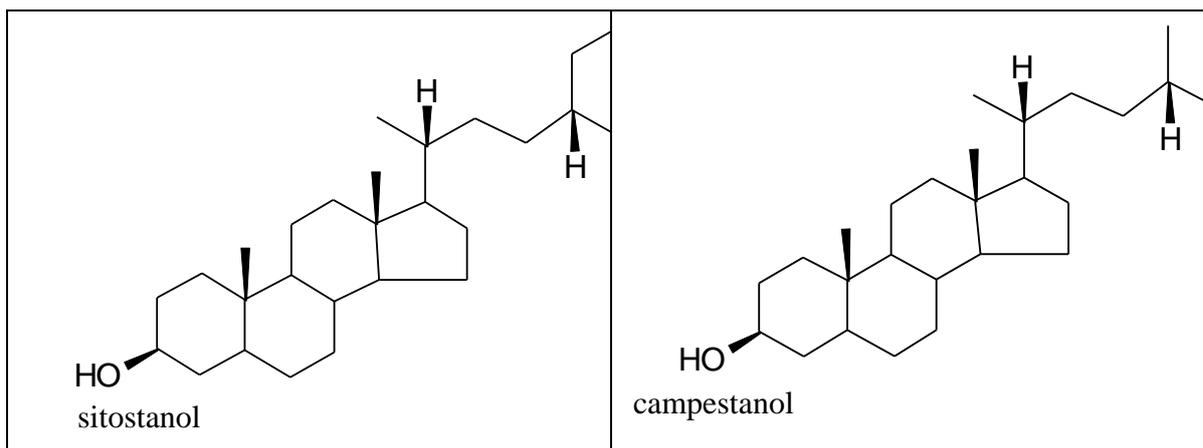


Figure n°25: structure des phytostérols d'après [77]

La teneur en phytostérols de la noix de Macadamia se situe dans la moyenne des graines, comme l'indique la figure suivante.

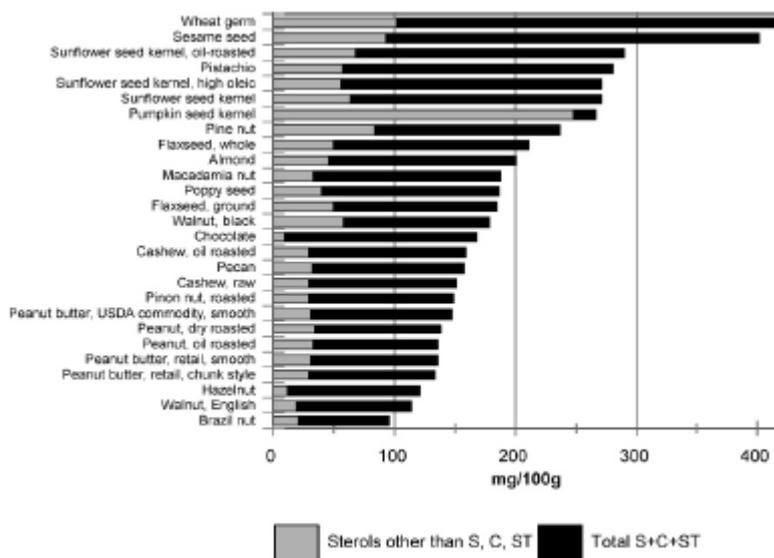


Figure n°26: teneur relative en phytostérols de noix, graines et produits dérivés [β -sitostérol (S), campestérol (C), stigmastérol (ST)] d'après [50].

3.1.3.2. Vitamines liposolubles : vitamine E

La littérature ne fournit aucun renseignement à propos des vitamines liposolubles autres que la vitamine E.

La vitamine E a un rôle antioxydant dans la peroxydation des lipides insaturés, ce qui permet le maintien de l'intégrité des membranes cellulaires.

| Vitamine E (mg/kg) | α -tocophérol | Total des tocophérols |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Noix de Macadamia | 0,8 | 21,8 |
| Amande | 185 | 201 |

Tableau XI: teneur en vitamine E en mg/kg de noix de Macadamia séchées et torréfiées et d'amandes grillées et caramélisées dans du miel [16]

L' α -tocophérol est la vitamine E majoritaire. La noix de Macadamia est très pauvre en vitamine E.

Un apport journalier de 15 mg d' α -tocophérol pour les adultes est recommandé par l'institut de médecine d'après les chiffres de l'année 2000. On peut donc conclure que la noix de Macadamia est pauvre en vitamine E car il est impossible d'atteindre raisonnablement cet apport en la consommant. L'amande renferme plus d' α -tocophérol et il faudrait en consommer 81g pour atteindre l'apport journalier recommandé en α -tocophérol. [16]

3.2. Composés phénoliques

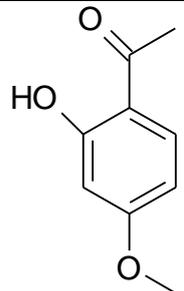
L'huile contient très peu de composés phénoliques. Une étude a été faite avec 2 huiles de pression à froid produites en laboratoire afin d'étudier leur temps de rancissement.

La 1^{ère} a été obtenue comme dans l'industrie par pression des coques entières, la 2^{nde} par pression des graines seules. L'huile de pression avec coques met de 30min à 1h de plus à rancir que l'huile de graines, soit de 6 à 40% de plus selon le cultivar. [51]

La stabilité de l'huile est liée à la teneur en composés phénoliques. Il y a 17 fois plus de composés phénoliques dans les coques que dans les graines, ce qui explique la stabilité accrue de l'huile de pression des coques entières.

| Composés phénoliques | Concentration dans l'huile ($\mu\text{g/g}$) |
|---|--|
| Acide 2,6-dihydroxybenzoïque | 24,0 |
| 2'-hydroxy-4'-méthoxyacétophénone | 6,9 |
| 3',5'-diméthoxy-4'-hydroxyacétophénone | 10,5 |
| Acide 3,5-diméthoxy-4-hydroxycinnamique | 7,3 |
| Concentration totale | 48,7 |

Tableau XII: concentration des composés phénoliques identifiés dans l'huile de Macadamia d'après [51].

| | |
|---|--|
|  |  |
| acide 2,6-dihydroxybenzoïque | 2'-hydroxy-4'-méthoxyacétophénone |

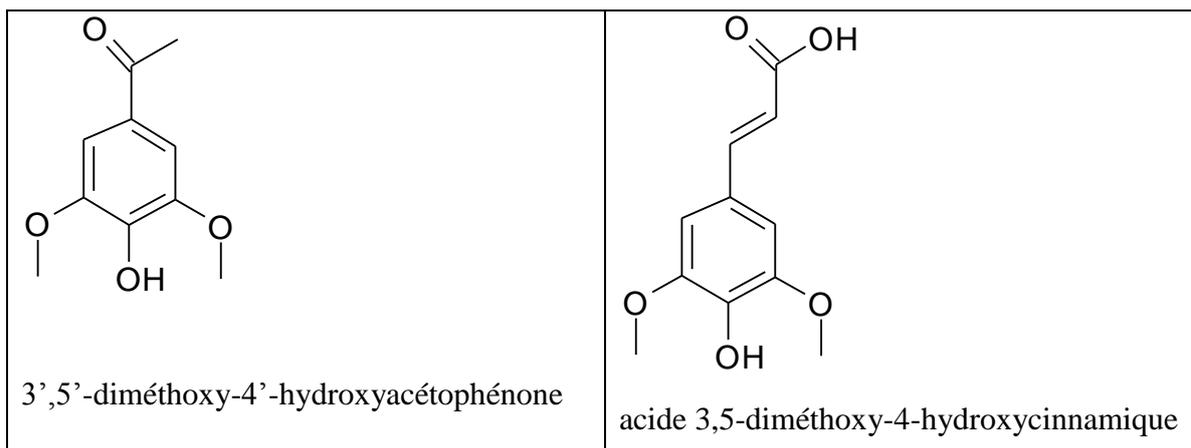


Figure n°27: structure des composés phénoliques d'après [51].

Les tanins, qui sont d'autres composés phénoliques, sont également présents en faible quantité : 0,01% dans la noix de Macadamia et 0,07% dans l'amande. [68]

3.3. Informations nutritionnelles de l'huile

| Donnée nutritionnelle | Teneur /100g d'huile | | référence |
|-----------------------|----------------------|--------|------------|
| | noix de Macadamia | amande | |
| Valeur énergétique | 3436kJ | 3767kJ | [80], [92] |
| Protéines | traces | traces | [80], [92] |
| Lipides totaux | 100g | 100g | [68] |
| monoinsaturés | 77,4g | 61,6g | [68] |
| Polyinsaturés | 4,40g | 29,3g | [68] |
| Saturés | 18,2g | 9,09g | [68] |
| Glucides totaux | 0 | 0 | [80], [92] |
| Sucres | 0 | 0 | [80], [92] |
| Cholestérol | 0 | 0 | [80], [92] |
| Potassium | 0 | 0 | [80], [92] |
| Sodium | traces | traces | [80], [92] |

Tableau XIII: informations nutritionnelles des huiles de Macadamia et d'amande /100g d'huile d'après [68], [80] et [92].

Les valeurs énergétiques sont sensiblement les mêmes. L'huile de Macadamia est plus riche en acides gras monoinsaturés et saturés que l'huile d'amande, mais nettement moins en polyinsaturés.

4. Composition chimique de la graine

4.1. Vitamines hydrosolubles

| Vitamine | nom | noix de Macadamia (teneur en mg/100g) | amande (teneur en mg/100g) |
|----------|---------------------|--|-------------------------------|
| B1 | thiamine | 0,7 | 0,25 |
| B5 | Acide pantothénique | 1 | 0,54 |
| B6 | Pyridoxine | 0,4 | |
| B2 | Riboflavine | 0,1 | |
| B3 | Niacine | 2 | 4,3 |
| B9 | Acide folique | 0,01 | |

Tableau XIV: teneur en vitamines hydrosolubles en mg/100g de la noix de Macadamia d'après [80] et de l'amande d'après [92].

