



HAL
open science

Le maté: du mythe à la réalité

Philippe Gerbaka, Michael Partouche

► **To cite this version:**

Philippe Gerbaka, Michael Partouche. Le maté: du mythe à la réalité. Sciences pharmaceutiques. 2005. dumas-01360256

HAL Id: dumas-01360256

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01360256v1>

Submitted on 5 Sep 2016

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.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SID de Grenoble : **thesebum@ujf-grenoble.fr**

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

<http://www.cfcopies.com/juridique/droit-auteur>

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



1^{er} exemplaire

UNIVERSITE JOSEPH FOURRIER
FACULTE DE PHARMACIE DE GRENOBLE

Année 2005

N° 7048

LE MATE : DU MYTHE A LA REALITE

THESE
PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN
PHARMACIE

DIPLÔME D'ETAT

Par Philippe Gerbaka

Par Michael Partouche

[Données à caractère personnel]

THESE SOUTENUE PUBLIQUEMENT A LA FACULTE DE PHARMACIE DE
GRENOBLE

LE MARDI 13 DECEMBRE 2005 A 14 H

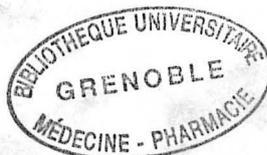
DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

Président du jury : Madame le professeur A.M. Mariotte

Membres :

Monsieur S. Krivobok Maître de conférence de pharmacie

Monsieur P. Zakar Pharmacien d'officine



ERRATA

p. 124 ligne 9 :

Lire : « *Camellia sinensis* (L.) Kuntze »

p. 144 ligne 10 :

Lire : « Une étude réalisée par Fonseca et al. en 2000 (46) a prouvé que les extraits aqueux de Maté sont génotoxiques par induction des systèmes SOS chez *E. coli*, et également mutagènes après activation métabolique chez *Salmonella typhimurium*, suggérant la formation de radicaux libres. »

p. 147 ligne 15 :

Lire : « Devant toutes ces observations, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC ou IARC/OMS) a classé le « Maté brûlant » sur la liste du Groupe 2A « Probablement cancérigènes pour l'homme » (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans : Coffee, tea, mate, methylxanthines and methylglyoxal, Lyon, 1991 (Congres 1990/02/27),. Vol. 51, 513p (ISSN : 1017-1606). »

p. 158 ligne 16 :

Lire : « L'apport de ces hydrocarbures (HAP) par le Maté est faible mais certains sont connus pour être mutagènes et/ou cancérigènes (HAP lourds à 4 ou 5 cycles) et peuvent être apportés par d'autres aliments. »

LE MATE : DU MYTHE A LA REALITE

THESE
PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU TITRE DE DOCTEUR EN
PHARMACIE

DIPLÔME D'ETAT

Par Philippe Gerbaka

Par Michael Partouche

[Données à caractère personnel]

THESE SOUTENUE PUBLIQUEMENT A LA FACULTE DE PHARMACIE DE
GRENOBLE

LE MARDI 13 DECEMBRE 2005 A 14 H

DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

Président du jury : Madame le professeur A.M. Mariotte

Membres :

Monsieur S. Krivobok Maître de conférence de pharmacie

Monsieur P. Zakar Pharmacien d'officine



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

Doyen de la Faculté : M. le Professeur P. DEMENGE
Vice-Doyenne : Mme A. VILLET

PROFESSEURS DE PHARMACIE

BAKRI	Abdelaziz	Pharmacie Galénique
BURMEISTER	Wilhelm	Biophysique
CALOP	Jean	Pharmacie Clinique et Bio-Technique
DANEL	Vincent	Toxicologie
DECOUT	Jean-Luc	Chimie Bio-Inorganique
DEMENGE	Pierre	Physiologie / Pharmacologie
DROUET	Emmanuel	Immunologie / Microbiologie / Biotechnologie
FAVIER	Alain	Biochimie / Biotechnologie
GOULON	Chantal	Biophysique
GRILLOT	Renée	Parasitologie
LECLERC	Gérard	Chimie Organique
MARIOTTE	Anne-Marie	Pharmacognosie
PEYRIN	Eric	Chimie Analytique
RIBUOT	Christophe	Physiologie / Pharmacologie
ROUSSEL	Anne-Marie	Biochimie
SEIGLE-MURANDI	Françoise	Botanique et Cryptogamie
STEIMAN	Régine	Biologie Cellulaire
WOUESSIDJEW	Denis	Pharmacie Galénique

PROFESSEUR ASSOCIE (PAST)

CHAMPON	Bernard	Pharmacie Clinique
----------------	---------	--------------------

MAITRES DE CONFERENCES DE PHARMACIE

ALDEBERT	Delphine	Parasitologie
ALLENET	Benoît	Pharmacie Clinique
BARTOLI	Marie-Hélène	Pharmacie Clinique et Biotechn.
BOUMENDJEL	Ahcène	Pharmacognosie
BRETON	Jean	Parasitologie
CHOISNARD	Luc	Pharmacotechnie et génie de la formulation
DELETRAZ	Martine	Droit Pharmaceutique Economie
DEMEILLERS	Christine	Biochimie
DESIRE	Jérôme	Chimie Bioorganique
DIJOUX-FRANCA	Marie-Geneviève	Pharmacognosie
DURMORT-MEUNIER	Claire	Virologie
ESNAULT	Danielle	Chimie Analytique
FAURE	Patrice	Biochimie
FAURE-JOYEUX	Marie	Physiologie-Pharmacologie
FOUCAUD-GAMEN	Jacqueline	Immunologie
GEZE	Annabelle	Pharmacotechnie Galénique
GERMI	Raphaële	Bactériologie
GILLY	Catherine	Chimie Thérapeutique
GODIN-RIBUOT	Diane	Physiologie – Pharmacologie
GROSSET	Catherine	Chimie Analytique
GUIRAUD	Pascale	Biologie Cellulaire et Génétique
HININGER-FAVIER	Isabelle	Biochimie
KRIVOBOK	Serge	Botanique – Cryptogamie
MORAND	Jean-Marc	Chimie Thérapeutique
NICOLLE	Edwige	Chimie Organique / Chimie Thérapeutique
PINEL	Claudine	Parasitologie
RAVEL	Anne	Chimie Analytique
RAVELET	Corinne	Chimie Analytique
RIONDEL	Jacqueline	Physiologie - Pharmacologie
SEVE	Michel	Ens. Physique / Rech. Biochimie
TARBOURIECH	Nicolas	
VANHAVERBEKE	Cécile	Chimie Bio-Inorganique
VILLEMAIN	Danielle	Mathématiques / Informatique
VILLET	Annick	Chimie Analytique

PROFESSEUR AGREGÉ (PRAG)

ROUTABOUL	Christel	Chimie Générale
------------------	----------	-----------------

Remerciements :

A Madame le Professeur Mariotte,

pour avoir accepté de présider ce jury, pour nous avoir aidés dans notre travail et pour la qualité de ses enseignements.

A Monsieur Krivobok,

pour sa présence dans notre jury, ses compétences, sa gentillesse et sa disponibilité envers les étudiants.

A Monsieur Zakar,

pour avoir accepté de faire partie de notre jury et pour tout le reste...

A nos parents pour leur soutien passé, présent et futur, nos grands-parents.

A mes sœurs,

A Caro,

Et à tous mes amis.

A mon frère,

A Sarah,

A mes amis.

Avec toute notre affection.

Nous remercions également le personnel de la bibliothèque universitaire de médecine-pharmacie, ainsi que celui de la bibliothèque du muséum d'histoire naturelle pour nous avoir aidés dans nos recherches bibliographiques.

Un grand merci à Johnny, Léa, Pedro, Maya, Scarlet, Laure, Elevate, Rodeo Massacre.

Table des matières

INTRODUCTION.....	15
-------------------	----

Première partie: Botanique

I. CLASSIFICATION.....	18
1. Systématique.....	18
2. Ordre des Célastrales.....	18
2.1. Caractéristiques.....	18
2.2. Classification.....	19
3. Famille des Aquifoliacées.....	21
3.1 Caractéristiques.....	21
4. Genre <i>Ilex</i>	22
4.1 Caractéristiques.....	22
II. LE MATE.....	23
1. Définition.....	23
2. Les noms vernaculaires.....	24
3. Répartition géographique.....	25
4. Description macroscopique.....	25
4.1 Les feuilles.....	26
4.2. Les fleurs.....	27
4.3. Le fruit.....	27
5. Description microscopique.....	29
5.1. La racine.....	29
5.2. La tige.....	30
5.3. La feuille.....	31
5.4. Le fruit.....	32
5.5. La graine.....	33
6. Exploitation du Maté.....	33
6.1 Culture.....	33
6.2. Récolte.....	35
7. Préparation de la drogue.....	36
7.1. Le sapecado.....	36
7.2 La torréfaction (le secado).....	40
7.3. La mouture (le canchado).....	43
7.4. Stockage.....	44
7.5 Conditions de consommation.....	45
8. Maté et économie.....	46
9. Utilisation traditionnelle.....	50
9.1. Vase à Maté.....	51
9.2 La Bombilla.....	51
9.3 Préparation de L'infusion.....	52
10. Les espèces falsifiantes.....	53

Deuxième partie: Etude chimique

I. Introduction.....	56
II. Les bases xanthiques	56
1. Introduction.....	56
2. Les différentes bases xanthiques.....	57
3. Extraction, caractérisation, dosage	58
4. Teneur en xanthines dans <i>Ilex paraguariensis</i>	59
4.1. Dans les feuilles	59
4.2. Dans les autres parties.....	60
5. Teneur en xanthines dans les espèces falsifiantes.....	65
6. Conclusion	66
III. Les polyphénols	67
1. Introduction.....	67
2. Structure	67
3. Les acides phénols	68
3.1. Extraction, caractérisation, dosage	68
3.2. Acides phénols présents dans <i>I. paraguariensis</i>	68
3.3. Acides phénols des adultérants	70
4. Les flavonoïdes	71
4.1. Extraction, caractérisation, dosage	71
4.2. Les flavonoïdes du Maté.....	71
4.3. Les flavonoïdes des adultérants	73
5. Conclusion	74
IV. Les saponines.....	74
1. Introduction.....	74
2. Structure	74
3. Extraction, caractérisation, dosage.	76
4. Saponines du maté	77
4.1. Dans les feuilles	77
a. Matésaponine 1	79
b. Matésaponine 2,3,4	80
c. Matésaponine 5	81
d. Matésaponines mineures	82
4.2. Dans les fruits	83
5. Les saponines des adultérants	86
6. Evaluation gustative des saponines.....	87
7. Conclusion	90
V. Autres composants	90
1. Les composés volatils	90
2. Les éléments minéraux	96
3. Les glucides	100
4. Les acides aminés	101
5. Les vitamines	101
6. Les autres bases.....	101
6.1. La choline.....	101
6.2. La trigonelline.....	102
VI. Conclusion	103

Troisième partie: Etude pharmacologique

I. Introduction.....	106
II. Action stimulante.....	106
1. La caféine.....	106
2. La théophylline.....	107
III. Action amaigrissante.....	108
1. Les méthylxanthines.....	108
1.1. La lipolyse.....	108
1.2. Le mécanisme lipolytique.....	108
1.3. L'effet thermogénique.....	111
1.4. Le mécanisme de la thermogénèse.....	114
2. La vidange gastrique.....	114
IV. Action anti-oxydante.....	115
1. Les acides phénoliques.....	118
2. Les flavonoïdes.....	122
3. Le mécanisme anti-radicalaire.....	126
V. Action cholérétique et stimulante au niveau intestinal.....	127
1. Les acides phénoliques.....	127
VI. Action hypocholestérolémiant.....	129
1. Les saponines.....	129
VII. Autres actions.....	131
1. Action antidiabétique.....	131
2. Action antimicrobienne.....	133
3. Action sur l'appareil cardiovasculaire et la fonction rénale.....	135
4. Action anti-protéasome.....	139
VIII. Conclusion.....	141

Quatrième partie: Etude toxicologique

I. Introduction.....	143
II. Effet cancérigène du Maté.....	143
1. Introduction.....	143
2. Cancer de la cavité orale et de l'oropharynx.....	144
2.1. Introduction.....	144
2.2. Etudes in vitro.....	144
2.3. Etudes chez l'homme.....	145
2.4. Conclusion.....	147
3. Cancer de l'oesophage.....	148
3.1. Introduction.....	148
3.2. Etudes chez l'homme.....	149
3.3. Conclusion.....	155
4. Autres cancers.....	155
4.1. Introduction.....	155

4.2. Cancer de la vessie.....	155
4.3. Cancer du poumon.....	156
4.4. Cancer du rein.....	157
4.5. Conclusion.....	157
5. Conclusion.....	158
III. Action sur la formule sanguine.....	160
III. Maté et grossesse.....	161
IV. La toxicité inhérente à la culture.....	162
1. L'utilisation de pesticides.....	162
2. La radioactivité.....	164
V. Conclusion.....	170

Cinquième partie: Utilisations

I. Introduction.....	173
II. Utilisation en officine.....	173
1. Tisane simple.....	173
2. Tisane composée.....	174
3. Les gélules.....	175
4. Les formes orales composées.....	176
5. Les produits à usage local.....	186
III. Utilisation des composants du Maté.....	190
1. Le Maté : matière première pour l'extraction de la caféine.....	190
2. Les composés volatils.....	192
IV. Conclusion.....	193
CONCLUSION.....	195
Bibliographie.....	198
Serment des apothicaires.....	210

Liste des tableaux

Tableau I : Production mondiale de Yerba Maté en 1999 (132).	47
Tableau II : Teneur en xanthines dans différentes parties d' <i>I. Paraguariensis</i> en mg.kg-1 de matière première (75).....	62
Tableau III : Concentrations de caféine et théobromine dans la cire épicuticulaire d' <i>I.paraguariensis</i> exprimées en µg par mg (7).	64
Tableau IV : Concentrations en acides phénols et en flavonoïdes dans <i>I. paraguariensis</i> et ses adultérants (44).	70
Tableau V : Composants volatils du Maté vert et du Maté torréfié (67).....	92
Tableau VI : Concentrations des éléments minéraux du Maté dans les feuilles séchées et en infusion (105).	96
Tableau VII : Concentrations des éléments minéraux dans une infusion d' <i>I.paraguariensis</i> en mg.l ⁻¹ . (61).....	97
Tableau VIII : Concentrations des éléments minéraux dans les feuilles sèches d' <i>I.paraguariensis</i> en g.kg ⁻¹ . (61).....	98
Tableau IX : Principaux constituants de <i>Ilex paraguariensis</i>	104
Tableau X : Activité anti-oxydante et teneur en dérivés caféoyl dans des extraits d' <i>Ilex</i> (44) (45).	119
Tableau XI : Comparaison des teneurs en polyphénols entre <i>I. paraguariensis</i> et le Yerba Maté en g/100 g. de plante sèche (2).....	120
Tableau XII : Comparaison des EC ₅₀ (µg/ml) des acides chlorogénique et caféique (2).....	121
Tableau XIII : Relation entre la consommation de Maté et le risque de cancers de l'œsophage (19).....	150
Tableau XIV : Effets cumulatifs de la température et de la quantité de consommation sur le risque de cancers de l'œsophage (19).....	151
Tableau XV : formes orales composées contenant du Maté (24).....	177
Tableau XVI: Produits à usage local (24).....	187