Les teneurs en vitamines hydrosolubles de la noix de Macadamia sont faibles mais significatives. [80]

4.2. Protéines et acides aminés

Les protéines sont des polymères d'acides aminés de masse moléculaire > 10kDa. La noix de Macadamia contient 8,4% de protéines et l'amande en contient 20%. [68]

| Acide aminé (en gras si essentiel) | noix de Macadamia (teneur en g/100g de protéines) | amande (teneur en g/100g de protéines) | Apport recommandé en acides aminés essentiels pour un enfant de 2-5ans | Apport recommandé en acides aminés essentiels pour un adulte |
|--|--|---|---|--|
| Acide aspartique | 8,69 | 9,18 | | |
| Acide glutamique | 23,65 | 26,78 | | |
| Sérine | 4,30 | 3,67 | | |
| Glycine | 4,87 | 6,88 | | |
| Histidine (semi-essentiel) | 2,45 | 2,97 | 1,9 | 1,6 |
| Arginine (semi-essentiel) | 12,53 | 10,09 | | |
| Thréonine | 2,81 | 2,60 | 3,4 | 0,9 |
| Alanine | 4,51 | 4,85 | | |
| Proline | 6,77 | 5,09 | | |
| Valine | 4,31 | 4,41 | 3,5 | 1,3 |
| Méthionine | 2,15 | 0,81 | 2,5 | 1,7 |
| Cystéine | 0,84 | 0,30 | | |
| Isoleucine | 3,26 | 3,79 | 2,8 | 1,3 |
| Leucine | 6,55 | 7,19 | 6,6 | 1,9 |
| Phénylalanine | 3,34 | 5,46 | 6,3 | 1,9 |
| Tyrosine | 4,31 | 2,21 | | |
| Lysine | 4,10 | 3,06 | 5,8 | 1,6 |
| Thryptophane | 0,59 | 0,70 | 1,1 | 0,5 |

Tableau XV: teneur en acides aminés de la noix de Macadamia et de l'amande en g/100g de protéines et apports recommandés par l'organisation mondiale de la santé en acides aminés essentiels pour un enfant de 2-5ans et un adulte d'après [68].

L'amande est 2 fois plus riche en protéines que la noix de Macadamia.

Leur teneur en acides aminés est comparable mais il est impossible d'atteindre les apports journaliers recommandés en acides aminés essentiels par la seule consommation de la noix de Macadamia. [68]

4.3. Sucres

| fruit à coque | teneur en sucres (g/100g) | | | | | |
|-------------------|---------------------------|---------|----------|------------|----------|-------|
| | inositol | glucose | fructose | saccharose | sorbitol | total |
| noix de Macadamia | 0,02 | 0,08 | 0,03 | 4,09 | 0 | 4,22 |
| amande | 0,11 | 0,07 | 0,08 | 3,37 | traces | 2,11 |

Tableau XVI: teneur en sucres (g/100g de graines) de la noix de Macadamia et de l'amande d'après [15].

Les noix sont pauvres en sucres. Le sucre majoritaire des noix est le saccharose.

Un séchage progressif évite un brunissement prématuré ayant pour origine la réaction de Maillard entre les produits d'hydrolyse du saccharose (glucose et fructose) et les acides aminés. La réaction de Maillard aura lieu ensuite lors de la torréfaction pour obtenir des noix savoureuses. Ces opérations doivent suivre un protocole précis pour obtenir un produit de qualité commercialisable. [69]

4.4. Oligoéléments et éléments

| Elément | Concentration (µg/g) | | Apport journalier recommandé (µg/j) | Limite maximale autorisée (µg/j) |
|---------|----------------------|--------|-------------------------------------|----------------------------------|
| | Noix de Macadamia | amande | | |
| As | 0,019 | 0,013 | – | Non détecté |
| Ca | 3376,1 | 5392,4 | 1.10 ⁶ | 2,5.10 ⁶ |
| Cr | 1,26 | 0,94 | 25-35 | Non détecté |
| Cu | 18,96 | 23,74 | 900 | 1,0.10 ⁴ |
| Fe | 68,06 | 71,54 | 8-18000 | 4,5.10 ⁴ |
| Mg | 4886,5 | 5424,1 | 3,2.10 ⁵ | 3,5.10 ⁵ |
| Mn | 88,64 | 25,86 | 18-2300 | 11000 |
| Se | Non détecté | 0,0039 | 55 | 400 |
| Zn | 38,46 | 49,72 | 1,1.10 ⁴ | 4,0.10 ⁴ |

Tableau XVII: concentration en éléments de la noix de Macadamia et de l'amande (µg/g de graine) et apports alimentaires recommandés (µg/j) pour les adultes selon le comité de nutrition et d'alimentation, l'institut de médecine, les académies nationales d'après [44]

Les concentrations en éléments suivent le même ordre : Mg>Ca>Fe>Cu>Cr>As>Se. La consommation de noix contribue aux apports recommandés chez les adultes sans représenter de risque toxicologique. [44] La noix de Macadamia constitue un bon apport de Mg et de Ca, mais moins que l'amande.

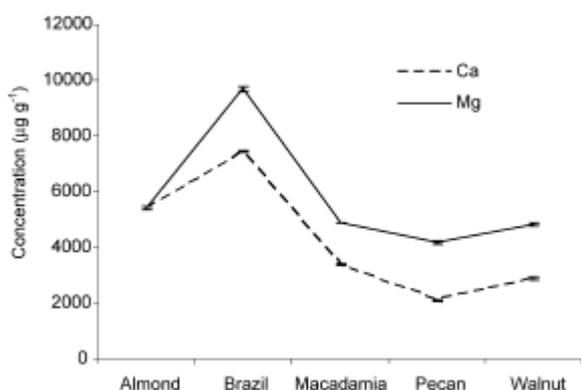


Figure n°28: distribution du calcium et du magnésium dans les différents échantillons de noix d'après [44].

Les fruits à coque sont riches en ces 2 éléments, avec une grande variabilité.

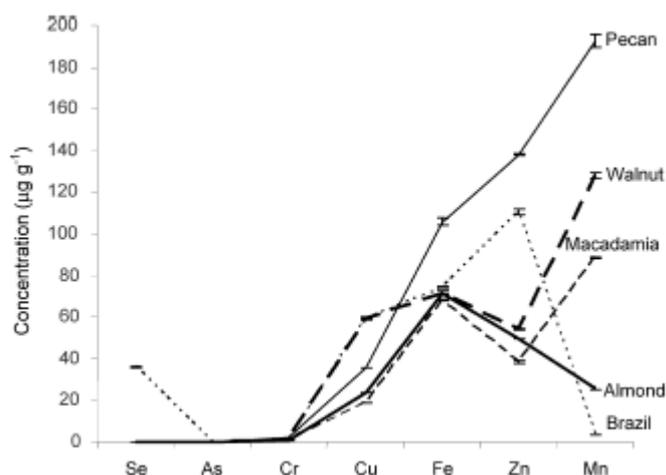


Figure n°29: distribution des éléments dans les différents échantillons de noix d'après [44].

La noix de Macadamia apporte des valeurs moyennes en tous les oligoéléments, comme la noix.

Les phytates sont des sources de phosphore dans les végétaux, assimilables uniquement par les ruminants qui possèdent une phytase. Chez l'homme ils complexent les minéraux.

Les noix de Macadamia contiennent 0,15% de phytates et les amandes 0,35%. [68]

4.5. Informations nutritionnelles de la noix

| Donnée nutritionnelle | Teneur /100g | | référence |
|-----------------------|-------------------|--------|------------|
| | noix de Macadamia | amande | |
| Valeur énergétique | 3080kJ | 2418kJ | [92] |
| Humidité | 2,1g | 9,5g | [68] |
| Protéines | 8,4g | 19,5g | [68] |
| Lipides totaux | 66,2g | 43,4g | [68] |
| monoinsaturés | 51,2g | 26,7g | [68] |
| Polyinsaturés | 2,9g | 12,7g | [68] |
| Saturés | 12g | 3,9g | [68] |
| Cendres | 1,2g | 2,5g | [68] |
| Glucides totaux | 7,9g | | [80] |
| Sucres | 1,36g | 2,1g | [68] |
| Fibres | 5,2g | 11,2g | [17] |
| Cholestérol | 0 | 0 | [17] |
| calcium | 337mg | 539mg | [44] |
| Potassium | 410mg | 603mg | [80], [92] |
| Sodium | 2mg | 9mg | [80], [92] |

Tableau XVIII: informations nutritionnelles des noix de Macadamia et amandes /100g de graines d'après [17], [44], [68], [80], [92].

La noix de Macadamia est plus énergétique que l'amande car elle est plus riche en lipides, mais elle apporte moins de protéines et de glucides.

**PHARMACOLOGIE
CLINIQUE LIEE
A LA CONSOMMATION
DE NOIX :
PROTECTION
CARDIOVASCULAIRE**

Dans la littérature n'est cité que l'intérêt nutritionnel de la noix de Macadamia et de son huile. Les études mettent en évidence le rôle de protection cardiovasculaire.

Les noix sont riches en lipides, cependant plus de 75% des acides gras sont insaturés, responsables d'un effet cardioprotecteur. Parmi les acides gras insaturés, les monoinsaturés sont majoritaires. L'huile de Macadamia est l'huile la plus riche en acides gras monoinsaturés devant les huiles d'olive, de colza et de noix. Le taux élevé en acides gras monoinsaturés de la noix de Macadamia est dû à une forte concentration en acide palmitoléique mais moindre en acide oléique. [30]

Ce n'est pas la quantité de lipides qui modifie le plus le taux de cholestérol plasmatique, mais leur nature. Mieux vaut remplacer les acides gras saturés par les insaturés que de réduire l'apport en lipides pour faire diminuer le cholestérol sanguin. Les régimes riches en acides gras monoinsaturés font baisser le taux de LDL-cholestérol, réduisant ainsi le risque de maladie cardiovasculaire.

Il est probable que les effets bénéfiques des noix ne soient pas dûs seulement aux acides gras, mais aussi à d'autres composés bioactifs, par exemple les phytostérols. [38]

1. Réduction du cholestérol sanguin

1.1. Rôle des acides gras monoinsaturés

Des essais de modification du régime alimentaire en introduisant des noix de Macadamia ont été réalisés pour examiner l'effet des acides gras monoinsaturés sur le taux de cholestérol sérique. Le cholestérol total comporte 2 composantes : le HDL qui est protecteur cardiovasculaire, et le LDL qui, s'il est supérieur aux valeurs normales, est facteur de risque cardiovasculaire. La variation du rapport : cholestérol total/HDL est plus significative que celle du cholestérol total, si l'on veut analyser l'effet d'un changement alimentaire sur le cholestérol sérique.

Les valeurs normales des taux de lipides sanguins sont les suivantes.

| Lipide | Norme (mmol/L) |
|------------------------|----------------|
| Cholestérol total (CT) | <6,2 |
| HDL-cholestérol (HDL) | >0,91 |
| Triglycérides (TG) | 0,40-1,4 |
| Ratio : CT/HDL | <5,0 |

Tableau XIX: valeurs normales des lipides sanguins (mmol/L) d'après [78].

Les études publiées concernant le thème de chaque paragraphe sont présentées de la même manière : protocole, résultats, analyse.

1.1.1. Influence de la nature de l'acide gras monoinsaturé : Etude de Nestel

Protocole:

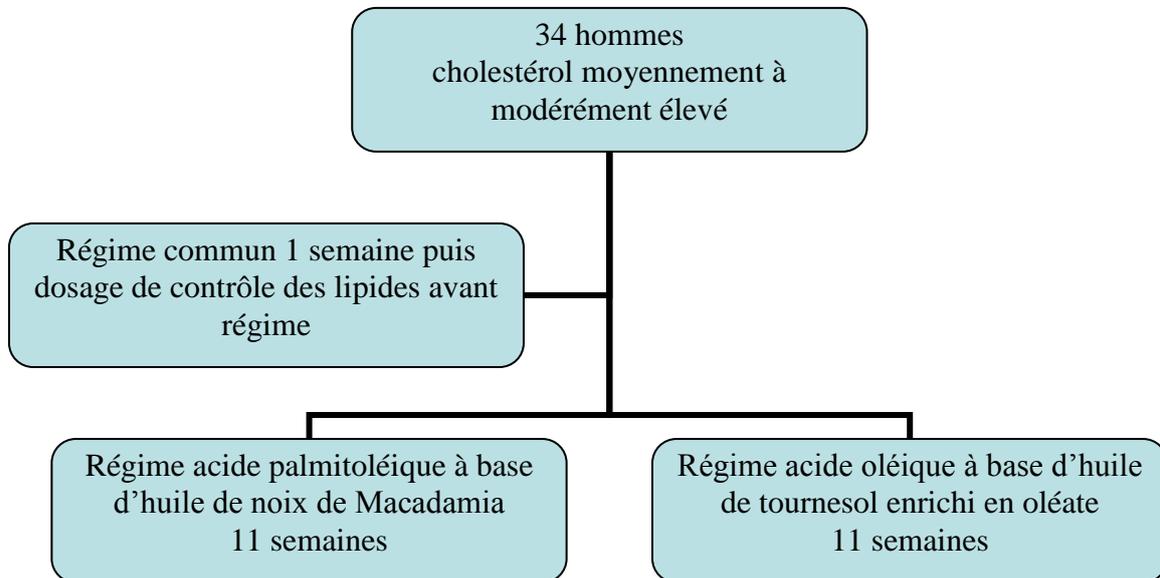


Figure n°30 : protocole de l'étude de Nestel d'après [47].

Résultats:

| régime | avant | palmitoléique | oléique |
|--------|-------|---------------|---------|
| CT | 5,83 | 5,73 | 5,58 |
| HDL | 1,08 | 1,10 | 1,12 |
| TG | 1,18 | 1,28 | 1,27 |
| CT/HDL | 5,40 | 5,21 | 4,98 |

Tableau XX: effet des régimes sur les taux des lipides sanguins (mmol/L) d'après [47].

Analyse :

Les acides oléique et palmitoléique réduisent favorablement le rapport CT/HDL, avec une meilleure efficacité pour l'acide oléique. Malheureusement, ils augmentent tous 2 sensiblement le taux de TG. [47]

1.1.2. Influences du taux d'apport énergétique par les lipides et de leur nature : Etude de Curb

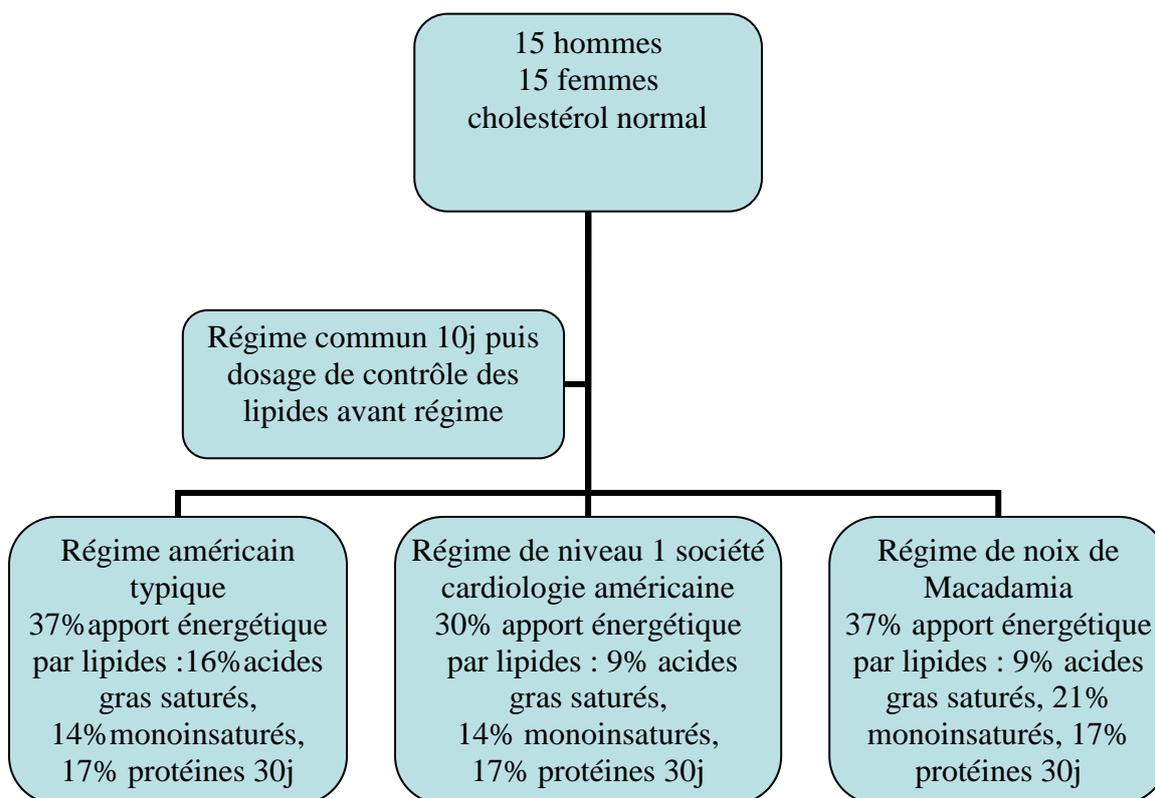


Figure n°31 : protocole de l'étude de Curb d'après [10].

Résultats :

| régime | avant | américain | niveau 1 | noix de M. |
|--------|-------|-----------|----------|------------|
| CT | 5,31 | 5,20 | 4,99 | 4,95 |
| HDL | 1,42 | 1,43 | 1,34 | 1,37 |
| TG | 0,91 | 0,87 | 0,94 | 0,79 |
| CT/HDL | 3,74 | 3,64 | 3,72 | 3,61 |

Tableau XXI: effet des régimes sur les concentrations sériques des lipides (mmol/L) d'après [10]

Analyse :

Le seul paramètre qui influence le taux de cholestérol est le taux de lipides. Les régimes noix de Macadamia et américain typique sont les plus bénéfiques pour le cholestérol en abaissant beaucoup le ratio CT/HDL. De plus, la noix de Macadamia réduit davantage le taux de TG. Le bénéfice apporté par la noix de Macadamia par rapport au régime américain provient du remplacement des graisses saturées par les monoinsaturées. [10]

Etude de Colqhoun :

Protocole :

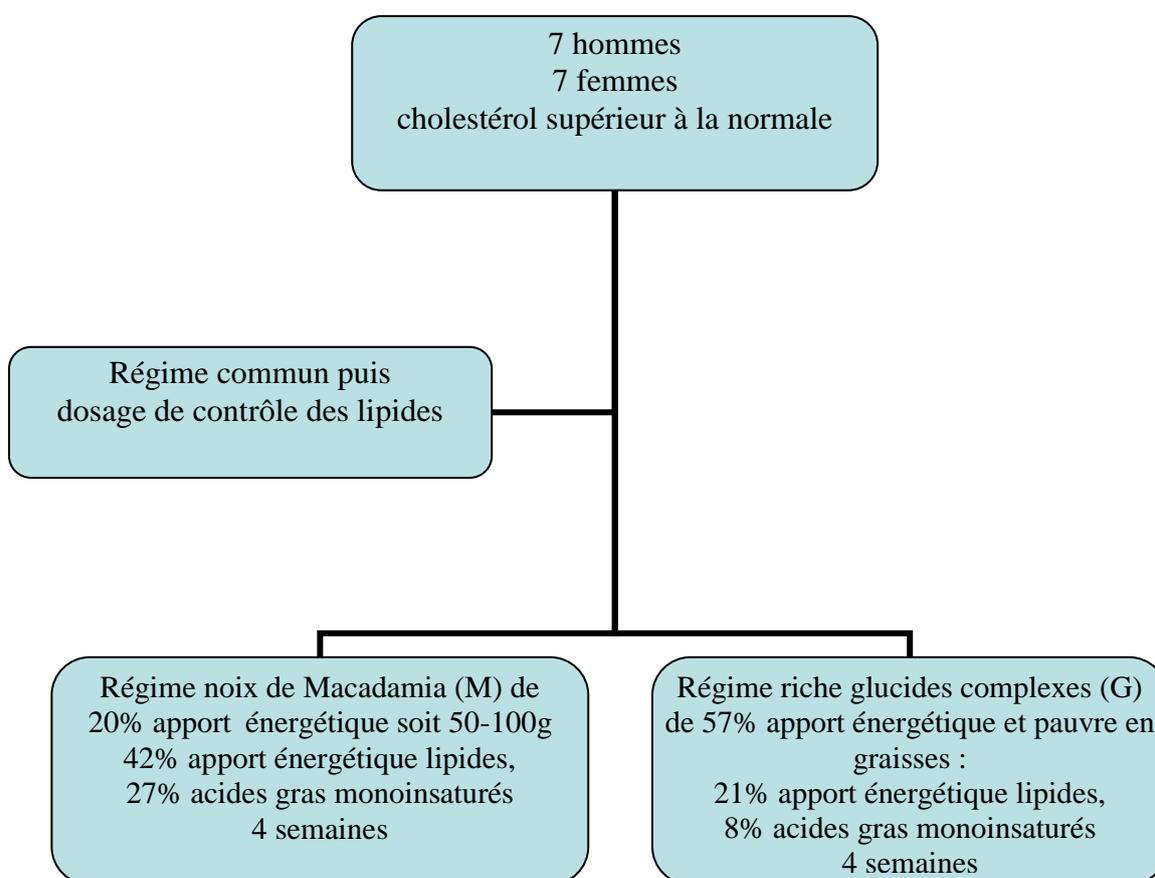


Figure n° 32 : protocole de l'étude de Colqhoun d'après [8].

Résultats :

| lipide | % de variation de M par rapport à G |
|--------|-------------------------------------|
| CT | +0,2 |
| HDL | +9,1 |
| TG | -13,3 |
| LDL | -0,3 |

Tableau XXII: % de variation des taux de lipides de M par rapport à G d'après [8]

Analyse :

Le régime M apporte un avantage significatif par rapport au régime G en ce qui concerne les HDL et les TG. Il a peu d'influence relative sur le LDL.