Liste des figures

Figure 1 : Le Maté (111).	23
Figure 2 : Rameau d' <i>Ilex paraguariensis</i> (103).....	26
Figure 3 : Fleur femelle d' <i>Ilex paraguariensis</i> (103).	27
Figure 4 : Fruit d' <i>Ilex paraguariensis</i> (3b) avec paroi ôtée montrant 4 noyaux contenant chacun une graine unique (H) (62).....	28
Figure 5 : <i>Ilex paraguariensis</i> St-Hil. (113).	28
Figure 6 : Epiderme strié de la feuille d' <i>Ilex paraguariensis</i> (111).	31
Figure 7 : Sapecado manuel (127).	37
Figure 8 : un Yerbatero (127).....	38
Figure 9 : Premières sapecadoras (127).....	39
Figure 10 : Sapecadora mécanique (127).....	39
Figure 11 : Le cariyo (128).	42
Figure 12 : Un barbacua (128).	42
Figure 13 : Participation à la production mondiale de Yerba Maté (26).....	46
Figure 14 : Production Argentine de Yerba Maté « canchada » entre 1992 et 2000 (26).	47
Figure 15 : Exportation Argentine de Yerba Maté en 2000 (26).....	48
Figure 16 : Vases à Maté (129).	51
Figure 17 : La bombilla (127).	52
Figure 18 : La caféine (94).....	57
Figure 19 : La Théophylline (94).....	57
Figure 20 : La théobromine (94).	58
Figure 21 : L'acide quinique $R^1=R^2=H$ (111).....	69
Figure 22 : L'acide caféique (77).....	69
Figure 23 : L'acide chlorogénique (23).	70
Figure 24 : La quercétine et le kaempférol (14).....	72
Figure 25 : La rutine (16).	73

Figure 26 : L'acide ursolique (23).	78
Figure 27 : L'acide oléanolique, R ¹ et R ² =H (48).....	78
Figure 28 : Matésaponine 1 (74).	79
Figure 29 : Matésaponines 2,3 et 4 (Composés 1, 2 et 3) (53).	80
Figure 30 : Matésaponine 5 (68).	81
Figure 31 : Guaiacine B (74).....	82
Figure 32 : Nudicaucine C (74).....	83
Figure 33 : Saponines des fruits du maté (n°4,5 et 6) (104).	85
Figure 34 : Structures des 10 principaux composés volatils du Maté (69).....	94
Figure 35 : biosynthèse et dégradation de l'AMPc (81).	110
Figure 36 : Variations des paramètres métaboliques et cardiovasculaires en présence d'extraits d' <i>I. paraguariensis</i> (-) en fonction du temps par rapport au placebo (---) (73).	113
Figure 37 : inhibition de la peroxydation lipidique par <i>I. paraguariensis</i> sur des microsomes de foie de rat oxydés par Fe ²⁺ /ascorbate (○) ou CCl ₄ /NADPH (▼) et sur des érythrocytes de rat oxydés avec H ₂ O ₂ (●) (99).....	116
Figure 38 : Activité peroxydase-like de l'acide chlorogénique (●), de l'acide caféique (◆) et de la caféine (Δ) (2).	121
Figure 39 : Mécanisme de l'athérosclérose (57).....	123
Figure 40 : Corrélation entre la teneur en polyphénols (en g/l) et l'activité scavenger vis-à-vis du radical DPPH (9).	125
Figure 41 : Effet d'une administration intraveineuse de décoctions d' <i>I. paraguariensis</i> et d' <i>I. brevicuspis</i> (250 mg/kg) sur le débit biliaire du rat (52).	128
Figure 42 : Relaxation induite sur des artères mésentériques de rat par des extraits aqueux d' <i>I. paraguariensis</i> (79).....	137
Figure 43 : Quantité de Po ²¹⁰ (en %) transférée à la phase aqueuse en fonction de la quantité de Maté utilisée (en grammes) (3).....	168

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le Maté correspond aux feuilles séchées, pulvérisées et plus ou moins torrifiées d'un arbuste appelé *Ilex paraguariensis* et qui servent à préparer une boisson qui est à la civilisation sud-Américaine ce que le thé est à l'Asie.

En effet son utilisation traditionnelle semble remonter à des temps ancestraux puisque avant leur colonisation par les Espagnols, les indiens Guaranis connaissaient déjà le « Yerba Maté » et lui attribuaient d'ailleurs des vertus toniques et excitantes de caractère magique et d'origine quasi-divine.

De nombreuses légendes sont rattachées au Maté, il était considéré comme une herbe des dieux et servait de bagage funéraire au temps des Incas ce qui reflète déjà à cette époque son importance particulière. En se basant sur des fragments de feuilles retrouvées dans des tombes d'indiens « Quichuas » à Ancon près de Lima et datant de l'époque précolombienne, les scientifiques Français Martillet et Rochebrune ont pu les identifier comme étant des feuilles d'*Ilex paraguariensis* dont la description complète fut faite en 1822 par un botaniste Français, Auguste de Saint-Hilaire.

De leur côté, les Européens n'en entendirent parler qu'au XVI^{ème} siècle par les récits de voyages d'un explorateur Espagnol qui rapportait que les indiens Guaranis du Paraguay préparaient une infusion de feuilles favorisant la bonne humeur et chassant la fatigue.

La boisson fit fureur en Espagne, ce qui incita les Jésuites en mission au Paraguay, dans le courant du XVII^{ème} siècle, à implanter la culture des arbres

(Yerbales) qui produisaient les feuilles convoitées, d'où son nom de thé des Jésuites. Ils en améliorèrent la culture et conservèrent son monopole jusqu'en 1767-1770, période où ils furent expulsés. Bien que ces Yerbales fussent détruites par les nombreuses guerres civiles qui dévastèrent le pays, l'utilisation du Maté est restée ancrée dans les traditions et sa consommation journalière par les sud-Américains est devenue un acte commun à toutes les classes sociales.

De nos jours, le Maté est donc très consommé en Argentine, au Paraguay, en Uruguay, dans le sud du Brésil et à un moindre degré en Allemagne, en Syrie, au Liban et dans le nord de l'Israël.

En Europe, le Maté reste peu connu dans son utilisation traditionnelle mais sa commercialisation récente dans les officines tend à le faire connaître d'avantage.

L'objectif de ce travail est donc de synthétiser les connaissances acquises sur *Ilex paraguariensis*.

Ainsi la première partie est consacrée à l'étude botanique du Maté, à son exploitation et à son utilisation traditionnelle.

La composition chimique est détaillée dans la deuxième partie, plus particulièrement axée sur l'étude des saponines récemment découvertes.

Les propriétés pharmacologiques qui en découlent font l'objet d'une troisième partie.

Une quatrième partie concernera l'étude toxicologique et le dernier chapitre traitera les différentes utilisations pharmaceutiques de cette plante.

Première partie :

Botanique

I. CLASSIFICATION

1. Systématique

- Embranchement des Spermaphytes.
- Sous-embranchement des Angiospermes.
- Classe des Dicotylédones.
- Sous-classe des Dialypétales.
- Série des Rosidae (anciennement appelées Disciflores).
- Sous série des Isostémones.
- Ordre des Célastrales.
- Sous-ordre des Eucélastrales.
- Famille des Aquifoliacées.
- Genre *Ilex*.

(35), (114).

2. Ordre des Célastrales

2.1. Caractéristiques

De façon générale, les Célastrales sont des plantes ligneuses à feuilles simples.

Les fleurs sont presque toujours petites, verdâtres ou blanchâtres ; elles sont actinomorphes, tétramères ou pentamères, avec 2 à 5 carpelles. Dans l'androcée, l'isostémonie est la règle, il n'y a qu'un seul verticille d'étamines.

L'ovaire est habituellement pluriloculaire. Sur le réceptacle floral, un disque nectarifère (caractéristique principale de la série des Rosidae) se développe, tantôt à l'intérieur de l'androcée, tantôt à l'extérieur ou bien entre les étamines.

Le disque peut même manquer.

Les ovules sont apotropes, dressés ou pendants. Certaines particularités comme les fleurs tétracycliques et les ovules unitégumentés annoncent déjà les Gamopétales (35) (60).

2.2. Classification

Il existe deux groupes dans l'ordre des Célastrales définis en fonction de la position des étamines par rapport aux pétales.

Le premier groupe est appelé sous-ordre des Eucélastrales : le disque est presque toujours visible, les étamines sont en nombre égal à celui des pétales avec lesquels elles alternent régulièrement (étamines alternipétales). Ce sous-ordre regroupe deux familles : les Célastracées et les Aquifoliacées.

Le second groupe est appelé sous-ordre des Rhamnales : le disque est toujours nettement différencié. Les étamines sont en nombre égal à celui des pétales et leur sont superposées (étamines épipétales). On admet généralement que c'est le verticille externe de l'androcée diplostémone qui a disparu tandis que dans le groupe précédent, c'est le verticille interne. Ce sous-ordre regroupe également deux familles : les Rhamnacées et les Ampélidacées (Vitaceae) (60).

Sous-ordre des Eucélastrales :

♠ Célastracées : feuilles alternes ou opposées simples, stipulées ou non, fleurs à 4 ou 5 sépales libres ou légèrement soudés. Les pétales sont au nombre de 4 ou 5, libres, imbriqués ou parfois valvaires. L'ovaire est supère à semi-infère et les ovules sont au nombre de 2 voire plus. Le disque nectarifère intrastaminal est épais, bien distinct. Le fruit est une capsule loculicide à graines arillées (66).

♠ Aquifoliacées : feuilles alternes, simples, fleurs avec 4 à 6 sépales légèrement soudés, 4 à 6 pétales légèrement soudés et imbriqués, dépourvues de disque nectarifère. Ovaire supère pluriloculaire. Chacune des 4 loges renferme 1 ovule anatrope pendant unitégumenté. Le fruit est une drupe avec plusieurs noyaux (4 à 6) (66).

Sous-ordre des Rhamnales :

♠ Rhamnacées : feuilles simples, alternes ou opposées stipulées, penninerves. Les fleurs pentamères ou tétramères, tétracycliques ou pentacycliques sont actinomorphes hermaphrodites ou, par avortement, unisexuées. Ovaire supère ou infère avec 1 ovule dans chaque loge. Présence d'un tissu nectarifère. Le fruit est une drupe à 1 ou plusieurs noyaux (66).

♠ Ampélidacées ou Vitaceae : arbustes grimpants à l'aide de vrilles raméales. Fleurs tétramères ou pentamères, tétracycliques ou pentacycliques avec petits sépales et des pétales libres ou faussement soudés

entre eux par leur sommet. Ovaire supère, 2 ovules par loge, disque nectarifère présent. Le fruit est une baie, les 4 graines ont un albumen corné. (66).

3. Famille des Aquifoliacées

3.1 Caractéristiques

Ce sont des arbres ou arbustes, dioïques, à écorce plus ou moins lisse qui ont une très vaste répartition avec cependant une prédominance dans les pays tropicaux et subtropicaux, caractéristiques des sols acides.

Les feuilles sont coriaces, alternes, simples, à marge plus ou moins profondément dentée, à nervation pennée et pourvues de petites stipules caduques.

Les inflorescences sont axillaires mais parfois réduites à une fleur solitaire. Les fleurs sont actinomorphes unisexuées. Il y a 4 à 6 sépales légèrement soudés, 4 à 6 pétales légèrement soudés et imbriqués. Les staminodes sont bien développés dans les fleurs pistillées. Les fleurs mâles ont des étamines (4 à 6) alternipétales soudées à la base de la corolle chez *Ilex*. On a 4 à 6 carpelles soudés.

L'ovaire est supère, pluriloculaire à placentation axile. Le stigmate est sessile, plurilobulé, avec un ovule par loge. Les ovules, anatropes, pendants, unitégumentés sont munis d'une sorte d'obturateur. Le disque nectarifère est absent.

Le fruit est une drupe vivement colorée (rouge ou rouge foncée) à plusieurs noyaux renfermant chacun une graine à albumen abondant. (66) (103).

4. Genre *Ilex*

4.1 Caractéristiques

Les *Ilex* sont pour la plupart des plantes ligneuses, arbres ou arbustes aux feuilles généralement coriaces et persistantes, alternes, parfois bordées de longues épines.

Les inflorescences sont en cymes ou panicules. Les fleurs sont blanches ou légèrement jaunâtres, le calice est très petit et possède 4 à 9 sépales fendus jusqu'au milieu, souvent triangulaires, arrondis ou allongés. Les pétales ovales, elliptiques ou presque ronds et légèrement ciliés, sont le plus souvent au nombre de 4, parfois 5 ou 6 et sont soudés à la base ; jamais on ne rencontre, dans ce genre, de pétales complètement libres.

Les étamines sont toujours glabres, en nombre égal à celui des pétales avec lesquels elles alternent.

L'ovaire est glabre et repose sur un réceptacle sans disque ; il possède 4 loges uniovulées. Les ovules unitégumentés sont pendants, anatropes et ont un tégument épais.

Le fruit est une drupe rouge de petite taille (1cm de diamètre environ) avec 4 loges. La graine contient un embryon très petit, logé au sommet d'un albumen charnu richement développé.

Le genre *Ilex* comprend plus de 350 espèces réparties dans le monde entier ; ils

croissent surtout en Amérique septentrionale, en Amérique subtropicale, dans la partie chaude de l'Asie, au Japon et aux îles Canaries. En France et dans le centre de l'Europe, le genre n'est représenté que par le houx commun (*Ilex aquifolium*) (66) (113).

II. LE MATE

1. Définition

On définit le Maté comme le produit et la boisson formés à partir des feuilles d'*Ilex paraguariensis* A. Saint-Hilaire séchées et légèrement torrifiées, brisées ou grossièrement pulvérisées, parfois avec des éclats de branches jeunes et sèches, des pétioles et pédoncules de fleurs (123).



Figure 1 : Le Maté (111).