Ce bénéfice est attribuable à la forte teneur en acides gras monoinsaturés de la noix de Macadamia. [8]

1.1.3. Influence des acides gras de la noix de Macadamia : Etude de Garg

Protocole :

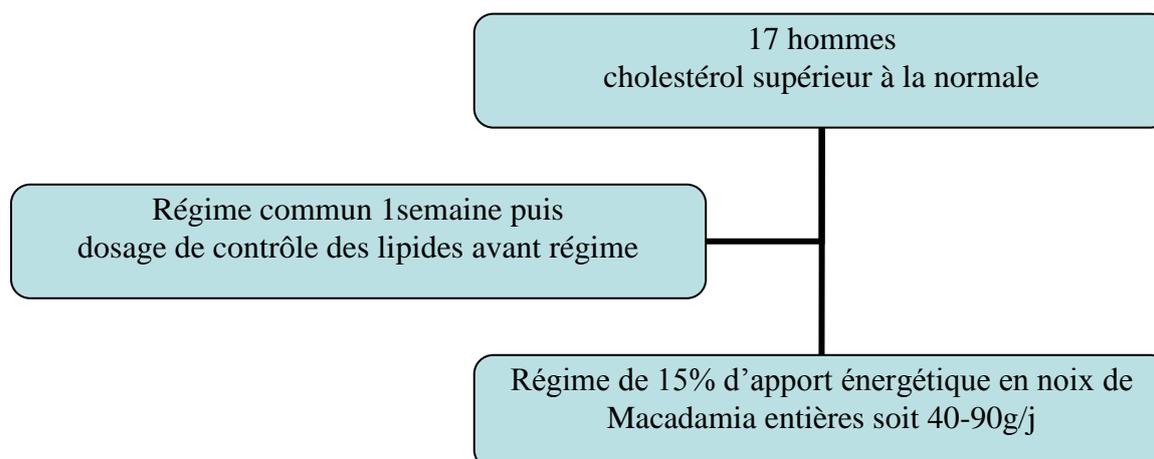


Figure n°33 : protocole de l'étude de Garg d'après [18].

Résultats :

| régime | avant | Noix de Macadamia |
|--------|-------|-------------------|
| CT | 6,51 | 6,30 |
| HDL | 1,20 | 1,28 |
| TG | 1,79 | 1,74 |
| CT/HDL | 5,43 | 4,92 |

Tableau XXIII: effet du régime sur les taux de lipides sanguins (mmol/L) d'après [18].

Analyse :

Le régime à base de noix de Macadamia a permis d'atteindre un ratio CT/HDL dans les limites de la normale. En plus de la réduction du LDL, les TG ont diminué. Ce résultat a été obtenu sans modifier le mode de vie, simplement par supplémentation en noix de Macadamia. [18]

1.1.4. Influence de la source d'acides gras : Etude de Yamamoto

Protocole :

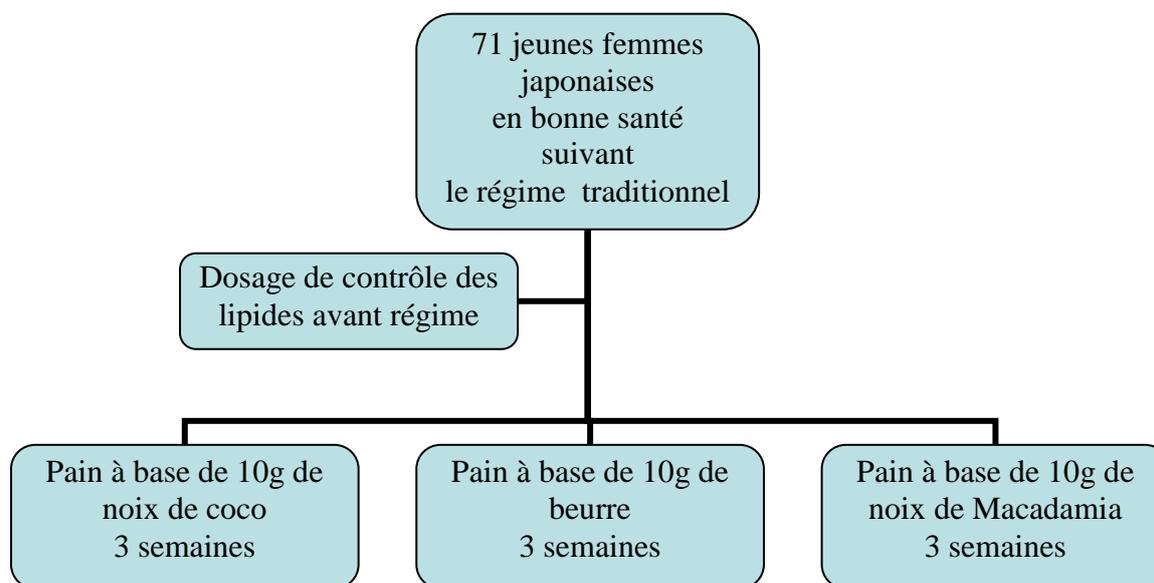


Figure n°34: protocole de l'étude de Yamamoto d'après [76].

Résultats:

| régime | Noix de coco | | beurre | | Noix de Macadamia | |
|--------|--------------|-------|--------|-------|-------------------|-------|
| | avant | après | avant | après | avant | après |
| CT | 4,65 | 4,37 | 4,57 | 4,52 | 4,65 | 4,37 |
| HDL | 1,83 | 1,65 | 1,83 | 1,78 | 1,94 | 1,78 |
| TG | 1,37 | 1,60 | 1,60 | 1,78 | 1,50 | 1,42 |
| CT/HDL | 2,54 | 2,65 | 2,50 | 2,54 | 2,40 | 2,46 |

Tableau XXIV: effet des régimes sur les taux de lipides sanguins d'après [76].

Analyse :

Tous les régimes réduisent le CT et le HDL. Seule la noix de Macadamia permet de diminuer les TG, ce qui était prévisible puisqu'elle est la plus pauvre en acides gras saturés, la noix de coco en étant la plus pourvue.

Le ratio CT/HDL augmente peu et reste normal. Ces femmes auraient donc intérêt à conserver le régime japonais traditionnel. [76]

1.2. Rôle des phytostérols

Les phytostérols des plantes ont une structure analogue au cholestérol des vertébrés. Ils se trouvent dans les noix, graines, légumes et huiles végétales non raffinées. La noix de Macadamia a une teneur en phytostérols située dans la moyenne des noix. [38]

Des recherches sur la supplémentation en phytostérols à des doses proches de celles trouvées dans les plantes ont montré une diminution de l'absorption intestinale du cholestérol, ainsi qu'une réduction des taux de cholestérol sérique et de LDL.

Les noix de Macadamia ont induit une réduction du taux de cholestérol plasmatique attribuable à leur profil lipidique particulier et à leurs constituants bioactifs. [50]

Le squalène est converti en phytostérol chez les végétaux ; il en reste donc peu dans les noix. Certains auteurs suggèrent que le squalène possède des fonctions antioxydantes. In vitro, il inactive l'oxygène singulet et prévient la peroxydation lipidique. [38]

2. Réduction des autres marqueurs du risque cardiovasculaire

Une étude de cohorte de 34000 personnes a montré que l'augmentation de la fréquence de la consommation de noix de tous types réduit le risque relatif cardiovasculaire : risque divisé par 2,5 pour une consommation qui passe d'une fois par mois à une fois par jour et par 2 pour une consommation passant d'une fois par mois à 1,5 fois par jour. [17]

2.1. Influence des acides gras de la noix de Macadamia sur les marqueurs de l'inflammation, du stress oxydant et du risque cardiovasculaire : Etude de Garg

Protocole :

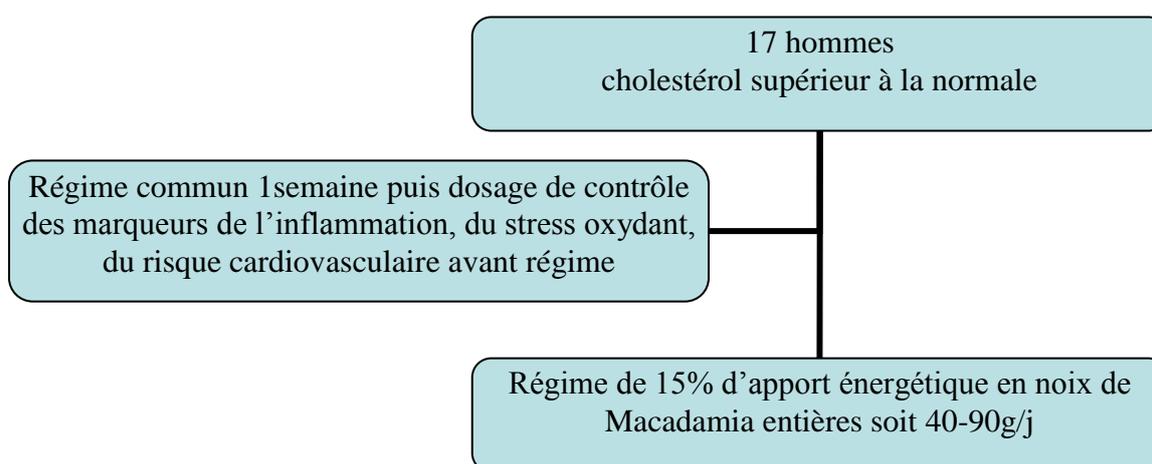


Figure n° 35 : protocole de l'étude de Garg d'après [19].

Des marqueurs sanguins de l'inflammation ont été dosés :

-Le **leucotriène B4**, impliqué dans le chimiotactisme des leucocytes sur le site d'inflammation, augmente la perméabilité vasculaire et recrute d'autres cellules pro-inflammatoires.

-Le **thromboxane B2**, qui favorise l'agrégation plaquettaire, la coagulation sanguine et la vasoconstriction.

-La **prostacycline I2**, inhibant la synthèse du thromboxane B2, a des effets opposés et donc anti-inflammatoires.

Un mécanisme homéostatique entre prostacycline et thromboxane permet la régulation mutuelle de ces 2 hormones en réponse à la lésion d'un vaisseau sanguin. Ainsi, un rapport thromboxane/ prostacycline en élévation montre un basculement préférentiel vers l'inflammation.

Le marqueur du stress oxydant dosé ici est le **8-isoprostane** formé lors de la peroxydation lipidique.

Le marqueur de risque cardiovasculaire mesuré dans le sang est l'**homocystéine**.

Résultats :

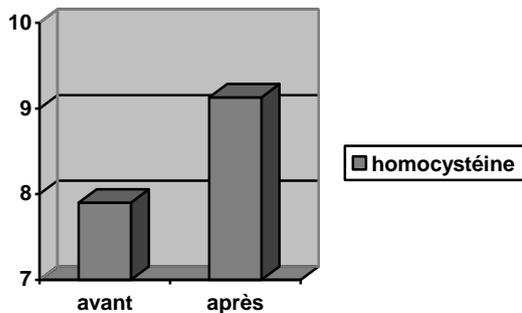


Figure n°36: influence du régime sur le taux d'homocystéine (µmol/L) d'après [19], [18].

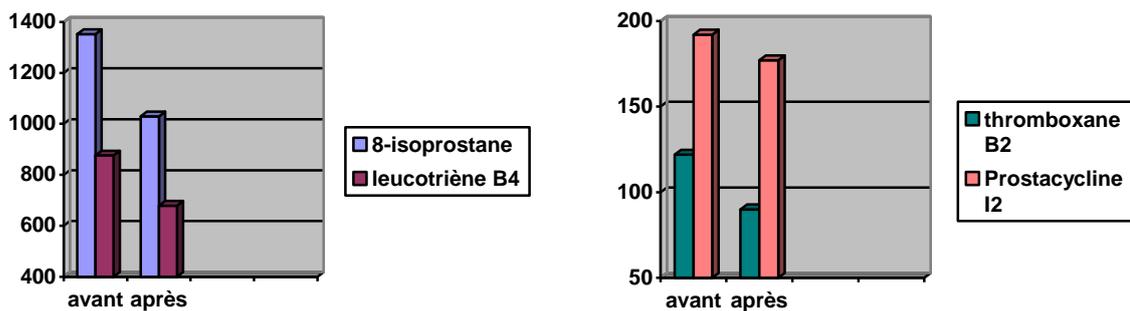


Figure n°37: marqueurs plasmatiques du stress oxydant : 8-isoprostane ; de l'inflammation : leucotriène B4, thromboxane B2, prostacycline I2 (pg/mL) avant et après consommation de noix de Macadamia d'après [19].

Analyse :

Le taux d'homocystéine qui augmente légèrement n'a pas été considéré significatif. Il reste inférieur au seuil de 18 μ mol/L qui marque le basculement vers un risque accru de maladie coronarienne. [18], [19]

Une diminution significative du 8-isoprostane et du leucotriène B4 est observée. Thromboxane B2 et prostacycline I2 ne connaissent pas de réduction significative. Le rapport TXB2/ PGI2 présente une diminution non significative. L'effet des noix de Macadamia est bénéfique sur le stress oxydant et sur l'un des marqueurs inflammatoires.

La réduction des facteurs de risques cardiovasculaires est rapide, malgré l'augmentation de la ration lipidique par des noix de Macadamia. Les constituants responsables de cet effet restent à élucider. La quantité importante d'acide palmitoléique, de l'ordre de 20% des acides gras totaux semble être l'hypothèse la plus vraisemblable. [19]

2.2. Rôle de l'arginine

La noix de Macadamia contient 0,84% d'arginine. L'arginine permet : une bonne fonction endothéliale, un effet d'inhibition plaquettaire, d'adhérence des monocytes, de chimiotactisme et de prolifération du muscle lisse vasculaire.

Des études de supplémentation alimentaire en cet acide aminé ont montré l'inhibition de l'agrégation plaquettaire mais des études supplémentaires sont nécessaires pour prouver cet effet par la consommation de noix. [17]

Conclusion :

Les études cliniques prouvent que la consommation de noix de Macadamia et de son huile contribue à réduire les marqueurs du risque cardiovasculaire comme le cholestérol. Les marqueurs du stress oxydant et de l'inflammation sont également réduits. Les composés bénéfiques sont les acides gras monoinsaturés, les phytostérols et l'arginine.

**UTILISATIONS
DE LA NOIX
ET DE
SON HUILE**

**VALORISATION
DES
SOUS-PRODUITS**

1. Noix

1.1. Utilisations alimentaires

Plus de la moitié de la production mondiale de noix de Macadamia est destinée à la consommation sous forme de noix torréfiées et salées en accompagnement à l'apéritif.



Figure n°38: noix de Macadamia torréfiées salées d'après [89]

Elles entrent dans des préparations culinaires salées, notamment en Australie, où elles sont utilisées en cuisine traditionnelle.



Figure n°39: préparations culinaires australiennes à base de noix de Macadamia d'après [80]

Leur saveur s'accommode aussi du goût sucré. Elles entrent dans la préparation de gâteaux, chocolats, biscuits ou glaces dans lesquelles elles sont caramélisées. Les américains apprécient particulièrement ces sucreries. [57]



Figure n°40: Noix de Macadamia torréfiées salées naturelles, à l'oignon et à l'ail, caramélisées, avec glaçage café, enrobage chocolat d'après [89]



Figure n°41: Noix entières enrobées de chocolat au lait et cookies noix de Macadamia, chocolat blanc d'après [89]

1.2. Allergies à la noix

1.2.1 Allergies à la noix seule

Les ouvriers qui éliminent les noix non abîmées ou qui échappent aux séparateurs mécaniques peuvent développer de l'eczéma sur les mains. L'allergène semble être présent dans la noix.

Les autres membres de la famille des Protéacées connus pour provoquer des dermatites allergiques de contact renferment des alkylresorcinols, composés allergisants.

Afin de prévenir cette réaction, les ouvriers portent des gants en vinyle, mais d'autres parties de la peau peuvent être exposées à la poussière de noix. [31] L'allergie à la noix de Macadamia peut être plus grave et aller jusqu'au choc anaphylactique. Le patient peut présenter une réaction unique à la noix de Macadamia [32] ou croisée avec la noisette [48] ou la noix de cajou [53].

1.2.2. Classification des allergènes des fruits à coque

Les allergènes des fruits à coque sont des protéines classées selon leur structure et qui ont des rôles spécifiques.

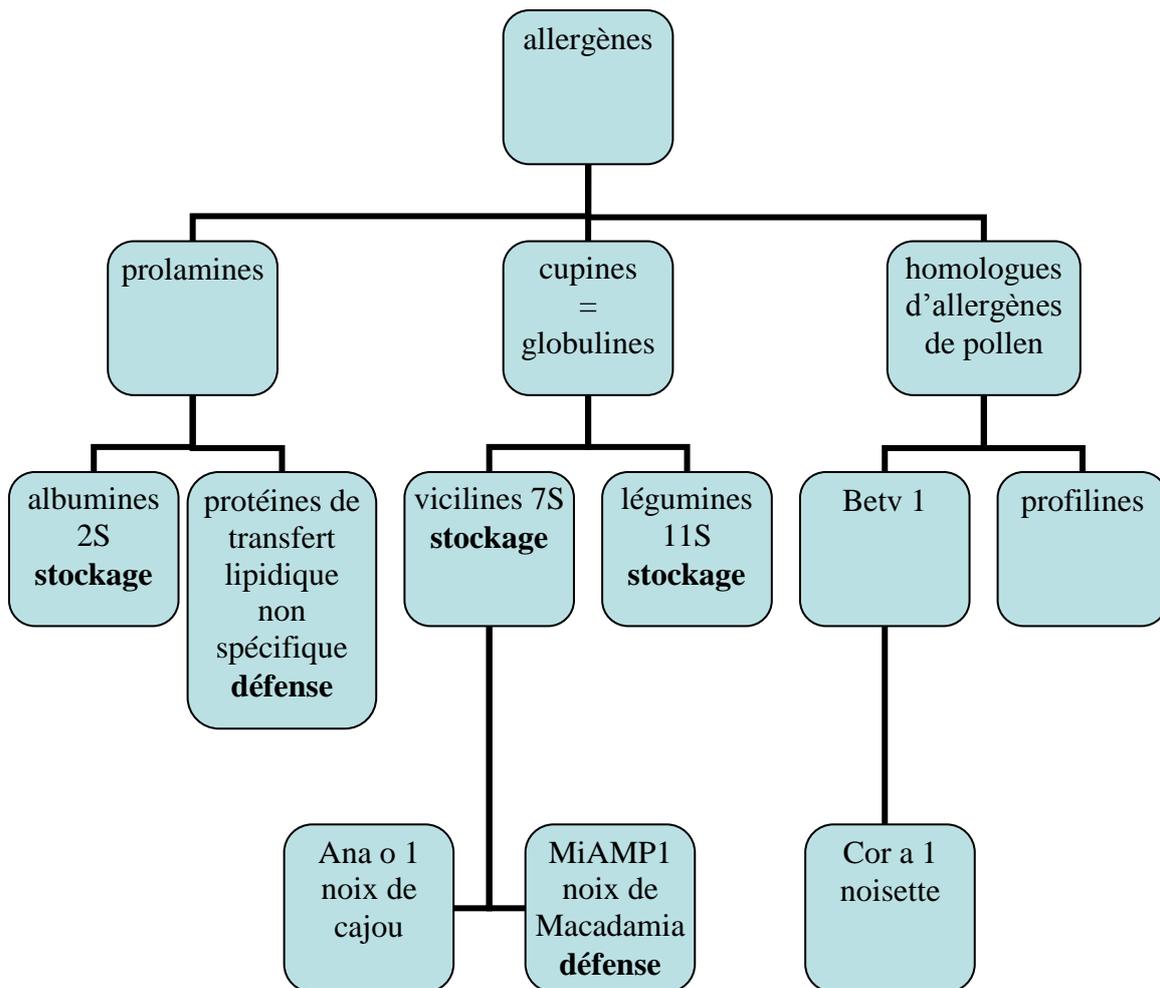


Figure n°42 : classification structurale des allergènes des fruits à coque et leurs rôles (en gras) d'après [25].

Mac i est l'allergène de la noix de Macadamia, trop peu d'informations sont disponibles à son sujet pour le classer.

1.2.3. Allergies croisées avec d'autres noix

Les allergies croisées peuvent s'expliquer par les hypothèses suivantes.

Cor a 1 et Mac i ont même poids moléculaire : 17,4 kDa, ce qui explique peut-être l'allergie croisée retrouvée chez certains patients, pouvant aller jusqu'au choc anaphylactique. [63]

On constate que des fruits à coque éloignés botaniquement ont la particularité de renfermer des protéines très proches biochimiquement, d'où la possibilité de réactions croisées. C'est le cas de la noisette et de la noix de Macadamia.

Dans une protéine, seules certaines régions appelées épitopes donnent lieu à des anticorps de type IgE. L'IgE différencie 2 protéines dont les épitopes sont situés dans des régions différentes. Sinon, l'IgE considérera qu'il s'agit de la même protéine et il pourra y avoir réaction croisée. Ainsi s'explique probablement les réactions croisées entre noix de Macadamia et noisette, et entre noix de Macadamia et noix de cajou. [25]

Les huiles de noisette et de noix de Macadamia augmentent la capacité de liaison de certaines IgE, ces huiles doivent donc être évitées chez les patients allergiques à ces noix. [63]

2. Huile

2.1. Usage alimentaire

Cette huile riche en acides gras monoinsaturés réduit le cholestérol sanguin, elle peut donc être utilisée en complément alimentaire. Ayant un goût de noisette, elle peut également être employée pour l'assaisonnement de salades ou en cuisine. [57]



Figure n°43: huiles vierges biologiques de noix de Macadamia d'après [83], [84]

2.2. Usage cosmétique

2.2.1. Bienfaits pour la peau de l'acide palmitoléique

Parmi les huiles les plus utilisées en cosmétique, on trouve celles de jojoba, de ricin, de vison et de Macadamia. Elles sont toutes riches en acide palmitoléique.