Le Maté du Paraguay et de la République d'Argentine provient de l'*Ilex paraguariensis* A. Saint-Hilaire tandis que le Maté du Brésil est fourni par diverses autres espèces appelées espèces falsifiantes. Cependant, la plante à Maté par excellence est l'*Ilex paraguariensis* A. Saint-Hilaire car cet *Ilex* dont on connaît toutes les propriétés donne seul le vrai Maté et seule son infusion possède toutes les qualités qui l'ont fait adopter comme boisson par les populations d'Amérique du Sud.

2. Les noms vernaculaires

Le nom « Maté » vient de l'espagnol et signifie « gourde », une allusion à la petitealebasse dans laquelle on prépare la boisson en Amérique du sud. Ce nom fut donné à la boisson faite avec les feuilles d'*Ilex paraguariensis* A. Saint-Hilaire parce que les indiens Guaraní buvaient le Maté dans une courge séchée (le mot Quechua « mati » nomme la courge). Puis, par extension, ce même nom fut donné à l'arbre qui donne la feuille.

Le nom scientifique est toujours en latin : *Ilex paraguariensis* (Saint-Hilaire), *Ilex paraguensis* (Lambert), *Ilex curitibensis*... Les noms vernaculaires, eux, varient avec la langue du pays (126) (130).

- Espagnol : Yerba Maté
- Portuguais : Chamarrao
- Guaraní : Caá

- Anglais : Paraguay tea, Jesuit's Brazil tea
- Allemand : Matebaum, Paraguay tee
- Français : Maté, thé du Paraguay, thé des Jésuites, Herbe de saint-Barthélemy.

3. Répartition géographique

L'Ilex paraguariensis croit spontanément en Amérique du sud, au bord des ruisseaux, dans les forêts montagneuses, à une altitude de 500 à 1000 mètres, dans les régions comprises entre le 18ème et le 30ème degré de latitude Sud, le 59ème degré de longitude du méridien de Paris à l'ouest, et à l'est, jusqu'à l'Atlantique.

Sans doute originaire du Paraguay, il est actuellement cultivé dans la partie septentrionale de l'Argentine, au Brésil (Rio grande do Sul, Parana, Sao Paulo, Minas Geraes) et au Paraguay (117).

4. Description macroscopique

L'Ilex paraguariensis est un petit arbre ou arbuste dioïque de 4 à 8 mètres de hauteur, à tronc érigé, dont le port rappelle celui de l'oranger (évasé et cime arrondie). Son écorce est lisse et blanchâtre (111).

L'arbre peut atteindre parfois 20 mètres de haut, avec un tronc de 50 à 70 centimètres de diamètre lorsqu'il croit dans son milieu d'origine à l'état sauvage. Une telle hauteur n'est jamais atteinte en culture (117) (119) (126).

4.1 Les feuilles

Le feuillage est persistant, épais, coriace, de couleur vert sombre. Les feuilles glabres, brillantes et au revers plus clair, sont grandes (5 à 15 cm de long et 2 à 5 cm le large), simples et alternes. Elles sont polymorphes, le limbe est ovale, elliptique avec un bord dentelé et crénelé avec des minuscules stipules ; le pétiole est court et légèrement rougeâtre. La nervure est saillante sur la face inférieure de la feuille, elle est pennée, avec une côte médiane proéminente et des nervures secondaires incurvées (figure 2 et figure 5). Quelques lenticelles de couleur foncée apparaissent sur la face inférieure (111).

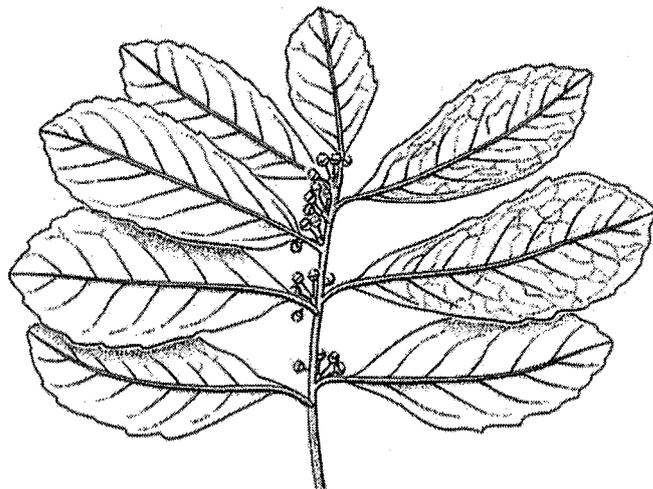


Figure 2 : Rameau d'*Ilex paraguariensis* (103).

4.2. Les fleurs

La floraison a lieu d'octobre à décembre à l'état sauvage. Les fleurs sont blanches, dioïques, axillaires et de petite taille. Elles sont regroupées en cymes serrées à l'extrémité des rameaux (111). La corolle est formée de 4 pétales arrondis et 4 étamines, le calice est également tétramérique (figure 3 et figure 5) (117) (125).

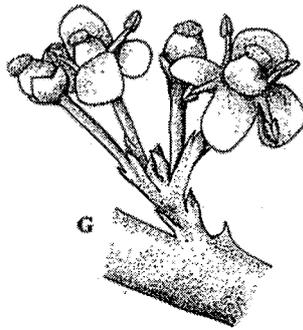


Figure 3 : Fleur femelle d'*Ilex paraguariensis* (103).

4.3. Le fruit

Le fruit qui mûrit entre les mois de janvier et mars est une drupe rouge violacé ou noir violacé. Sa forme est sphérique ou ellipsoïdale et il mesure environ 7 millimètres de diamètre (111) (125). La drupe est quadriloculaire, surmontée par les restes persistants du stigmate et elle renferme 4 graines de couleur jaune pâle, légèrement rugueuses, avec un tégument très dur qui rend la germination difficile. La pulpe du fruit est glutineuse (figure 4 et figure 5) (103).



Figure 4 : Fruit d'*Ilex paraguariensis* (3b) avec paroi ôtée montrant 4 noyaux contenant chacun une graine unique (H) (62).



Figure 5 : *Ilex paraguariensis* St-Hil. (113).

5. Description microscopique

5.1. *La racine*

La racine primaire présente une assise pilifère rapidement exfoliée. Le parenchyme cortical est homogène, sans méats, terminé par un endoderme à cellules dont les parois sont régulièrement épaissies. Le cylindre central occupe environ le tiers du diamètre total. Il est limité extérieurement par un péricycle parfois dédoublé.

Le système conducteur est formé de cinq faisceaux libériens. Les vaisseaux se distinguent à peine du parenchyme ligneux et la disposition d'ensemble de ces derniers avec la moelle forme un pentagone presque régulier.

Dans la structure secondaire, un suber bien développé recouvre un parenchyme très réduit qui passe sans transition visible au liber secondaire également peu développé.

L'assise subéro-phellodermique prend naissance dans les couches profondes du péricycle. Le bois secondaire est compact, parcouru radialement par des rayons médullaires à plusieurs assises. Les vaisseaux ont un lumen assez large, parcourus de ponctuations parfois scalariformes. Au centre, on retrouve assez difficilement les cinq faisceaux primaires dans un prosenchyme au milieu duquel sont noyés les vaisseaux annelés ou spiralés. Le liber secondaire, à l'encontre du liber primaire, contient des mâcles d'oxalate de calcium (11) (107).

5.2. *La tige*

L'épiderme est recouvert d'une cuticule lisse et les cellules épidermiques sont rectangulaires.

Le liège se compose de petites cellules à parois épaisses ; il prend naissance dans l'assise sous-épidermique et il est peu développé : cinq à six rangées de cellules alors que le phelloderme est très développé.

Le parenchyme cortical primaire est, le plus souvent collenchymateux, assez volumineux, à cellules ovoïdes ou irrégulièrement polygonales, allongées tangentiellement et serrées. Il contient de l'oxalate de calcium sous forme de mâcles, des cristaux simples isolés et des cellules à sable.

L'endoderme est peu ou pas différencié. Le péricycle, généralement épais, renferme au milieu du parenchyme des paquets de fibres reliées par de grosses cellules scléreuses ovales souvent ponctuées, donnant au péricycle la forme d'un anneau scléreux continu.

Le liber est plus ou moins réduit et forme une mince bande de cellules à parois ondulées. Il est parenchymateux et sans fibres. On note la présence de nombreuses mâcles d'oxalate de calcium et de cristaux isolés, localisés surtout du côté du bois dans les tissus secondaires.

Le bois est très dense et volumineux, renfermant de nombreux vaisseaux irrégulièrement disposés et entourés par un parenchyme extrêmement lignifié. Il est caractérisé par la présence de vaisseaux scalariformes. Les rayons

médullaires sont lignifiés et réduits à une seule rangée de cellules allongées radialement.

Le tissu médullaire a un développement variable ; les cellules polygonales ou plus ou moins arrondies qui le composent sont de volume variable. Ce tissu est lignifié en totalité ou en partie. Les assises du pourtour du tissu médullaire contiennent de gros cristaux prismatiques isolés d'oxalate de calcium (11) (107).

5.3. La feuille

Les cellules épidermiques sont en général plus hautes que larges. Elles sont recouvertes d'une cuticule à deux couches bien distinctes d'une épaisseur égalant environ la hauteur du lumen cellulaire et portant des plissements courts et irrégulièrement disposés, ce qui donne aux cellules vues de face un aspect strié (figure 6). Elles se présentent sous une forme polygonale ayant 4 à 8 côtés et des parois droites et épaisses.

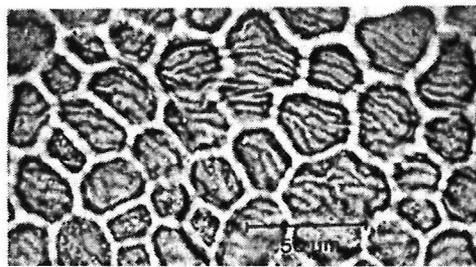


Figure 6 : Epiderme strié de la feuille d'*Ilex paraguariensis* (111).

Le tissu palissadique est variable selon l'âge de la feuille et il présente souvent deux rangées de cellules courtes et larges dont le second rang manque parfois en

partie. Le mésophylle lacuneux est plus ou moins lâche à cellules arrondies et rameuses.

L'épiderme inférieur, semblable à l'épiderme supérieur mais à éléments plus réduits, présente également de face un aspect strié. Il renferme de nombreux stomates entourés de 4 à 6 cellules annexes.

L'oxalate de calcium sous forme de grosses mâcles étoilées, occupe généralement, dans la dernière rangée du tissu palissadique, de grands idioblastes arrondis (11) (107) (111).

5.4. Le fruit

L'épicarpe est constitué de petites cellules, bombées vers l'extérieur, à cuticule épaisse et à paroi mince.

Le mésocarpe charnu est formé de cellules gorgées de suc, très irrégulières, souvent ovales, à paroi fines. Dans la zone externe du mésocarpe, des groupes de cellules scléreuses forment une ligne plus ou moins continue. Ces cellules ont un lumen assez réduit et les parois épaisses présentent des stries concentriques et de fins canalicules.

Les faisceaux libéro-ligneux sont localisés dans le mésocarpe. L'endocarpe particulier à chaque graine est constitué par une couche assez épaisse de minces fibres scléreuses, à petit lumen, dépourvues de canalicules et entrecroisées entre elles. Ces fibres sont disposées en deux directions principales de telle manière que, dans une section du fruit perpendiculaire à l'axe, une partie d'entre elles se

trouve sectionnée longitudinalement, l'autre partie transversalement. L'ensemble du tissu fibreux donne à la graine un solide anneau de protection continue (11) (107).

5.5. La graine

Le tégument de la graine est formé par une couche de grosses cellules épaissies en fer à cheval dans leur partie interne. Ce tégument est également formé d'une couche de deux à trois rangées de cellules tubulaires, très serrées les unes contres les autres et présentant une coloration brunâtre. Cette dernière couche serait formée par les débris de la partie charnue du tégument de l'ovule, dont le contenu cellulaire a été digéré par l'albumen.

L'albumen est composé de grosses cellules irrégulièrement polygonales, renfermant de l'huile et de l'aleurone (11) (107).

6. Exploitation du Maté

6.1 Culture

Comme toutes les plantes tropicales ou subtropicales, la culture du Maté requiert des températures élevées, beaucoup d'humidité dans l'air et dans la terre (environ 1500 mm de pluie de septembre à février).

La température moyenne de la zone de culture oscille entre 15,8°C et 25,5°C, la température optimale se situant entre 20°C et 23°C, ce qui correspond à la

moyenne annuelle. Cependant, cette plante noble qu'est le Maté peut résister à des températures glaciales pouvant atteindre -8°C . L'*Ilex paraguariensis* prospère dans des sols profonds, frais, riches en acides phosphoriques, en potassium et en fer (124).

Les essais de cultures ont longtemps échoué car la germination était presque impossible à obtenir. En effet, ce qui décourageait la plupart des premiers essais fût l'extrême difficulté à faire germer la semence de Maté ; c'est ainsi que l'on a même considéré que cette plante ne germait et ne prospérait que dans son habitat naturel. Pourtant, les Jésuites avaient imaginé un procédé mais ils emportèrent leur secret et, de leur façon d'opérer, il ne reste que de vagues traditions. Une technique consistait à semer des graines trouvées dans les excréments des faisans des bois qui se nourrissaient volontiers du fruit du maté. Une autre consistait à soumettre les graines à des traitements préalables par des acides, la potasse diluée ou par l'eau chaude.

Aujourd'hui, la formation des pépinières a cessé d'être un problème. Les graines fraîches, obtenues à partir de fruits mûrs, sont concassées, trempées pendant quelques heures dans l'eau, lavées et nettoyées des restes de peau et de pulpe mucilagineuse. Une fois sèches, elles sont semées au mois de mars ou avril sur des plates-bandes de terre végétale et aussitôt recouvertes de terreau. Avec un arrosage soigneux et abondant, la germination apparaît au bout de 30 à 60 jours. Les pépinières établies dans un terrain très humide sont protégées par des

treillages peu serrés constitués de bambou, posés sur des pieux en bois dur. La lumière bien tamisée est indispensable.

Dès que les jeunes plantules possèdent 4 ou 5 feuilles, c'est-à-dire âgées de 2 à 3 ans, on découvre peu à peu les abris pour les accoutumer à la lumière. Après 8 à 12 mois, elles ont atteint 15 à 20 centimètres et sont alors transplantées dans des terrains fraîchement défrichés, avec une disposition en quinconce ou en rectangle et une distance de 3 ou 4 mètres entre chaque plant. Pendant les mois qui suivent, on les abrite avec des écrans en paille afin de les protéger des rayons du soleil. Les Yerbales cultivées de la sorte peuvent contenir un maximum de 1000 plantes par hectare et sont en « courbes de niveaux » pour protéger les cultures de l'importante érosion par les fréquentes pluies torrentielles (124).

6.2. Récolte

La récolte a lieu de mai à octobre, lorsque la plante possède un fort pourcentage de feuilles mûres. Celle-ci consiste à couper les rameaux primaires ou secondaires tout en épargnant la « banderola » qui est la tige terminale de l'arbre.

La première récolte des feuilles se fait sur des plantes âgées de 4 à 5 ans ; ensuite, on procède à des prélèvements modérés chaque année, ou alors on ne récolte que tous les 3 ans.

Avec des conditions climatiques favorables, une bonne plantation peut donner, par plante, 20 à 25 kg de feuilles vertes. Ce rendement varie en fonction de l'âge

de la plantation et de sa zone d'implantation. La première récolte donne au moins 500 grammes de Maté et à 8 ans, on obtient 3 à 4 kg de Maté par pied soit environ 3000 à 4000 kilogrammes par hectare (127).

7. Préparation de la drogue

La drogue commerciale se présente sous forme de fragments de feuilles de couleur vert-clair à brun-vert voire brun foncé, à odeur fumée (91) (111).

Sa préparation se fait en 3 étapes, à partir des feuilles : le sapecado, la torréfaction (le secado), la mouture (canchado).

Elle doit commencer dans les 24 heures qui suivent la récolte afin d'éviter la fermentation et donc de minimiser les pertes.

7.1. Le sapecado

Le sapecado consiste à exposer les feuilles pendant 20 à 30 secondes à l'action d'un feu vif : il s'agit d'un premier séchage ayant pour but d'évaporer la majeure partie de l'eau présente dans celles-ci (les feuilles perdent 20% de leur poids par déshydratation). Cette opération va détruire les ferments et va entraîner une oxydation des tanins présents dans les feuilles, assurant ainsi la conservation de leur couleur verte.

Au temps de l'exploitation des Yerbales sauvages, le sapecado s'effectuait à la main (figure 7). Le Yerbatero (figure 8) saisissait une poignée de branchages, la

passait dans le feu, la retournait pour la chauffer également en tous sens, sans la brûler. Il s'agissait d'une opération délicate nécessitant de l'habilité et beaucoup d'expérience. Selon certains auteurs, c'est durant le sapecado que le Yerba Maté perd le goût de feuille verte ou tisane et acquiert l'arôme qui le caractérise, celui d'une huile étherée (127).

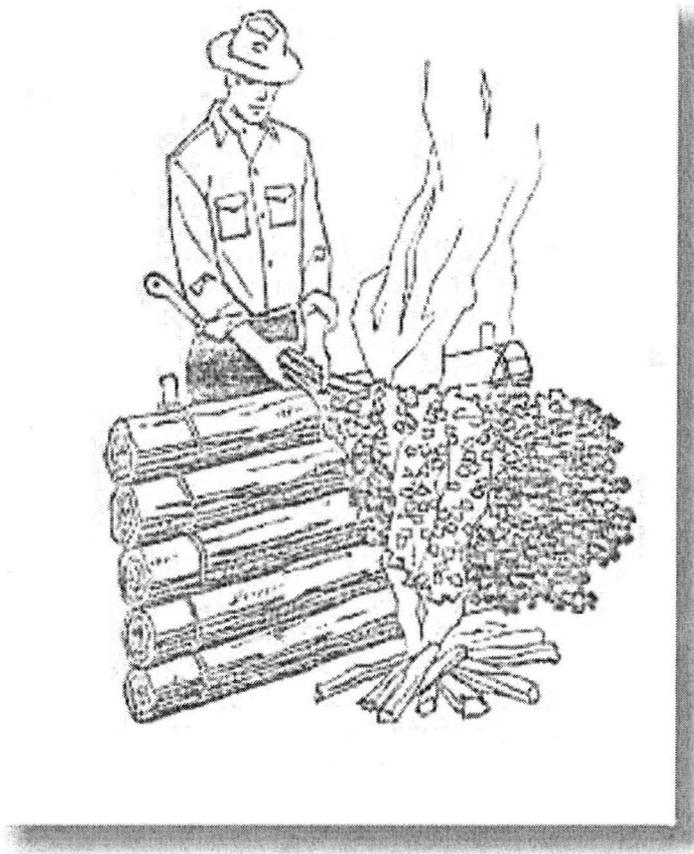


Figure 7 : Sapecado manuel (127).

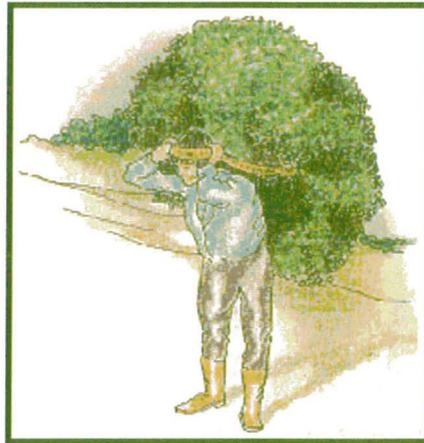


Figure 8 : un Yerbatero (127).

Avec les cultures de Maté, le sapecado a évolué et s'est automatisé. Les premières « sapecadoras » (figure 9) sont des cylindres en grillage de 80 centimètres de diamètre et 2,5 mètres de long avec des armatures métalliques. Le tout, monté sur un axe incliné à 20 ou 25 degrés par rapport au sol, tourne au dessus d'un feu ouvert grâce à une simple manivelle.

Cette tâche était accomplie par plusieurs hommes : un « horquillero » (homme à la fourche), un « manijero » (celui qui tourne la manivelle), un « fogista » (celui qui s'occupe du feu) et un « guaino » (celui qui amène les feuilles au séchage juste après le sapecado).

L'horquillero introduit les feuilles fraîches par l'ouverture supérieure située à une extrémité de la sapecadora, elles sont exposées alors à l'action directe du feu tout au long de leur cheminement jusqu'à la sortie (127).

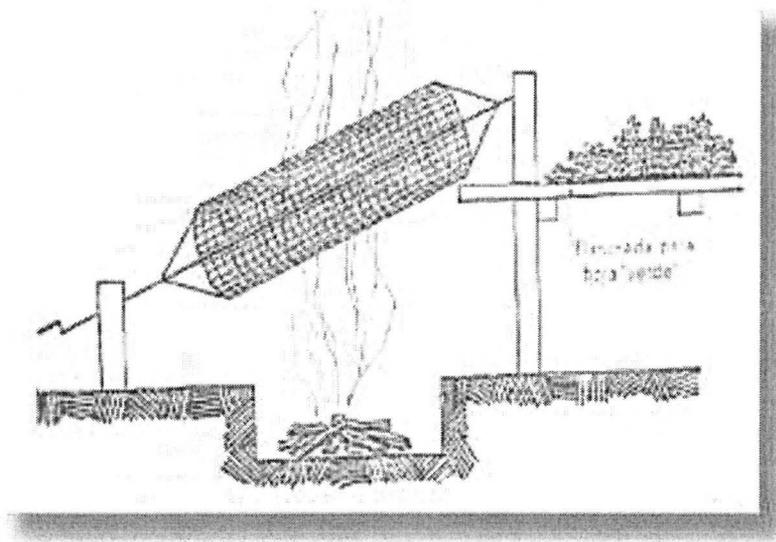


Figure 9 : Premières sapecadoras (127).

Avec le temps sont apparues des machines plus perfectionnées avec des cylindres de fer, des fours et des rubans transporteurs qui ont remplacé les « guainos » (figure 10).

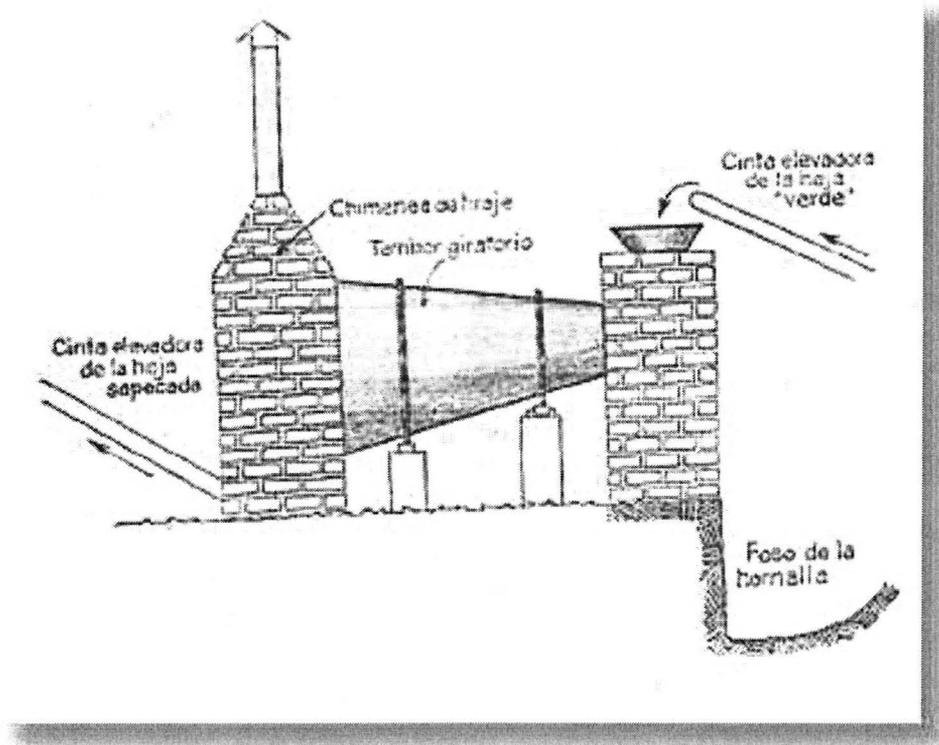


Figure 10 : Sapecadora mecánica (127).

7.2 La torréfaction (le secado)

Durant les 24 heures qui suivent le sapecado, la feuille doit être soumise à un séchage et à un processus de légère torréfaction, jusqu'à ce que le taux d'humidité soit réduit approximativement à 5%, diminuant par conséquent son poids. Ainsi, pour 100 kilogrammes de feuilles vertes, et selon leur degré de maturité, on obtient 23 kilogrammes de Yerba Maté sec.

Le séchage s'effectue grâce à deux types d'installations fondamentalement différentes. La première, le « carijo », agit à travers l'action d'un feu direct, tandis que la seconde, connue sous le nom de « barbacuá » (barbecue) fonctionne grâce à une chaleur indirecte.

Le « carijo », fréquemment utilisé en Argentine, est un foyer constitué de petits bâtons de bois sur lesquels on accroche les branches de Yerba Maté pré-séchées par l'opération de sapecado (figure 11). Elles sèchent ainsi par l'action directe du feu allumé dessous. Les herbes séchées par ce système, exposées durant plusieurs heures à la fumée de la flambée dont elles s'imprègnent totalement, acquièrent une odeur et un goût caractéristiques.

Bien que ce système soit de moins en moins utilisé, il le reste dans certaines zones d'Amérique latine.

Au Paraguay était utilisé un dispositif similaire, le « mbatovi », terme guarani utilisé pour désigner un tas de feuilles (128).

Le « barbacuá » (figure 12) est un foyer circulaire («parilla») d'environ 7 mètres de diamètre, composé de petits bâtonnets formant une coupole soutenue par des colonnes (les « tambos ») hautes de 1,20 mètres à 1,80 mètres, et entourée d'une barrière (« cambarai ») afin d'éviter le glissement des feuilles.

A environ 12 mètres du centre du foyer, on trouve un fourneau qui communique avec la « parilla » grâce à un conduit d'environ 1 mètre de diamètre à son origine et se rétrécissant à 80 centimètres à la sortie, en forme de cheminée sous la coupole. Toute l'installation, dont l'effet recherché est une mise à profit de la chaleur, se trouve à l'intérieur de la construction de bois ou de briques et dont le toit présente une sorte de capuchon ventilateur.

Les feuilles pré-séchées sont étendues sur le foyer par couches de 30 à 40 centimètres d'épaisseur puis sont exposées à un courant d'air et à des gaz à une température d'environ 100°C. Lorsque les feuilles de la couche inférieure commencent à sécher, elles deviennent cassantes et fragiles. Le «maître sécheur», connu dans le jargon Yerbatero comme l'«urú», la remue et la renverse sur le «cambarai».

Cette opération est renouvelée jusqu'à remplir la capacité du barbecue qui est d'environ 2000 kilogrammes de produit sec. Une fois les feuilles séchées, on laisse le four refroidir lentement. Cette étape de séchage dure entre 12 et 24 heures et pendant ce temps, l'«urú» n'a pas un instant pu quitter son travail. C'est à la compétence de cet ouvrier que l'on doit le bon résultat de cette

opération importante ; en effet, si les feuilles n'étaient pas torréfiées à ce point, la présence d'eau entraînerait une fermentation qui altérerait le produit.

Après la torréfaction, les feuilles ont perdu à peu près la moitié de leur poids.

Des machines plus modernes, automatisées, sont maintenant utilisées pour réaliser cette étape (128).

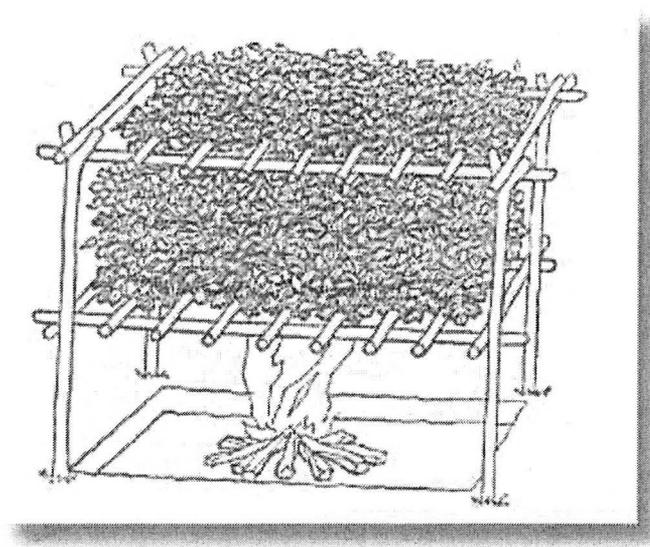


Figure 11 : Le cariyo (128).

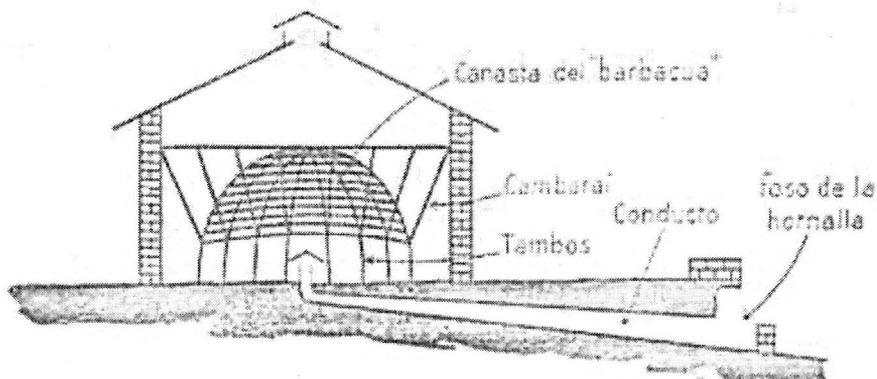


Figure 12 : Un barbacoa (128).