L'huile de jojoba est moins stable et plus chère que l'huile de Macadamia. L'huile de ricin est moins chère donc plus largement employée que l'huile de Macadamia. L'huile de vison est aujourd'hui moins employée qu'auparavant puisqu'elle a l'inconvénient d'être d'origine animale.

L'huile de Macadamia est l'un des émoullients naturels les plus stables, car elle possède un fort pourcentage en acides gras monoinsaturés et faible en polyinsaturés, ce qui la rend relativement plus stable à l'oxydation.

L'huile de Macadamia et l'huile de ricin sont les 2 ingrédients cosmétiques les plus riches en acide palmitoléique (acide cis-hexadec-9-énoïque).

L'acide palmitoléique (acide cis-hexadec-6-énoïque) est le 2^{ème} acide gras le plus abondant en quantité (22%), après l'acide palmitique (26%), des lipides du sébum de la peau. L'isomérisation de position de la double liaison donne 2 molécules de structures chimiques similaires. L'acide cis-hexadec-9-énoïque a un rôle relipidant lorsque les glandes sébacées ne produisent plus suffisamment d'acide cis-hexadec-6-énoïque, ce qui se produit lors du vieillissement.

Des études sur les lipides sébacés ont permis de constater que le sébum détruit les bactéries *Streptococcus sp* mais pas *Staphylococcus* ou *Escherichia coli*.

Les composés antibactériens du sébum les plus actifs semblent être les acides oléique et palmitoléique. L'application d'acide palmitoléique à des souris porteuses d'une quantité anormale d'infections cutanées, a permis de réduire le nombre et la taille de ces infections.

[58]

2.2.2. Les formulations cosmétiques

L'indice de résistance à l'oxydation de l'huile de noix de Macadamia est plus élevé que celui des autres huiles végétales ou animales. En ajoutant des tocophérols naturels, cet indice passe de 20h à 70h.

L'huile de noix de Macadamia peut s'appliquer pure en massage ou en masque sur le visage, le corps et le cuir chevelu. [9]

Cette huile riche en acides gras monoinsaturés est largement appréciée par l'industrie cosmétique. [57] Elle est utilisée pour préparer des émulsions à base d'huile naturelle qui permettent d'incorporer des actifs hydratants.

Elle contient beaucoup d'acide palmitoléique, un constituant naturel de la peau jeune. Une étude d'évaluation in vitro de l'activité de 2 agents cosmétiques anti-âge a utilisé cette huile comme phase grasse de l'émulsion. [2]

2.2.2.1. Produits de soin

L'huile de Macadamia entre dans la composition de crème pour les mains, crème corporelle émolliente, crème contour des yeux.

Des produits capillaires contiennent 1% d'huile de noix de Macadamia, ils sont utilisés pour les cheveux secs et abîmés. Il existe un masque et une crème réparateurs, une crème de coiffage.

Certains rouges à lèvres contiennent de l'huile de Macadamia.



Figure n°44: crème mains à base d'huile de noix de Macadamia d'après [85]



Figure n°45 : crème capillaire à base d'huile de Macadamia d'après [86]

Les huiles grasses sont largement utilisées comme diluant des huiles essentielles. [21] Ainsi trouve t'on dans le commerce des mélanges d'huiles essentielles ayant pour support gras l'huile de noix de Macadamia, à savoir, les mélanges d'huiles essentielles décongestionnantes après-soleil, toniques circulatoires. Il existe une huile de massage contenant 12 huiles végétales grasses dont l'huile de noix de Macadamia, à laquelle on ajoute 2% d'huile essentielle.



Figure n°46: huile de noix de Macadamia cosmétique et Mélange d’huile de noix de Macadamia régénérante et d’huiles essentielles décongestionnantes après-soleil d’après [87]

2.2.2.2. Produits d’hygiène

On trouve une crème nettoyante visage, un gommage visage, un shampoing nutritif.

Un savon surgras aux huiles essentielles est utile aux peaux sèches.



Figure n°47 : shampoing à base d’huile de Macadamia d’après [85]

2.2.2.3. Produits solaires

Elle s’utilise dans les crèmes solaires, puisqu’elle augmente la résistance à l’oxydation des écrans solaires.

Voici un exemple de formulation d’un stick solaire :

| numéro | ingrédient | % massique |
|--------|--|------------|
| 1 | cire d’abeille | 15,00 |
| 2 | myrtilol 318 [®] | 15,00 |
| 3 | huile de noix de Macadamia | 10,00 |
| 4 | alcool cétéarylique | 8,00 |
| 5 | cire de carnauba | 1,50 |
| 6 | pétrole | 50,50 |
| 7 | <i>p</i> -méthoxycinnamate d’octyle | 5,00 |
| 8 | vitamine E | 0,25 |

Tableau XXV: composition de la formule d’un stick solaire d’après [20].

3. Sous-produits de la noix

3.1. Farines déshuilées

La composition chimique et les propriétés fonctionnelles de farines partiellement déshuilées : 12-15% d'acides gras, et totalement déshuilées : 1% d'acides gras, ont été étudiées.

Les inclusions protéiques et les granules d'amidon étant situés dans les noix, l'utilisation de ces farines en alimentation pourrait offrir un produit riche en protéines. Les farines partiellement déshuilées ont l'avantage de contenir des résidus d'acides gras monoinsaturés et d'avoir une plus grande stabilité d'émulsion, utilisable en cuisine.

En revanche, une fois débarassées de leurs acides gras, ces farines voient leurs capacités d'absorption d'eau et d'huile augmenter ainsi que leur aptitude à former une émulsion s'accroître.

Leur utilisation culinaire permettrait d'améliorer la valeur nutritionnelle et la saveur des denrées alimentaires. [26]

3.2. Coque

3.2.1. Précurseur de charbons activés

Les coques de noix représentent un matériau avantageux pour produire du charbon activé, puisque sans cette utilisation, il ne serait que déchet. Il est dur, présente une haute densité, donne peu de cendres et élimine la nécessité d'un agglomérant. Ce pourrait être une alternative intéressante aux précurseurs plus polluants comme le charbon de bois. De plus, il s'agit d'un sous-produit disponible, contrairement au charbon de bois, qu'il faut fabriquer à partir du bois, à réserver à des applications plus utiles et moins polluantes. [66]

Les USA ont produit 24036 tonnes de noix de Macadamia et 14310 tonnes de coques en 1999. [74]

Les charbons activés sont des matériaux poreux à surfaces importantes et à larges pores. Ils sont très utilisés comme adsorbants de gaz et liquides, tamis moléculaires, catalyseurs et supports catalytiques. Leurs domaines d'utilisations majeurs sont l'industrie pharmaceutique et l'épuration des polluants et toxiques de l'eau.

Les charbons activés sont préparés par carbonisation progressive et activation physique ou chimique. L'activation ouvre les pores et permet d'obtenir des groupes fonctionnels de surface de types et en quantités différents selon les conditions et l'atmosphère. L'augmentation de la durée d'activation accroît d'autant plus le volume et la surface des pores. La recherche permet de préciser les paramètres de fabrication des charbons activés adaptés à leur utilisation.

Les isothermes d'adsorption de l'azote à basse température permettent de contrôler si les propriétés attendues ont été effectivement obtenues. [73]

Parmi toutes les coques de noix précurseurs de charbons activés, c'est celle de la noix de Macadamia qui fournit la surface la plus importante, après pyrolyse, activation par CO₂, puis oxydation à l'air. Cette surface vaut 791m²/g et est de 497m²/g pour l'amande. [74]

3.2.2. Coque et peptide antimicrobien [60]

La coque de noix de Macadamia contient un peptide antimicrobien : MiAMP1. Les peptides antimicrobiens sont des composés de défense végétale, animale et humaine. Le transfert de leurs gènes à des plantes vulnérables pourrait les protéger des maladies.

Des peptides antimicrobiens sont développés afin de découvrir de nouveaux antibiotiques à usage médical ou vétérinaire.

MiAMP1 détruit les phytopathogènes, particulièrement les champignons, sans affecter la croissance cellulaire de la plante ou des mammifères.

Le transfert du gène codant pour MiAMP1 dans le colza *Brassica napus* L. augmente la résistance de la plante à une maladie causée par le champignon *Leptosphaeria maculans*.

La levure *Saccharomyces cerevisiae* est détruite par MiAMP1. Cette levure devient naturellement résistante à MiAMP1 par la surexpression de 2 de ses gènes, mais on peut restaurer la sensibilité à MiAMP1 en surexprimant 2 autres gènes. [60]

Conclusion :

Actuellement, les produits exotiques suscitent un engouement dont bénéficie la noix de Macadamia. Elle est de plus en plus consommée en l'état ou incorporée à des préparations culinaires. L'huile voit aussi apparaître son utilisation alimentaire alors qu'elle était jusqu'alors limitée à la cosmétologie. La particularité de cette huile est qu'elle contient des composés phénoliques antioxydants qui pourraient être ajoutés aux huiles végétales qui en sont dépourvues, tout en leur garantissant le statut d'huile biologique. L'huile de Macadamia entre dans la composition de nombreux produits cosmétiques puisqu'elle contient un acide gras dont la peau s'appauvrit en vieillissant. La coque n'est plus considérée comme un déchet puisqu'elle présente de nombreux avantages. Elle est source de charbons activés qui sont très utilisés dans l'industrie. La coque contient aussi un peptide antimicrobien qui pourrait être à l'origine de nouveaux antibiotiques et de plantes naturellement plus résistantes à leurs maladies.

THESE SOUTENUE PAR : PASCAL Delphine

TITRE : La noix de Macadamia et son huile :

***Macadamia integrifolia* Maiden et Betche, (Protéacées)**

CONCLUSION

L'espèce *M. integrifolia* est cultivée pour l'exploitation de ses noix. Elle est l'unique production indigène d'Australie développée à des fins commerciales alimentaires. Elle peut pousser sous d'autres latitudes subtropicales. Alors que l'espèce *M. ternifolia* qui n'est pas cultivée produit des noix toxiques contenant des glucosides cyanogéniques, la nomenclature internationale des cosmétiques a enregistré l'huile de Macadamia comme étant issue de *M. ternifolia*. A l'époque on ne savait pas encore que *M. integrifolia* et *M. ternifolia* sont 2 espèces distinctes. L'huile de Macadamia provient donc uniquement de l'espèce cultivée *M. integrifolia*.