7.3. *La mouture (le canchado)*

La torréfaction est maintenant terminée, il n'y a plus qu'à procéder à la mouture du produit. Il s'agit de soumettre les feuilles séchées à un processus de trituration grossière puis à un fractionnement en morceaux plus ou moins grands, généralement de taille inférieure à 1cm².

A l'origine, cette opération était réalisée en répandant les feuilles sur un plan plat recouvert d'une sorte de toile en coton. Les feuilles étaient concassées par des ouvriers à l'aide de sabres en bois.

Dans l'évolution vers la mécanisation est apparue une « canchadora » dentée ; ces méthodes ont finalement été supplantées par les « canchadoras » mécaniques qui produisent de grandes quantités de feuilles finement concassées (que l'on appelle « canchas ») (123).

La « canchas » est la matière première que les industriels torréfacteurs, après plusieurs opérations de trituration, mélanges et passages au travers de tamis, adaptent à l'usage de chaque région. Une fois la matière première sélectionnée selon son origine et ses caractéristiques particulières, celle-ci passe dans une machine à triturer circulaire connue sous le nom de « zaranda de limpieza » ce qui signifie « machine de propreté », cette étape permet l'élimination des corps étrangers, brindilles et petites branches. Après une première trituration, les plus grandes feuilles sont séparées des brindilles.

Les feuilles sont ensuite soumises à une trituration plus ou moins intensive dans un moulin ou dans le « trapiche » (sorte de citerne métallique, dans laquelle

tournent deux gros rouleaux de fer coniques, tronqués et dont la surface est striée) (26).

On procède ensuite au mélange des feuilles en différentes proportions, selon leur qualité, leur origine, leur saveur et leur degré de torréfaction. Ainsi sont élaborés deux types définis par leur mouture : le type Paraguayen avec une mouture intégrale qui contient des fibres et des brindilles, et le type Argentin sans fibres ni brindilles.

Cependant, ces deux dénominations ont été interdites officiellement avec pour fin d'éviter toute équivoque concernant l'origine du produit et ont été supplantées par les appellations « avec brindilles » ou « sans brindilles ». (123)

7.4. Stockage

A la fin de la mouture, les feuilles sont entreposées, rangées dans des sacs de grosse toile durant une période allant de 9 à 24 mois pour le processus de transformation spontané en espérant qu'il acquière les caractéristiques de saveur et de couleur requises par les consommateurs.

Un autre processus dit accéléré réduit le stockage entre 30 et 60 jours avec un contrôle de la température, de l'humidité et de la circulation d'air pour obtenir les mêmes caractéristiques (26) (123).

Auparavant, le Maté moulu se conservait dans des gibecières de cuir non tanné ; en séchant, le cuir allait provoquer une compression du Maté. Toutefois, ce

système peu hygiénique de conservation fût remplacé par des cylindres en toile de jute, barriques et bidons, dans lesquels les feuilles de Maté sont comprimées par des presses hydrauliques. Ces types de mise en conserve sont aujourd'hui désuets, en effet, il existe des techniques plus modernes, rapides et plus hygiéniques, avec des machines automatiques ou semi-automatiques.

L'industrie meunière, dans les zones productrices, présente exceptionnellement les feuilles de Maté fortement pressées dans des petits sacs de toile connus sous le nom de « sobornales » (123).

7.5 Conditions de consommation

Les feuilles de Maté, d'après le « Código Bromatológico » Argentin pour être considérées comme aptes à la consommation, doivent posséder les caractéristiques suivantes qui répondent à des normes :

- Teneur en eau inférieure à 11%, être en bon état de conservation et ne contenir aucune substance nocive.

- Teneur en cendres totales inférieure à 9%.

- Teneur en cendres insolubles dans l'acide chlorhydrique à 10% inférieure à 1,5%.

- Contenir au minimum 85% de feuilles desséchées, brisées ou pulvérisées. Le contenu en fragments des jeunes branches sèches, tiges entières ou grossièrement triturées, pétioles ou pédoncules, ne pourra être supérieur à 15%.

Le règlement alimentaire, pour considérer que les feuilles de Maté sont aptes à la consommation, ajoute qu'elles doivent contenir plus de 0,6% (en substance sèche) de caféine (123).

8. Maté et économie

L'Argentine, le Brésil et le Paraguay sont les seuls producteurs de Maté et le volume de production mondiale annuelle était de 300 000 tonnes en 1990, 500 000 tonnes en 1999 et de 890 000 tonnes en 2001. Plus de 60 000 tonnes ont été destinés à l'import-export en 2001.

L'Argentine est le principal producteur et exportateur mondial de Maté et le Brésil arrive en seconde position (tableau I et figure 13).

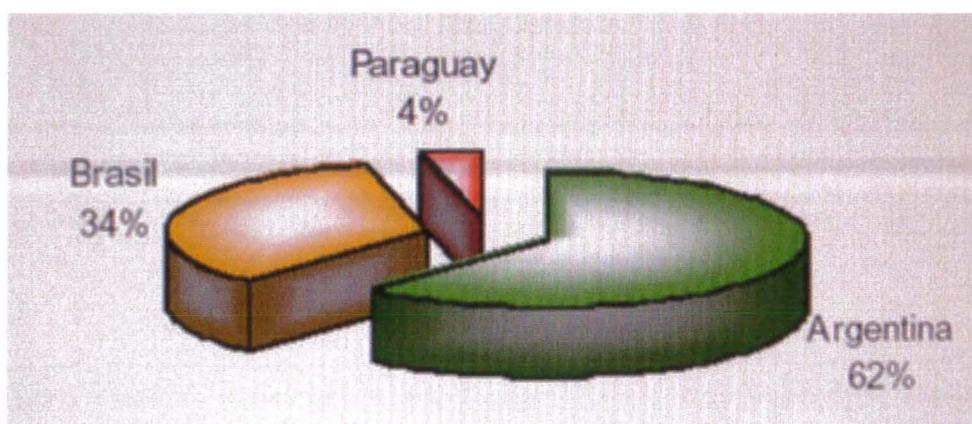


Figure 13 : Participation à la production mondiale de Yerba Maté (26).

Tableau I : Production mondiale de Yerba Maté en 1999 (132).

	Volume (tonnes)	Participation (%)
Argentine	310 000	62
Brésil	170 000	34
Paraguay	20 000	04
Total	500 000	100

- Argentine : la production du Maté Argentin est localisée dans les territoires de Misiones et Corrientes où les conditions optimales climatiques et écologiques permettent d'avoir des cultures aux rendements importants. La seule province de Misiones permet la production de 90% du maté Argentin.

La production nationale de Maté n'a cessé d'augmenter depuis 1992 (avec une diminution en 1998, expliquée par le passage de l'ouragan « El Niño ») : 200 000 tonnes en 1992 et 300 000 tonnes en 1999 (figure 14).

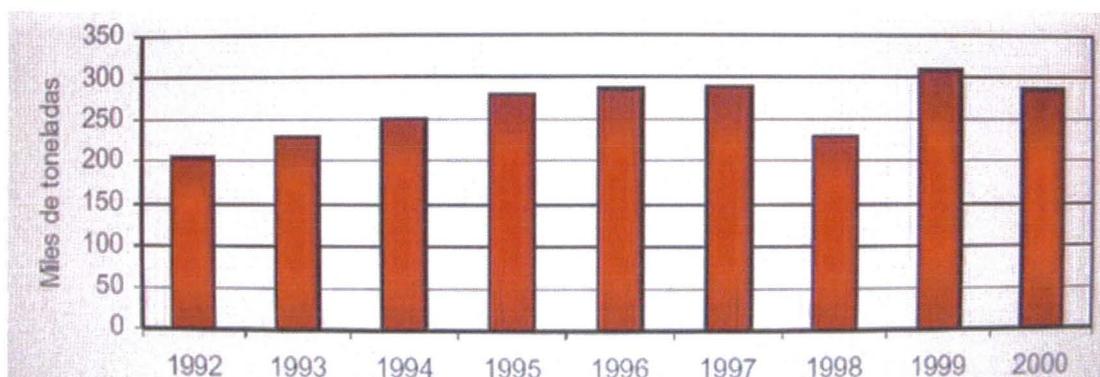


Figure 14 : Production Argentin de Yerba Maté « canchada » entre 1992 et 2000 (26).

La superficie des cultures (Misiones et Corrientes) était de 182 587 hectares en 1993 et 194 678 hectares en 2000.

Aujourd'hui, La consommation par habitant est en moyenne de 6 à 7 kg par an et celle-ci a augmenté de 64% entre 1989 et 1998.

De plus, 84% de la production Argentine de Yerba Mate est destinée à la consommation nationale, cette production est telle que l'importation est faible depuis le début des années 90.

En 2000, 37 528 tonnes de Maté Argentin ont été exportées (ce qui représente environ 20,5 millions de dollars), avec comme principales destinations le Brésil (15%), l'Uruguay (9%), le Paraguay (0,8%) et la Syrie (50%) (figure 15).

En fait, sur les 200 000 hectares de Maté Argentin, environ 8% est destiné à l'export. (26) (116) (118) (122) (131) (132).

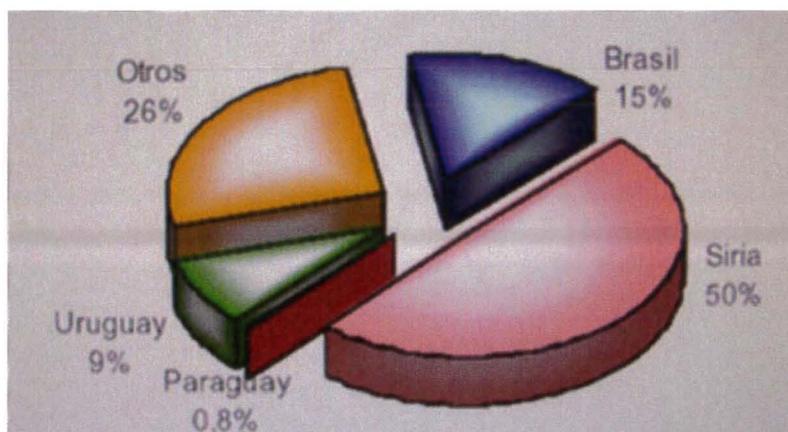


Figure 15 : Exportation Argentine de Yerba Maté en 2000 (26).

- Le Brésil : il est le second producteur mondial (170 000 tonnes en 1999, 34% de la production mondiale). Les cultures sont localisées à Curitiba, Ponta Grossa Guarapuava et dans les vallées de Iguazú. Au milieu des années 80, a été mise en place la plantation à grande échelle, basée sur les techniques utilisées en Argentine. Cette initiative a eu lieu car les coûts de production étaient faibles et qu'il y avait beaucoup de petits producteurs.

D'après des sources officielles (IBGE et SERPRO/MF) datant de 1995, la production Brésilienne de Yerba Maté « canchada » avoisinait les 225 000 tonnes et la consommation était supérieure à 215 000 tonnes ; les exportations représentaient 26 500 tonnes (principalement vers l'Uruguay) et les importations de Maté Argentin étaient de 16 200 tonnes. L'état de Rio Grande do Sul est le meilleur producteur de Maté « canchado » bon marché et le Paraná est le principal producteur de Maté vert (produit élaboré) dont la production a augmenté de 120% entre 1991 et 1999. Cependant, à partir de 1999 les exportations d'Argentine vers le Brésil ont énormément diminué et ceci à cause de la dévaluation monétaire Brésilienne (26).

- Le Paraguay : les cultures sont localisées à Itapua ainsi que dans le Sud-Ouest du pays et à moindre échelle dans les régions de Alto Paraná et Canindeyu. Ce Pays produit 4% du Maté mondial (132).

Il existe d'autres pays consommateurs en Amérique : le Chili, la Bolivie et aussi la Californie et la Floride de par la présence de nombreux Hispano-Américains.

Quant au Moyen Orient, c'est la Syrie qui est le plus grand importateur de Maté (figure 15) : ceci s'explique par la migration du peuple Syrien vers l'Argentine à l'époque de l'empire Ottoman (131).

En Europe, et plus particulièrement en Espagne, Italie et en France, le Maté est également consommé puisqu'il est commercialisé dans des herboristeries et aussi dans les supermarchés (en Espagne) et les pharmacies (26).

9. Utilisation traditionnelle

Dans les pays d'Amérique du Sud que sont le Brésil, l'Argentine, l'Uruguay et le Paraguay, les rites ancestraux qui accompagnent la préparation et la consommation de l'infusion de Maté ont été conservées.

Boire du Maté est, dans les pays consommateurs, un acte social ; on le sirote partout : dans la rue, le bus, au travail lors des pauses. On le prépare presque religieusement, un peu comme le thé à la menthe dans les pays arabes. En général c'est le plus âgé qui s'en charge. Dans les supermarchés, des rayons entiers y sont consacrés.

Souvent, le Maté passe de main en main, l'infusion est très souvent partagée avec des amis ou la famille. On le boit au lieu du café ou du thé et la consommation moyenne est de 27 grammes par jour de feuilles séchées, ce qui représente une grande quantité. Son usage, adopté à l'origine par les indigènes Guaranis est maintenant très populaire et le matériel nécessaire à la préparation de l'infusion est toujours le même (131).

9.1. Vase à Maté

Pour préparer le breuvage, on utilise un récipient que les Hispano-américains nomment «Maté», «Matero» en Argentine, «Guampa» au Paraguay ou «Cuia» au Brésil. Il s'agit en général d'un fruit de Cucurbitacée évidé ; on peut également utiliser d'autres récipients en métal, en verre ou en bois, recouverts de cuir ou de métal, avec des formes variables, plus ou moins richement ornés. (figure 16) (115).



Figure 16 : Vases à Maté (129).

9.2 La Bombilla

L'infusion est bue grâce à la Bombilla (figure 17) : un genre de paille métallique, avec un filtre à son extrémité inférieure, ce qui permet d'éviter d'avaler la poudre de feuilles séchées qui reposent sur le fond de la calabasse (100).



Figure 17 : La bombilla (127).

9.3 Préparation de L'infusion

En Europe, l'infusion est préparée en versant de l'eau chaude, non bouillante, sur une cuillère à café de Maté (soit environ 2 grammes) puis on filtre après 5 à 10 minutes.