La saveur agréable et le croquant en font une noix particulièrement appréciée de tous. De plus, elle contribue à l'apport nutritionnel en protéines, sucres, fibres, calcium et magnésium. Elle se distingue des autres noix par une teneur élevée en acides gras monoinsaturés plus importante dans l'huile que dans la noix.

La noix de Macadamia renferme 76% d'huile. Contrairement aux autres huiles pourvues en acides gras monoinsaturés, elle est plus riche en acide palmitoléique mais moins en acide oléique. L'huile est fabriquée à partir des coques entières pressées à froid pour obtenir une huile brute. La pression avec la coque présente un avantage puisqu'elle contient des composés phénoliques antioxydants. Ces antioxydants naturels pourraient être ajoutés aux autres huiles qui en sont dépourvues pour empêcher leur rancissement et ainsi revendiquer un statut d'huile végétale biologique.

Cette noix contient donc des acides gras monoinsaturés et des phytostérols dont les effets bénéfiques sur le cholestérol sanguin ont été prouvés par des études cliniques. Sur les marqueurs du stress oxydant et de l'inflammation les composants de l'huile montrent aussi une réduction du risque cardiovasculaire.

Le marché de la noix est en constant développement en particulier pour une consommation en l'état. Il est ainsi probable que, dans les années à venir, de nouveaux cas d'allergies apparaissent, parfois croisées avec celles d'autres fruits à coque.

Son huile est surtout utilisée en cosmétologie pour sa richesse en acide palmitoléique, dont la peau s'appauvrit en vieillissant. Elle offre aussi un bon support aux huiles essentielles, de plus en plus utilisées en thérapeutique. L'industrie cosmétique recherche des matières premières naturelles végétales, qui évitent l'emploi de produits de synthèse et l'huile de Macadamia est présente dans de nombreux produits d'hygiène ,de soin , de produits solaires.....

L'engouement actuel pour les huiles exotiques permet de voir apparaître l'utilisation de l'huile de Macadamia comme huile d'assaisonnement au goût agréable et à l'odeur de noisette, alors que son utilisation cosmétique est plus ancienne.

La production de noix et donc de leurs déchets augmente. L'industrie cherche à valoriser ces sous-produits. Elle utilise de plus en plus de charbons activés et recherche de nouveaux précurseurs, tels les coques de noix, moins dommageables pour l'environnement que le bois. La coque contient également un peptide antimicrobien que les chercheurs étudient afin d'élaborer de nouveaux antibiotiques. Ils tentent de transférer ce pouvoir protecteur à des plantes en tant que substances de défense.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le 13 novembre 2008

LE DOYEN


Professeur Renée GRILLOT

LE PRESIDENT DE LA THESE


Professeur Anne-Marie MARIOTTE



Articles de périodiques

- [1] Aitzetmuller K., Chilean Hazelnut (*Gevuina avellana*) Seed Oil, Journal of American Oil Chemical Society, 2004, **81**: 721-723
- [2] Akhtar N., Yazan Y., Formulation and in-vivo evaluation of a cosmetic multiple emulsion containing vitamin C and wheat protein, Pak. J. Pharm. Sci., 2008, **21**: 45-50
- [3] Aradhya M.K., Yee L.K., Zee F.T., Manshardt R.M., Genetic variability in Macadamia, Genetic Resources and crop Evolution, 1998, **45**: 19-32
- [4] Blanche K.R., Ludwig J.A., Cunningham S.A., Proximity to rainforest enhances pollination and fruit set in orchards, Journal of Applied Ecology, 2006, **43**: 1182-1187
- [5] Blanco-Metzler H., Watt A.D., Cosens D., Within-tree distribution of *Ecdytolopha torticornis* oviposition on Macadamia nuts, Revista de Biologia Tropical, 2001, **49**
- [6] Braga G.C., Couto S.M., Hara T., Neto J.T.P., Mechanical Behaviour of Macadamia Nut Under Compression Loading, J. Agric. Engng Res., 1999, **72**: 239-245
- [7] Chamberlain D.J., Beevor P.S., Cork A., Hall D.R., (E)-8-Dodecenyl acetate: Major Component of the female sex pheromone of a Macadamia nut borer, *Ecdytolopha torticornis*, Entomologia Experimentalis et Applicata, 2003, **107**: 91-93
- [8] Colquhoun D.M., Humphries J.A., Moores D., Somerset S.M., Effects of a macadamia nut enriched diet on serum lipids and lipoproteins compared to a low-fat diet, Food Aust., 1996, **48**: 216-222
- [9] Cummings M., Arquette J., Reinhardt J., Macadamia Nut Oil, Allured's Cosmetics and Toiletries Magazine, 1999, **114**: 75-78
- [10] Curb J.D., Wergowske G., Dobbs J.C., Abbott R.D., Huang B., Serum Lipid Effects of a High-Monounsaturated Fat Diet Based on Macadamia Nuts, Arch. Intern. Med., 2000, **160** : 1154-1158

- [11] Dahler J.M., McConchie C.A., Turnbull C.G.N., Quantification of cyanogenic glycosides in seedlings of three Macadamia (Proteaceae) species, *Australian Journal Botany*, 1995, **43**: 619-628
- [12] Dominguez I.L., Azuara E., Vernon-Carter E.J., Beristain C.I., Thermodynamic analysis of the effect of water activity on the stability of Macadamia nut, *Journal of Food Engineering*, 2007, **81**: 566-571
- [13] Dubois V., Breton S., Linder M., Fanni J., Parmentier M., Fatty acid profiles of 80 vegetable oils with regard to their nutritional potential, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2007, **109**: 710-732
- [14] Elmoultie D., Wilson J., The potential importance of nut removal by rodents from Australian Macadamia orchards, *Journal of Environmental Management*, 2005, **77**: 79-83
- [15] Fourie P.C., Basson D.S., Sugar Content of Almond, Pecan, and Macadamia Nuts, *J. Agric. Food Chem.*, 1990, **38**: 101-104
- [16] Franke A.A., Murphy S.P., Lacey R., Custer L.J., Tocopherol and Tocotrienol Levels of Foods Consumed in Hawaii, *J. Agric. Food Chem.*, 2007, **55**: 769-778
- [17] Fraser G.E., Nut consumption, lipids, and risk of a coronary event, *Asia Pacific J. Clin. Nutr.*, 2000, **9** suppl.: S28-S32
- [18] Garg M.L., Blake R.J., Wills R.B.H., Macadamia Nut Consumption Lowers Plasma Total and LDL Cholesterol Levels in Hypercholesterolemic Men, *The Journal of Nutrition*, 2003, 1060-1063
- [19] Garg M.L., Blake R.J., Wills R.B.H., Clayton E.H., Macadamia Nut Consumption Modulates Favourably Risk Factors for Coronary Artery Disease in Hypercholesterolemic Subjects, *Lipids*, 2007, **42**: 583-587

- [20] Gray D., All Vegetable Oils Aren't Created Equal, Drug and Cosmetic Industry, 1992, 38-92
- [21] Hammer K.A., Carson C.F., Riley T.V., Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts, Journal of Applied Microbiology, 1999, **86**: 985-990
- [22] Hardner C.M., Winks C.W., Stephenson R.A., Gallagher E.G., Genetic parameters for nut and kernel traits in Macadamia, Euphytica, 2001, **117**: 151-161
- [23] Heard T.A., The Role of Stingless bees in crop pollination, Annual Review of Entomology, 1999, **44**:183-206
- [24] Holčápek M., Jandera P., Zderadička P., Hrubá L., Characterization of triacylglycerol and diacylglycerol composition of plant oils using high-performance liquid chromatography- atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry, Journal of Chromatography A, 2003, **1010**: 195-215
- [25] Jacquenet S., Moneret-Vautrin D.A., Les allergènes de l'arachide et des fruits à coque, Revue Française d'allergologie et d'immunité clinique, 2007, **47** :487-491
- [26] Jitngarmkusol S., Hongsuwankul J., Tananuwong K., Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted Macadamia flours, Food Chemistry, 2008, **110**: 23-30
- [27] Jones V.P., Reassessment of the Role of Predators and *Trissolcus basalis* in Biological Control of Southern Green Stink Bug in Hawaii, Biological control, 1995, **5**: 566-572
- [28] Jones W.W., a study of developmental changes in composition of the Macadamia, Plant Physiology, 1939, **14**: 755-768
- [29] Jones W.W., The process of oil formation and accumulation in the Macadamia, Plant Physiology, 1943, **18**: 1-7

- [30] Kaijser A., Dutta P., Savage G., Oxidative stability and lipid composition of macadamia nuts grown in New Zealand, *Food Chemistry*, 2000, **71**: 67-70
- [31] Knight T.E., Hausen B.M., Dermatitis in a nutshell: occupational exposure to *M. integrifolia*, *Journal of the American Academy of Dermatology*, 1996, **35**: 482-484
- [32] Knott E., Güerer C.K., Ellwanger J., Ring J., Darsow U., Macadamia nut allergy, *Journal of European Academy of Dermatology and Veneraology*, 2008
- [33] Ko W.H., Kunimoto R.K., Quick decline of Macadamia trees: association with *Xylaria arbuscula*, *Plant pathology*, 1991, **40**: 643-644
- [34] Kornsteiner M., Wagner K.H., Elmadfa I., Tocopherol and total phenolics in 10 different nut types, *Food Chemistry*, 2006, **98**: 381-387
- [35] Lee J.H., Jones K.C., Lee K.T., Kim M.R., Foglia T.A., High-Performance Liquid Chromatographic Separation of Structured Lipids Produced by Interesterification of Macadamia Oil with Tributyrin and Tricaprylin, *Chromatographia*, 2003, **58**: 653-658
- [36] Liang T., Meng Q., Ji M., Prediction of Macadamia Nut Spoilage for Harvest Decision Making, *J. Agric. Engng Res*, 1996, **63**: 237-242
- [37] Liu R., Wang C.H., Bathgate R.G., Fracture Analysis of Cracked Macadamia Nutshells under Contact Load between Two Rigid Plates, *J. Agric. Engng Res.*, 1999, **74**: 243-250
- [38] Maguire L.S., O'Sullivan S.M., Galvin K., O'Connor T.P., O'Brien N.M., Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2004, **55**: 171-178
- [39] Matthews M.L., Gardner J., Sedgley M., The Proteaceous Pistil: Morphological and Anatomical Aspects of the Pollen Presenter and Style of Eight Species Across Five Genera, *Annals of Botany*, 1999, **83**: 385-399