De même que pour le thé noir, l'infusion de courte durée est plus fortement stimulante, de saveur plus agréable, et moins astringente qu'une infusion prolongée (111).

En Amérique du Sud, le Maté est préparé de la façon suivante :

- a) Remplir le vase à Maté avec des feuilles jusqu'au $\frac{3}{4}$ de sa capacité.
- b) Placer la main ou une feuille de papier sur l'ouverture du vase et agiter doucement à l'envers. Cette opération permet aux plus petites particules de feuilles (qui s'apparentent à de la poussière) de rester dans la partie supérieure du récipient. De cette façon, il est moins probable qu'elles obstruent les petits trous du filtre de la bombilla.
- c) Remettre le vase en position normale et verser délicatement un peu d'eau chaude.
- d) Laisser reposer quelques secondes, et une fois que l'eau a été absorbée, on finit de remplir l'appareil.

e) Fermer l'ouverture du Maté et enfoncer la bombilla.

Classiquement, on rajoute de l'eau dans l'appareil quand il n'y en a plus assez pour aspirer et cela jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de goût (133).

Certaines personnes ajoutent du sucre, des épices ou encore de l'orange, du citron, de la menthe, des herbes médicinales ou des racines pilées dans leur Maté, d'autres ajoutent du lait à la place de l'eau (« Maté dulce » pour les enfants), ou du café. Il est également possible de prendre son Maté comme s'il s'agissait de thé : l'infusion se fait dans une théière, dans ce cas on le nomme « Maté cocido » (125).

10. Les espèces falsifiantes

A côté de *Ilex paraguariensis* A. Saint-Hilaire, beaucoup d'autres *Ilex* qui croissent dans la forêt vierge, sont utilisés comme plantes à Maté et mélangés dans des proportions variables pour former les Matés commerciaux.

Les principaux de ces *Ilex* sont :

- *Ilex theezans* C. Martis.
- *Ilex dumosa* Reisseck.
- *Ilex brasiliensis* (Spreng) Loes.
- *Ilex taubertiana* Loes.
- *Ilex integerrima* (Vellozo) Reisseck.
- *Ilex microdonta* Reisseck.
- *Ilex argentina* Lillo.

- *Ilex brevicuspis* Reisseck.

- *Ilex pseudobuxus* Reisseck.

Cependant, lorsqu'on parle de Maté, il s'agit de *Ilex paraguariensis* A. Saint Hilaire en majorité, car c'est la plus importante des plantes à Maté (45).

Deuxième partie :

Etude chimique

I. Introduction

La consommation de Maté dans les pays sud-Américains est très importante. C'est pourquoi la connaissance exacte de la composition chimique des feuilles est capitale afin d'en déduire les effets physiologiques et pharmacologiques.

Le Maté est surtout connu pour être une plante à caféine d'où son effet stimulant mais des études récentes ont mis en évidence d'autres composants en quantité bien plus importante que la caféine.

II. Les bases xanthiques

1. Introduction

Egalement dénommées bases puriques ou purines, ces bases sont largement répandues dans la nature.

Ces composés ne font pas partie de la classe des alcaloïdes en raison de leur solubilité dans l'eau chaude et les solvants chlorés, ainsi que leur origine biosynthétique qui n'implique pas un acide aminé.

Pourtant certains composés de cette classe possèdent des propriétés pharmacologiques marquées comme la caféine, la théobromine ou la théophylline. C'est pour cette raison qu'elles sont parfois dénommées à tort « alcaloïdes puriques » (14).

2. Les différentes bases xanthiques

Ce sont des composés à noyau purine, hétérocycle qui résulte de l'association d'un noyau pyrimidine à un noyau imidazole.

On retrouve donc la caféine ou 1,3,7-triméthylxanthine :

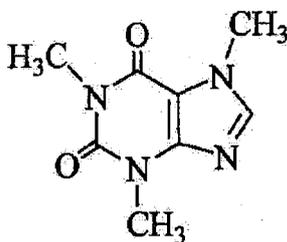


Figure 18 : La caféine (94).

La théophylline ou 1,3-diméthylxanthine :

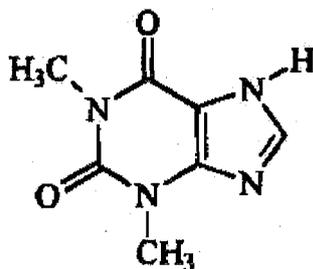


Figure 19 : La Théophylline (94).

Et la théobromine ou 3,7-diméthylxanthine :

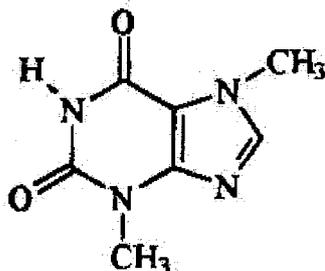


Figure 20 : La théobromine (94).

3. Extraction, caractérisation, dosage

L'extraction des bases xanthiques est réalisée sur des échantillons de poudre de feuilles d'*Ilex paraguariensis*.

Les méthodes d'extraction de la caféine dans le thé, le café et les noix de kola sont en général applicables au Maté. Quasiment toutes ces méthodes font appel à la solubilité de la caféine dans le chloroforme (56).

L'extraction des bases xanthiques utilise des solvants divers comme le chloroforme, le dichlorométhane ou l'eau.

La caractérisation des différentes bases est réalisée par chromatographie sur couche mince (75).

Les premières méthodes de dosage des bases xanthiques faisaient appel à des méthodes spectroscopiques. La matière première était alcalinisée et extraite avec

du chloroforme, puis l'extrait sec repris par l'eau et analysé en spectroscopie dans l'UV (96).

Plus tard, la chromatographie liquide haute performance (CLHP) s'impose comme la méthode de référence pour le dosage des bases xanthiques.

En 2002, une nouvelle méthode de dosage est utilisée pour analyser des infusions de Maté préparées à partir de tiges et de feuilles d'*Ilex paraguariensis*.

Cette méthode consiste à doser les bases xanthiques par électrophorèse capillaire haute performance (87).

4. Teneur en xanthines dans *Ilex paraguariensis*

4.1. Dans les feuilles

Les quantités de bases xanthiques dosées dans les feuilles de Maté sont assez comparables.

Il existe cependant une disparité en ce qui concerne la présence ou non de théophylline.

En 1984, les bases xanthiques présentes dans les feuilles de Maté ont été étudiées par CLHP et les quantités de caféine et de théobromine trouvées dans les feuilles sont respectivement de 0,78 à 1,25 et de 0,34 à 0,43%.

Cette étude n'a pas pu mettre en évidence la présence de théophylline (8).

Une autre étude réalisée en 2002 donne des pourcentages similaires obtenus sur 14 échantillons de Maté provenant de régions différentes à savoir de 0,3 à 1,72% de caféine et 0,08 à 0,66% de théobromine.

Cette étude met en évidence de la théophylline dans les feuilles mais en si faible quantité qu'elle n'est pas quantifiable (87).

La seule étude qui rapporte la présence de théophylline quantifiable dans les feuilles d'*I. paraguariensis* donne les valeurs suivantes : de 48 à 209 mg.kg⁻¹ de matière première (75).

Cette étude est datée de 1994 et doit être prise à la légère puisque même des études plus récentes n'arrivent pas à la quantifier (43), (89).

Les variations de valeurs pour la caféine et la théobromine peuvent s'expliquer par le mode de culture, les variations climatiques, la nature du sol...

On peut donc en conclure que les feuilles de Maté contiennent de la caféine et de la théobromine en quantité suffisamment importante pour être quantifiée ainsi que des traces de théophylline.

4.2. Dans les autres parties

En 1994, les bases xanthiques ont été dosées dans les feuilles du Maté, mais également dans les fruits, l'écorce et le bois (75).

De plus, cette étude compare les teneurs en bases xanthiques dans les feuilles et les fruits à différents stades de maturité et différencie les branches portant des fruits des autres.

Les échantillons analysés ont été prélevés de 2 arbustes âgés de 3 à 5 ans cultivés dans des conditions naturelles à Campinas au Brésil.

Les feuilles en voie de développement (premières et secondes paires de feuilles du haut de la branche) et les feuilles plus matures ont été séchées à 75°C pendant une semaine.

Pour l'analyse des bases contenues dans les branches, l'écorce a été délicatement enlevée avec un couteau puis le bois obtenu et l'écorce ont été séchés à leur tour.

Les fruits mûrs collectés sont de couleur rouge noir alors que les fruits immatures sont verts.

Les bases xanthiques sont identifiées par chromatographie sur couche mince (CCM) puis dosées par CLHP. Les quantités de bases xanthiques trouvées sont présentées dans le tableau II.

Tableau II : Teneur en xanthines dans différentes parties d'*I. Paraguariensis* en mg.kg-1 de matière première (75).

Organs	Theobromine	Theophylline	Caffeine
young leaves - FB ^{1,2}	768 ± 30	209 ± 5	8375 ± 251
old leaves - FB	221 ± 10	58 ± 2	1626 ± 52
young leaves - NFB	1565 ± 45	47 ± 4	9147 ± 256
old leaves - NFB	340 ± 7	142 ± 6	5371 ± 161
immature fruit	14 ± 0.6	nd	378 ± 9
mature fruit	nd	nd	132 ± 2
bark	695 ± 21	nd	1484 ± 59
wood	151 ± 3	nd	604 ± 21
young leaves - SL	093 ± 52	48 ± 2	7667 ± 220
old leaves - SL	3723 ± 140	161 ± 5	6361 ± 125
young leaves - SH	2627 ± 40	69 ± 2	8935 ± 270
old leaves - SH	4320 ± 65	155 ± 5	8288 ± 166

1 FB = Branches bearing fruits; NFB = Branches not bearing fruits; SL = sunlight illuminated leaves of a partially shaded plant; SH = shaded leaves of a partially shaded plant; nd = not detected.

2 Means of two analysis replicates.

Comme on peut le voir, la caféine a été trouvée dans chaque partie de plante analysée avec le plus faible pourcentage dans les fruits mûrs et le plus haut dans les feuilles en voie de développement.

La théobromine est elle aussi présente dans toutes les parties à l'exception des fruits mûrs qui n'en contiennent pas.

La théophylline quand à elle est mise en évidence uniquement dans les feuilles en quantité très faible.

A la vue de ces résultats, la quantité de caféine dans les différents tissus pourrait être associée avec l'activité cellulaire : les tissus en voie de développement ou ceux avec une grande activité métabolique comme les fleurs, les fruits et les

jeunes feuilles présentent des concentrations en caféine supérieures à celles trouvées dans les tissus adultes.

Les fruits influencent également le métabolisme des bases xanthiques : les feuilles en voie de développement et les feuilles matures collectées à partir de branches qui supportent des fruits ont des concentrations en théobromine et en caféine plus basses que celles n'en portant pas.

L'analyse a également été effectuée dans des feuilles partiellement exposées à la lumière du soleil par rapport à des feuilles complètement exposées.

Les feuilles partiellement exposées présentent des concentrations en caféine et théobromine supérieures. Les concentrations en théophylline ne sont pas affectées par cette variable (75).

En 2000, la caféine et la théobromine ont été identifiées et dosées dans la cire épicuticulaire d'*Ilex paraguariensis* (7).

Cette cire épicuticulaire fournit aux plantes une barrière physico-chimique qui leur permet d'améliorer leur résistance contre la perte d'eau et les protège des invasions comme les champignons ou d'autres organismes.

La méthode consiste à plonger des feuilles sèches entières de Maté dans du chloroforme pendant une minute.

En considérant que la couche de cire épicuticulaire peut être détruite pendant le processus de dessèchement des feuilles, la méthode a aussi été réalisée sur des feuilles fraîches de Maté.

Une analyse spectrophotométrique de ces 2 échantillons a démontré la présence de méthylxanthines.

Les quantités de caféine et de théobromine trouvées sont reportées dans le tableau III.

Tableau III : Concentrations de caféine et théobromine dans la cire épicuticulaire d'*I.paraguariensis* exprimées en µg par mg (7).

Epicuticular caffeine and theobromine contents of plants collected in February, September, October and November of 1997.^{a,b}

States	Caffeine		Theobromine	
Mato Grosso do Sul	February	September	February	September
	13.6±8.8 ^a (4.1–31.0)	8.7±7.6 (3.7–22.3)	1.5±1.0 ^a (0.3–2.8)	1.2±1.7 (0.1–4.5)
Paraná	February	October	February	October
	8.2±6.3 ^{ab} (1.0–15.6)	54.7±44.2 (4.2–127.6)	1.6±0.7 ^a (0.9–2.6)	4.1±3.5 (0.6–9.5)
Rio Grande do Sul	February	November	February	November
	1.7±1.9 ^b (0.2–5.5)	3.2±4.2 (0.1–9.5)	0.8±0.6 ^a (0.0–1.7)	1.0±1.0 (0.0–2.9)

^a The results are expressed as average ± standard deviation (µg/mg leaf wax dry weight); ranges are shown in parentheses.

^b The populations are different based on Kruskal–Wallis test ($\alpha=0.05$); different bold superscript letters indicate significant differences based on Nemenyi test to pairwise comparisons (only comparisons among populations and among data from February are shown).

Les quantités trouvées sont bien plus faibles que celles trouvées à partir de poudre de feuilles. La question est donc de connaître l'utilité de la caféine et de la théobromine dans la cire épicuticulaire des feuilles de Maté.

Beaucoup de plantes sécrètent des substances pour empêcher le développement des insectes comme des toxines et des substances répulsives.

La caféine est connue pour être capable de repousser une espèce de coccinelle (*Callosobruchus maculatus*) et pour réduire la fécondité et la longévité d'une drosophile (*Drosophila prosaltans*).

Dans les plantes, les attaques par les champignons induisent l'accumulation de caféine et les plantes capables de produire plus de caféine sont plus résistantes aux champignons.

La caféine est également une des substances les plus amères du Maté et ce goût amer serait un facteur important dans les relations entre les insectes et les plantes.

Le fait que la majeure partie de la caféine soit présente dans les feuilles et non pas dans la cire épicuticulaire laisse à penser que cette présence serait un moyen de défense du Maté.

5. Teneur en xanthines dans les espèces falsifiantes

Il existe de nombreuses espèces falsifiantes du Maté et les bases xanthiques ont été dosées chez les plus fréquents à savoir : *I. argentina*, *I. brevicuspis*, *I. theezans*, *I. dumosa*, *I. microdonta*, *I. pseudobuxus* (89).

Les résultats obtenus sont très intéressants à savoir :

- La caféine a été quantifiée uniquement chez *Ilex paraguariensis* (0,646% et 0,003%) et elle n'est pas quantifiable ou même pas détectée chez les espèces falsifiantes.

- La théobromine est quantifiée seulement chez *I. paraguariensis* (0,12%) et elle n'est pas détectée chez les autres espèces.