- [40] Mayer D.G., Stephenson R.A., Jones K.H., Wilson K.J., Bell D.J.D., Wilkie J., Lovatt J.L., Delaney K.E., Annual forecasting of the Australian Macadamia crop- integrating tree census data with statistical climate- adjustment models, *Agricultural Systems*, 2006, **91**: 159-170
- [41] Miller R.E., Jensen R., Woodrow I.E., Frequency of Cyanogenesis in Tropical Rainforests of Far North Queensland, Australia, *Annals of Botany*, 2006, **97**: 1017-1044
- [42] Moncur M.W., Stephenson R.A., Floral development of *Macadamia integrifolia* under Australian conditions, 1895
- [43] Moodley R., Kindness A., Jonnalagadda S.B., Chemical composition of edible Macadamia nuts (*M. integrifolia*) and impact of soil quality, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 2007, **42**: 2097-2104
- [44] Moodley R., Kindness, Jonnalagadda S.B., Elemental composition and chemical characteristics of five edible nuts (almond, Brazil, pecan, macadamia and walnut) consumed in Southern Africa, *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 2007, **42**: 585-591
- [45] Mukudden- Petersen J., Oosthuizen W., Jerling J.C., A Systematic Review of the Effects of Nuts on Blood Lipid Profiles in Humans, *The Journal of Nutrition*, 2005, **135** : 2082-2089
- [46] Mulwa R.M.S., Bhalla P.L., In vitro plant regeneration from immature cotyledon explants of Macadamia, *Plant Cell Rep.*, 2006, **25**: 1281-1286
- [47] Nestel P., Clifton P., Noakes M., Effects of increasing dietary palmitoleic acid compared with palmitic acid and oleic acids on plasma lipids of hypercholesterolemic men, *Journal of Lipid Research*, 1994, **35**: 656-662
- [48] Pallares, David E., Allergy to Macadamia nut, *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 2000, **85**: 385-386

- [49] Peace C.P., Vithanage V., Turnbull C.G.N., Carroll B.J., A genetic map of Macadamia based on randomly amplified DNA fingerprinting markers, *Euphytica*, 2003, **134**: 17-26
- [50] Phillips K.M., Ruggio D.M., Khorassani M.A., Phytosterol Composition of Nuts and Seeds Commonly Consumed in the United States, *J. Agric. Food Chem.*, 2005, **53**: 9436-9445
- [51] Quinn L.A., Tang H.H., Antioxydant Properties of Phenolic Compounds in Macadamia Nuts, *JAOCs*, 1996, **73**: 1585-1588
- [52] Rodrigues C.E.C., Silva F.A., Marsaioli A.Jr., Meirelles J.A., Deacidification of Brazil Nut and Macadamia Nut Oils by Solvent Extraction: Liquid-Liquid Equilibrium Data at 298,2K, *J. Chem. Eng. Data*, 2005, **50**: 517-523
- [53] Roux K.H., Teuber S.S., Sathe S.K., Tree Nut Allergens, *Int. Arch. Allergy Immunol.*, 2003, **131**: 234-244
- [54] Sakai W.S., Nagao M.A., Fruit growth and abscission in *M. integrifolia*, *Physiologia Plantarum*, 1985
- [55] Schmidt A.L., Scott L., Lowe J., Isolation and characterization of microsatellite loci from Macadamia, *Molecular Ecology Notes*, 2006, **6**: 1060-1063
- [56] Shane M.W., Lambers H., Cluster roots: a curiosity in context, *Plant and soil*, 2005, **274**: 101-125
- [57] Silva F.A., Marsaioli A. Jr., Maximo G.J., Silva M.A.A.P., Gonçalves L.A.G., Microwave assisted drying of Macadamia nuts, *Journal of Food Engineering*, 2006, **77**: 550-558
- [58] Smith K.R., Thiboutot D.M., Sebaceous gland lipids: friend or foe?, *Journal of Lipid Research*, 2008, **49**: 271-281

- [59] Steiger D.L., Moore P.H., Zee F., Liu Z., Ming K., Genetic relationships of macadamia cultivars and species revealed by AFLP markers, *Euphytica*, 2003, **132**: 269-277
- [60] Stephens C., Harrison S.J., Kazan K., Smith F.W.N., Goulter K.C., Maclean D.J., Manners J.M., Altered fungal sensitivity to a plant antimicrobial peptide through over-expression of yeast cDNAs, *Curr. Genet.*, 2005, **47**: 194-201
- [61] Stephenson R.A., Callagher E.C., Effects of temperature, tree water status and relative humidity on premature nut drop from *Macadamia*, 1987
- [62] Stephenson R.A., Cull B.W., Mayer D.G., Price G., Stock J., Seasonal patterns of *Macadamia* leaf nutrient levels in south east Queensland, 1985
- [63] Sutherland M., O'Hehir R., Czarny D., Suphioglu C., *Macadamia* Nut Anaphylaxis: Demonstration of Specific IgE Reactivity and Partial Cross Reactivity With Hazelnut, *J. Allergy Clin. Immunol.*, 1999, **104**: 889-890
- [64] Syvertsen J.P., Lloyd J., Kriedemann P.E., Farquhar G.D., On the relationship between leaf anatomy and CO₂ diffusion through the mesophyll of hypostomatous leaves, *Plant Cell and Environment*, 1995, **18**: 149-157
- [65] Timm A.E., Geertsema H., Warnich L., Analysis of population genetic structure of two closely related tortricid species of economic importance on *Macadamia* and *Litchis* in South Africa, *Agricultural and Forest Entomology*, 2006, **8**: 113-119
- [66] Toles C.A., Marshall W.E., Johns M.M., Phosphoric Acid Activation of Nutshells for Metals and Organic Remediation: Process Optimization, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 1998, **72**: 255-263
- [67] Trueman S.J., Turnbull C.G.N., Fruit Set, Abscission and Dry Matter Accumulation on Girdled Branches of *Macadamia*, *Annals of Botany*, 1994, **74**: 667-674

- [68] Venkatachalam M., Sathe S.K., Chemical Composition of Selected Edible Nut Seeds, J. Agric. Food Chem., 2006, **54**: 4705-4714
- [69] Wall M.M., Gentry T.S., Carbohydrate composition and color development during drying and roasting of Macadamia nuts (*Macadamia integrifolia*), Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 2007, **40**: 587-593
- [70] Wallace H.M., Vithanage, Exley E.M., The Effect of Supplementary Pollination on Nut Set of Macadamia (Proteaceae), Annals of Botany, 1996, **78**: 765-773
- [71] Walton D.A., Wallace H.M., Postharvest dropping of Macadamia nut-in-shell causes damage to kernel, Postharvet Biology and Technology, 2008, **49**: 140-146
- [72] Walton D.A., Wallace H.M., Ultrastructure of Macadamia (Proteaceae) Embryos: Implication for their breakage properties, Annals of Botany, 2005, **96**: 981-988
- [73] Wang Z.M., Kanoh H., Kaneko K., Lu G.Q., Do D., Structural and surface property changes of macadamia nut-shell char upon activation and high temperature treatment, Carbon, 2002, **40**: 1231-1239
- [74] Wartelle L.H., Marshall W.E., Nutshells as granular activated carbons: physical, chemical and adsorptive properties, J. Chem. Technol. Biotechnol., 2001, **76** : 451-455
- [75] Wright M.G., Follett P.A., Golden M., Long-term patterns and feeding sites of southern green stink bug in Hawaii Macadamia orchard, and sampling for management decisions, Bull. Entomol. Res., 2007, **6**: 569-575
- [76] Yamamoto J., Ikeda K., Negishi H., Mori M., Hirose A., Sawada S. et al., Serum Lipid Effects of a Monounsaturated (palmitoleic) Fatty Acid-Rich Diet Based on Macadamia Nuts in Healthy, Young Japanese Women, Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 2004, **31** suppl.: S37-S38

Ouvrages

[77] Bruneton J., Pharmacognosie Phytochimie plantes médicinales, 3^{ème} édition, Ed. Tec et Doc, Paris, 1999

[78] Dorosz P., Guide pratique des constantes et repères médicaux, 4^{ème} édition, Ed. Maloine, Paris, 2003

[79] Peace C., Ming R., Manners J., Vithanage V., Genomics of Macadamia, a Recently Domesticated Tree Nut Crop, Genomics of Tropical Crops Plants, 2008, chap. 13: 313-332

Sites internet

[80] Australian Macadamia Society [en ligne]. Disponible sur:

<<http://macadamias.org/index.php?p=6>> (consulté le 25.09.08)

[81] Brisbane Rainforest Plants : Brisbane Rainforest action and information network [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.brisrain.webcentral.com.au/01_cms/details_pop.asp?ID=63> (consulté le 19.10.08)

[82] California Rare Fruit Growers [en ligne]. Disponible sur :

<<http://www.crfg.org/pubs/ff/macadamia.html>> (consulté le 12.10.08)

[83] Huilerie Emile Noël [en ligne]. Disponible sur :

<www.emilenoel.com> (consulté le 25.10.08)

[84] Huilerie Kamlaflor [en ligne]. Disponible sur :

<www.kamlaflor.com> (consulté le 25.10.08)

[85] Laboratoire Cattier [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.laboratoirecattier.com>>

(consulté le 25.10.08)

[86] Laboratoire Phytosolba [en ligne]. Disponible sur :

<http://www.ciao.fr/Phytosolba_Phyto_9_298001> (consulté le 25.10.08)

[87] Laboratoire Phytosun'aroms [en ligne]. Disponible sur :

<<http://www.phytosunaroms.com/produit.php?IDProduit=53>> (consulté le 25.10.08)

[88] Laboratoire Soetenaey : leader européen des huiles végétales à destination des industries cosmétique, pharmaceutique, agroalimentaire et nutraceutique [en ligne].

Disponible sur : <<http://www.soetenaey.com/fr/historique.htm>> (consulté le 17.10.08)

[89] Mauna Loa : marque leader de noix de Macadamia originaires de Hawaii [en ligne].
Disponible sur : <<http://www.hersheygifts.com/SpecialtyShops/MaunaLoa/ViewAll.aspx>>
(consulté le 25.10.08)

[90] National Geographic [en ligne]. Disponible sur :
<http://travel.nationalgeographic.com/places/countries/country_australia.html> (consulté le
30.09.08)

[91] ORKOS SARL [en ligne]. Disponible sur :
<<http://www.fra.orkos.com/Produits/Tarifs.aspx>> (consulté le 14.10.08)

[92] Passeportsante.net [en ligne]. Disponible sur :
<http://www.Passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopediAliments/Fiche.aspx?doc=amande_nu> (consulté le 11.10.08)

[93] Royal Botanic Gardens [en ligne]. Disponible sur :
<<http://epic.Kew.org/Searchepic/Summaryquery.do?searchAll=true&scientificName=Macadamia+youngiana>> (consulté le 13.10.08)

[94] United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service
[en ligne]. Disponible sur:
<<http://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=Rosidae>>
(consulté le 24.09.08)



Serment des Apothicaire



Je jure, en présence des maîtres de la faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; en aucun cas je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.