- La théophylline est quantifiée chez *I. pseudobuxus* (0,6%) et non détectée chez les autres à part *I. theezans* et *I. dumosa* mais elle n'est pas quantifiable.

Il faut cependant prendre des précautions quand à ces valeurs étant donné l'influence des différents facteurs sur la composition chimique du Maté telle que la variabilité génétique, les conditions climatiques, la période de récolte et le traitement industriel des matières premières.

En considérant ces résultats, on peut tout de même conclure que la présence simultanée de caféine et de théobromine en quantités quantifiables est une caractéristique propre à *I. paraguariensis* et qu'il serait donc possible d'en détecter facilement les falsifications par cette méthode.(43)

6. Conclusion

La présence de bases xanthiques dans les feuilles de Maté n'est pas une découverte récente puisque des études datant de 1955 en font déjà référence.

Cependant le développement des méthodes d'extraction et de dosage permet de doser ces bases avec précision et de donner des pourcentages à savoir pour la caféine de 0,3 à 1,72% et de 0,08 à 0,66% pour la théobromine.

La théophylline est également présente puisqu'elle a été détectée mais elle n'est pas quantifiable.

Ce qui est plus intéressant en revanche en plus de l'importance taxonomique est de savoir que la présence simultanée de caféine et de théobromine est une caractéristique propre d'*I. paraguariensis* et qu'il est donc possible de détecter facilement les falsifications par le dosage des bases xanthiques.

III. Les polyphénols

1. Introduction

Les polyphénols ou composés phénoliques sont largement distribués dans le règne végétal. Leur détermination est importante de par leur importance physiologique, leur capacité antioxydante et leurs effets physiologiques.

Ils sont également utilisés comme marqueurs dans les études taxonomiques.

2. Structure

D'un point de vue chimique, l'élément structural qui les caractérise est la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle, libre ou engagé dans une autre fonction : éther, ester, hétéroside (14).

On les divise principalement en 3 groupes :

- Les acides phénols ;
- Les flavonoïdes ;
- Les tannins.

Les deux premiers groupes sont présents dans *Ilex paraguariensis* (77).

3. Les acides phénols

3.1. Extraction, caractérisation, dosage

Afin d'imiter la façon dont le Maté est consommé, les feuilles sont plongées dans l'eau bouillante. Après refroidissement à température ambiante, le pH est ajusté à 4 par de l'acide chlorhydrique puis les acides phénols sont extraits par une solution d'acétate d'éthyle.

Ils sont ensuite identifiés par CCM et dosés par CLHP (76).

3.2. Acides phénols présents dans *I. paraguariensis*

Les acides phénols ont été identifiés uniquement dans les feuilles.

On distingue d'un point de vue structural, les acides phénols dérivés de l'acide benzoïque et ceux dérivés de l'acide cinnamique.

On trouve dans le Maté des acides phénols dérivés de l'acide cinnamique qui sont le plus souvent estérifiés. Plus précisément, le Maté contient de l'acide chlorogénique ou acide caféoyl-3-quinique qui est un ester de l'acide caféique et de l'acide quinique (figure 21) et des dérivés de cet acide chlorogénique.

Les acides phénols isolés à partir des feuilles du Maté sont les suivants (44) (78)

(82) :

- Acide caféique : 0,023g/100g (figure 22).

- Acide chlorogénique : 2,3 à 2,8g/100g (figure 23).
- Acide dicaféoyl-3,5-quinique : 3,04 à 4,04 g/100g.
- Acide dicaféoyl-3,4-quinique : 0,6 g à 0,855g/100g.
- Acide dicaféoyl-4,5-quinique 1,72 g à 2,89g/100g.

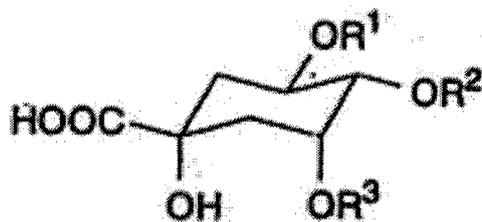


Figure 21 : L'acide quinique $R^1=R^2=H$ (111).

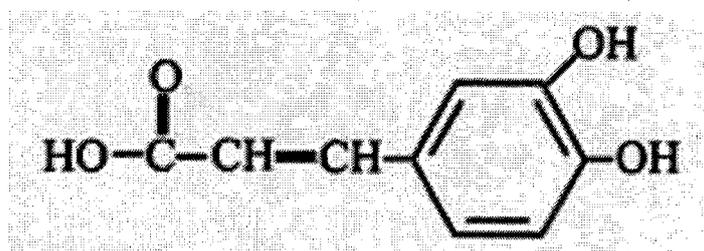


Figure 22 : L'acide caféique (77).

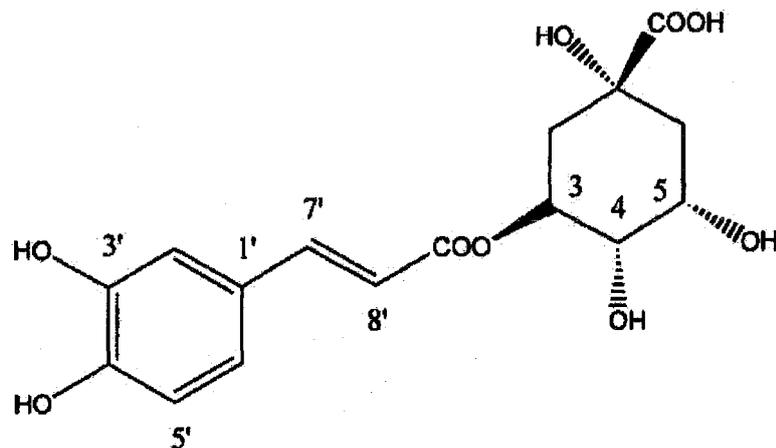


Figure 23 : L'acide chlorogénique (23).

3.3. Acides phénols des adultérants

Une seule étude compare les acides phénols du Maté et de ses adultérants les plus fréquents à savoir *I. brevicuspis*, *I. theezans*, *I. dumosa*, *I. microdonta*, *I. pseudobuxus*, *I. taubertiana* et *I. argentina* (44).

Les valeurs trouvées par CLHP sont présentées dans le tableau IV.

Tableau IV : Concentrations en acides phénols et en flavonoïdes dans *I. paraguariensis* et ses adultérants (44).

Contents (% on dried wt.) of caffeoyl derivatives and flavonoids in the assayed *Ilex* species^a

Plants	Chlorogenic acid	Caffeic acid	3,4-DCQ ^b	3,5-DCQ ^b	4,5-DCQ	Total caffeoyl deriv.	Rutin	Quercetin	Kaempferol
<i>I. paraguariensis</i>	2.800 ± 0.300	0.023 ± 0.004	0.855 ± 0.064	3.040 ± 0.180	2.890 ± 0.060	9.608	0.0600 ± 0.0054	0.0031 ± 0.0009	0.0012 ± 0.0003
<i>I. brevicuspis</i>	0.915 ± 0.064	0.005 ± 0.001	0.130 ± 0.010	0.360 ± 0.060	0.490 ± 0.040	1.900	0.0022 ± 0.0003	0.0006 ± 0.0002	0.0003 ± 0.0001
<i>I. theezans</i>	0.039 ± 0.001	0.002 ± 0.001	0.016 ± 0.006	0.062 ± 0.025	0.040 ± 0.001	0.160	0.0015 ± 0.0004	0.0023 ± 0.0005	0.0015 ± 0.0003
<i>I. dumosa</i>	0.042 ± 0.009	0.012 ± 0.008	0.017 ± 0.001	0.147 ± 0.060	0.070 ± 0.014	0.288	0.0055 ± 0.0005	0.0004 ± 0.0002	0.0013 ± 0.0002
<i>I. microdonta</i>	0.032 ± 0.003	0.009 ± 0.001	0.031 ± 0.001	0.045 ± 0.007	0.026 ± 0.005	0.143	0.0089 ± 0.0006	0.0016 ± 0.0005	0.0008 ± 0.0003
<i>I. pseudobuxus</i>	0.190 ± 0.030	0.010 ± 0.001	0.140 ± 0.030	0.090 ± 0.020	0.240 ± 0.060	0.670	0.0300 ± 0.0015	0.0031 ± 0.0004	0.0011 ± 0.0004
<i>I. taubertiana</i>	0.025 ± 0.005	0.004 ± 0.001	0.011 ± 0.002	0.035 ± 0.003	0.043 ± 0.004	0.118	NQA	NQA	NQA
<i>I. argentina</i>	0.090 ± 0.015	0.003 ± 0.001	0.047 ± 0.010	0.545 ± 0.049	0.043 ± 0.003	0.728	0.0016 ± 0.0005	0.0020 ± 0.0006	0.0007 ± 0.0003

On peut constater qu'*I. paraguariensis* contient le plus d'acides phénols et que pour chacun des acides phénols, il en contient la plus grande quantité.

4. Les flavonoïdes

4.1. Extraction, caractérisation, dosage

Les flavonoïdes sont directement extraits des feuilles par des solvants moyennement polaires comme le dichlorométhane.

La caractérisation comme pour les composés précédents est réalisée par CCM.

Les méthodes de dosage classiques sont le plus souvent colorimétriques ou spectrophotométriques, mais la CLHP est de plus en plus utilisée puisqu'elle offre une estimation rapide et précise de tous les flavonoïdes présents dans une drogue (14).

4.2. Les flavonoïdes du Maté

Au sens strict, les flavonoïdes sont des pigments quasi universels des végétaux.

Ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles.

Dans le Maté, les flavonoïdes ont été mis en évidence uniquement dans les feuilles.

Tous les flavonoïdes ont une origine biosynthétique commune et possèdent donc le même élément structural de base qui est la 2-phénylchromane (14).

Ils sont classés en fonction du degré d'oxydation du noyau pyranique central :

- 2-phénylchromones : flavones, flavonols, flavanones et dihydroflavonols ;

- 2-phénylchromanes : flavanes et flavanols ;

- Chalcones et dihydrochalcones ;

- Aurones ;

- Anthocyanes.

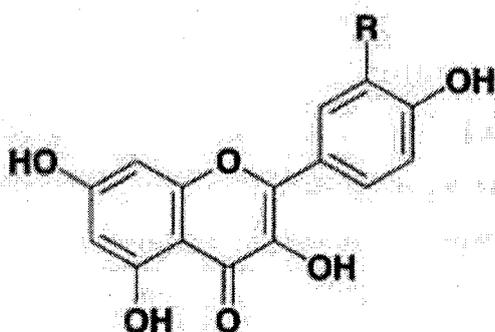
Trois flavonoïdes ont été isolés des feuilles d'*Ilex paraguariensis* (44).

Deux d'entre eux ont été mis en évidence sous forme libre :

- la quercétine ou quercétol (figure 24) ;

- le kaempférol (figure 24).

Ce sont tous les 2 des flavonols et leur structure diffère par la présence d'un groupe hydroxyle en 3'.



FLAVONOLS

R = H, kaempférol

R = OH, quercétol

Figure 24 : La quercétine et le kaempférol (14).

Le troisième flavonoïde a été isolé sous forme d'hétéroside :

- la rutine : la partie osidique est disaccharidique, composée de rhamnose et de glucose et reliée au flavonoïde par l'hydroxyle en 3.

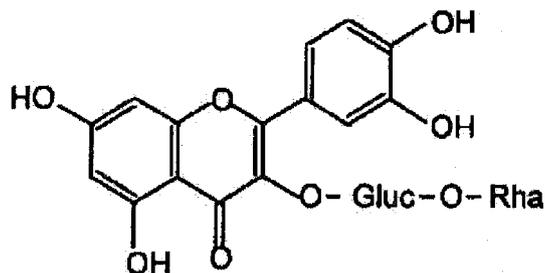


Figure 25 : La rutine (16).

Les quantités trouvées pour chacun des flavonoïdes se trouvent dans le tableau IV.

4.3. Les flavonoïdes des adultérants

Les quantités de flavonoïdes trouvées chez les adultérants sont également présentées dans le tableau précédent.

I. paraguariensis est plus riche en rutine et quercétine que les autres espèces mais pas pour le kaempférol même si cette différence n'est pas très significative (44).

5. Conclusion

Ces résultats qui contribuent à la connaissance des espèces sud-américaines du genre *Ilex* mettent en évidence comme pour les bases xanthiques des caractéristiques propres à *Ilex paraguariensis* : une concentration en acides phénols élevée (environ 9,5%) qui permet de le différencier facilement de ses adultérants et d'éviter ainsi les falsifications.

IV. Les saponines

1. Introduction

On les appelle également saponosides et ces termes désignent des hétérosides caractérisés par leurs propriétés tensioactives. Les hétérosides résultent de la combinaison d'oses avec des composés non osidiques. La partie non osidique est dénommée génine ou aglycone.

La plupart des saponosides possèdent également des propriétés hémolytiques.

2. Structure

On distingue d'un point de vue structural deux groupes de saponosides en fonction de la nature de leur génine (14) :

- saponines à génine stéroïdique presque exclusivement présentes chez les Angiospermes Monocotylédones. Elles possèdent toutes un squelette à 27 atomes

de carbone qui comporte habituellement 6 cycles qui dérivent d'un précurseur cholestanique ;

- Saponines à génine triterpénique que l'on retrouve essentiellement chez les Angiospermes dicotylédones. Elles sont issues de la cyclisation du 2,3-époxy-2,3-dihydrosqualène.

Les oses constitutifs des saponosides sont simples : glucose, galactose, arabinose, rhamnose, xylose et fucose.

Les saponines peuvent être formées d'un ose et d'une génine mais le plus souvent la partie sucrée est constituée par un ou deux oligosides.

Selon que la molécule comporte un ou deux oses on parle de mono ou bidesmoside :

- Monodesmoside : la formation de la liaison osidique implique la fonction réductrice de l'oligoside et l'hydroxyle présent en position C-3 de la génine stéroïdique ou triterpénique ;

- Bidesmoside : en plus de l'ose fixé en C-3, une 2^{ème} chaîne osidique est liée à la génine par une liaison ester avec le carboxyle en C-28 des génines triterpéniques. Dans le cas des saponines à génine stéroïdique, la 2^{ème} chaîne éthérifie l'hydroxyle porté par le carbone C-26. Les bidesmosides sont de loin les plus fréquents.

3. Extraction, caractérisation, dosage.

L'extraction des saponines est complexe car si elles sont solubles dans l'eau et donc extractibles, l'eau favorise également l'hydrolyse des bidesmosides (14).

Leur extraction fait donc plus souvent appel à des alcools ou à des solutions hydro-méthanoliques pour obtenir mono et bidesmosides.

Pour la séparation, on fait appel à des techniques chromatographiques sur supports classiques ou plus complexes.

Les méthodes de caractérisation sont de 3 sortes :

- Les indices : détermination du pouvoir hémolytique et de l'indice de mousse ;

- Réactions colorées : aucune n'est spécifique des saponines mais on peut quand même les réaliser : réaction de Liebermann qui permet de différencier les génines. Avec la vanilline, l'aldéhyde anisique et d'autres aldéhydes aromatiques en milieu acide minéral fort, il se forme des produits fortement colorés. Avec le trichlorure d'antimoine en milieu anhydride acétique ;

- Méthodes chromatographiques : la CCM est la méthode de choix. La CLHP est de plus en plus réalisée pour réaliser des contrôles de pureté et des dosages. Enfin pour établir la composition des drogues la CLHP-SM est également utilisée.

Le dosage peut être colorimétrique, spectrophotométrique après séparation par CCM ou on peut faire appel à la CLHP.

L'étude structurale des saponosides se fait par spectrométrie de masse et résonance magnétique nucléaire du proton et du carbone qui permettent de déterminer la masse moléculaire ainsi que la nature et l'enchaînement des sucres et la nature de l'aglycone.

4. Saponines du maté

4.1. Dans les feuilles

Les saponines majeures présentes dans les feuilles du Maté sont au nombre de 5. Elles sont dénommées matésaponines 1,2,3,4 et 5.

Les différentes études réalisées permettent de donner une quantité totale de saponines présente dans les feuilles à savoir 6 à 10% (53), (54), (68).

Cependant étant donné les difficultés d'extraction, les pourcentages obtenus pour les différentes saponines sont très faibles à savoir :

- 1,23% pour la matésaponine 1.
- 0,015% pour la matésaponine 2.
- 0,01% pour la matésaponine 3.
- 0,02% pour la matésaponine 4.
- 0,05% pour la matésaponine 5.

Leurs propriétés structurales sont les suivantes :

- Ce sont toutes des bidesmosides à génine triterpénique.

- La génine est constituée d'acide ursolique (figure 26) ou d'acide oléanolique (figure 27).

- Les oses rencontrés dans leur structure sont : l'arabinose, le glucose et le rhamnose.

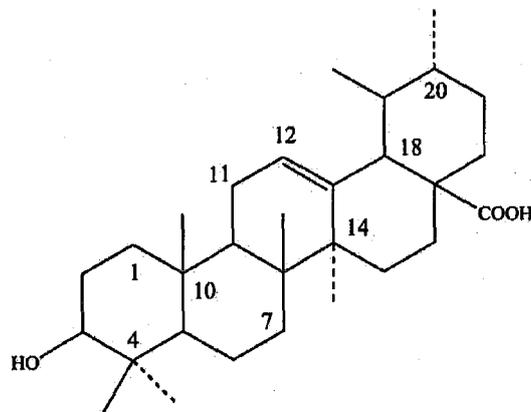


Figure 26 : L'acide ursolique (23).

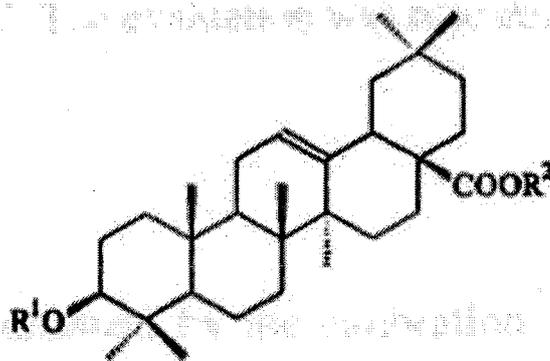


Figure 27 : L'acide oléanolique, R¹ et R²=H (48).

a. Matésaponine 1

La matésaponine 1 a été obtenue par extraction alcoolique (54).

Le résidu obtenu après évaporation du solvant est dissout de nouveau dans l'eau puis extrait successivement avec du dichlorométhane et du n-butanol.

Une chromatographie sur colonne (sur gel de silice et solution de CH_2Cl_2 -EtOH- H_2O , 8:4:0,5) permet d'isoler la matésaponine 1.

La structure chimique est ensuite caractérisée par ^1H RMN, ^{13}C RMN, pour déterminer la nature de la fonction aglycone et les oses sont identifiés par hydrolyse acide.

L'identification donne la structure suivante :

- Matésaponine 1 : acide ursolique 3-o- $[\beta$ -D-glucopyranosyl-(1-3)- α -L-arabinopyranosyl]-(28-1)- β -D-glucopyranosyl ester (figure 20).

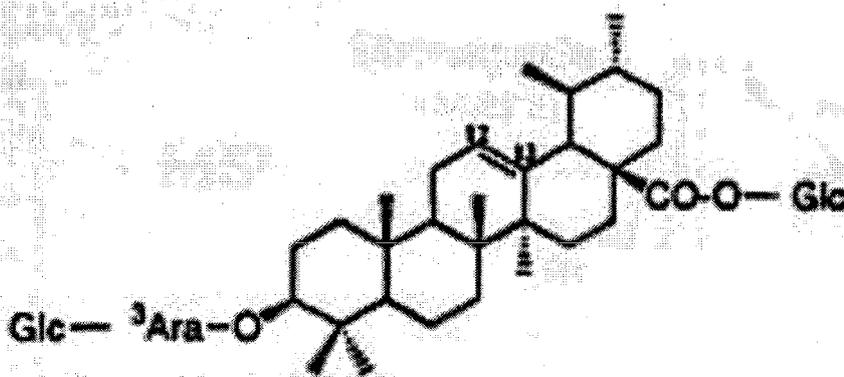


Figure 28 : Matésaponine 1 (74).

b. Matésaponine 2,3,4

Les saponines identifiées sont les suivantes :

- Matésaponine 2 : acide ursolique 3-O-[β -D-glucopyranosyl-(1-3)- α -L-rhamnopyranosyl-(1-2)]- α -L-arabinopyranosyl-(28-1)- β -D-glucopyranosyl ester.

Il s'agit du composé 1 figure 29.

- Matésaponine 3 : acide ursolique 3-O-{ β -D-glucopyranosyl-(1-3)-[α -L-arabinopyranosyl]}-(28-1)-[β -D-glucopyranosyl-(1-6)- β -D-glucopyranosyl] ester. C'est le composé 2 figure 29.

- Matésaponine 4 : acide ursolique 3-O-{ β -D-glucopyranosyl-(1-3)-[α -L-rhamnopyranosyl-(1-2)]}- α -L-arabinopyranosyl-(28-1)-[β -D-glucopyranosyl-(1-6)- β -D-glucopyranosyl] ester. Composé 3 figure 29 (53).

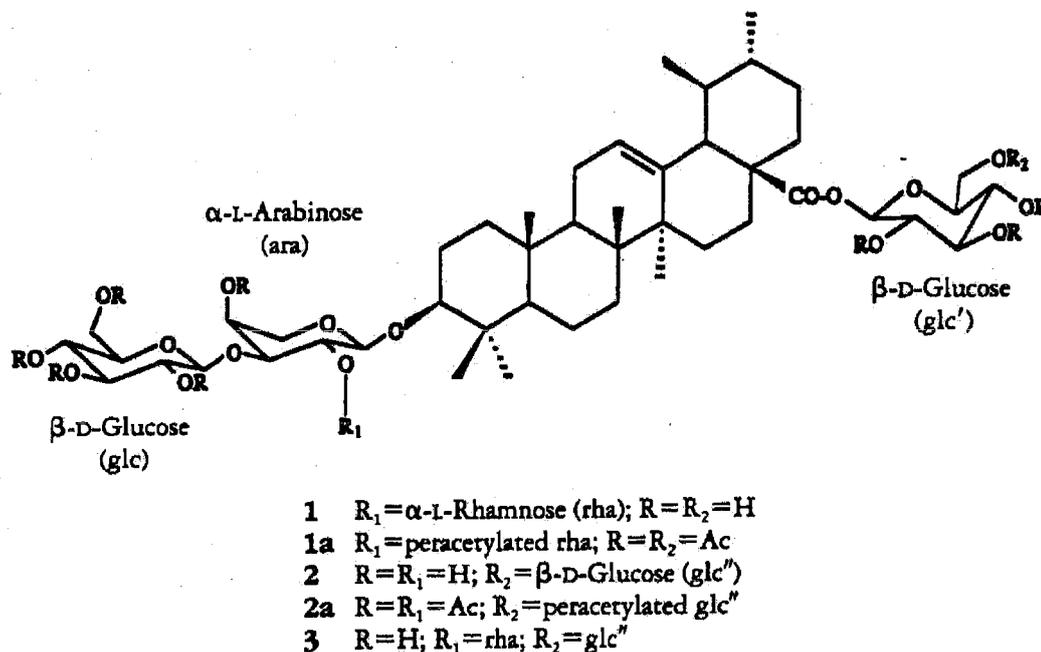


Figure 29 : Matésaponines 2,3 et 4 (Composés 1, 2 et 3) (53).

c. Matésaponine 5

Elle a été identifiée plus tardivement et également par RMN (68).

Sa structure est la suivante :

- acide ursolique 3-O- $\{\beta$ -D-glucopyranosyl-(1-3)- $[\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1-2)]- α -L-arabinopyranosyl $\}$ -(28-1)- $[\beta$ -D-glucopyranosyl-(1-4)- β -D-glucopyranosyl-(1-6)- β -D-glucopyranosyl] ester.

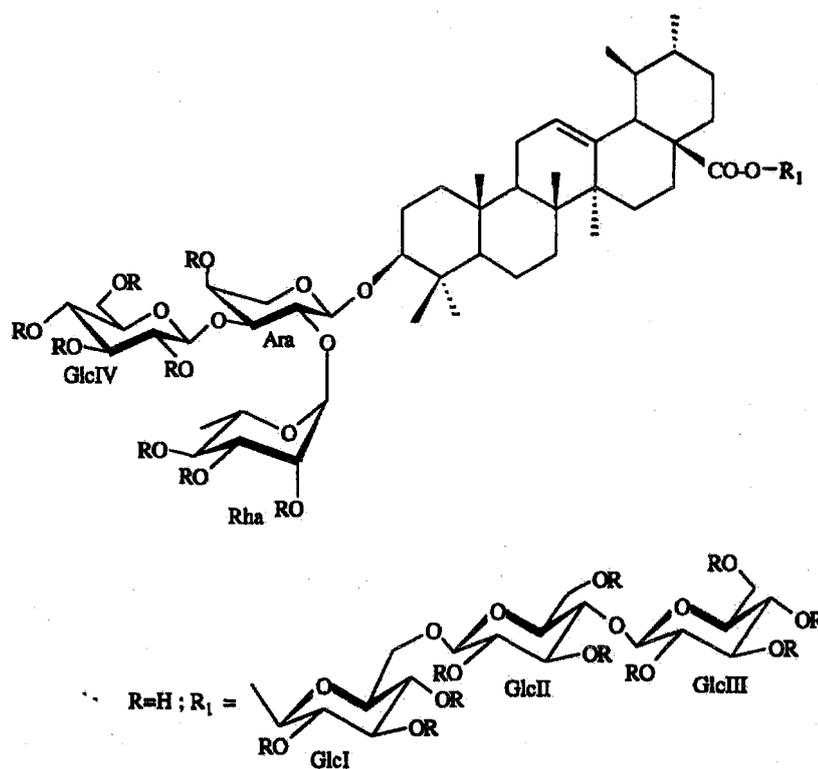


Figure 30 : Matésaponine 5 (68).

d. Matésaponines mineures

Deux saponines mineures ont été isolées à partir d'extraits méthanoliques de feuilles de Maté et caractérisées comme les autres par ^1H RMN, ^{13}C RMN, spectrométrie de masse et réactions chimiques (74).

Elles ont été identifiées comme :

- Guaiacine B : acide oléanolique 3-O-(β -D-glucopyranosyl-(1-3)- α -L-arabinopyranosyl)-(28-1)- β -D-glucopyranosyl ester ; figure 31.

- Nudicaucine C : acide oléanolique 3-O-[β -D-glucopyranosyl-(1-3)-(α -L-rhamnopyranosyl-(1-2)]- α -L-arabinopyranosyl)-(28-1)- β -D-glucopyranosyl ester ; figure 32.

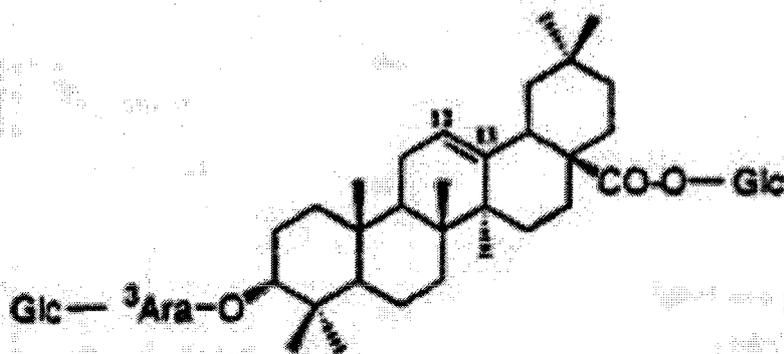


Figure 31 : Guaiacine B (74).

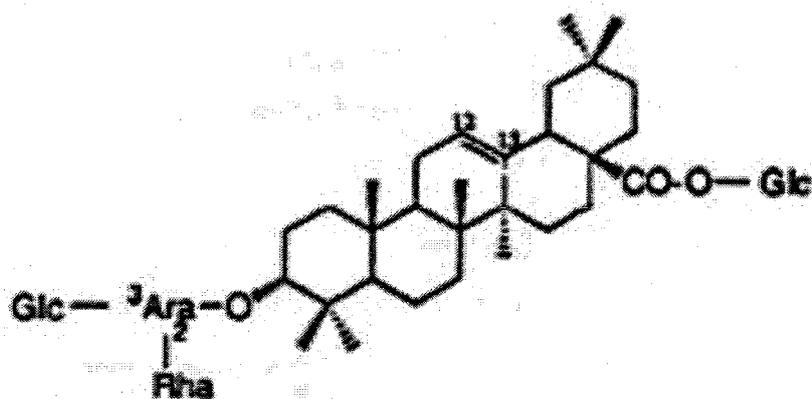


Figure 32 : Nudicaucine C (74).

Comme on peut le constater, ces deux saponines sont en fait des formes isomériques des matésaponines 1 et 2 et diffèrent uniquement par la nature de leur structure aglycone : on retrouve l'acide oléanolique à la place de l'acide ursolique.

4.2. Dans les fruits

Des saponines différentes de celles trouvées dans les feuilles ont été isolées dans les fruits d'*Ilex paraguariensis* (104).

Les fruits ont été écrasés et extraits avec de l'éthanol et de l'eau.

Le mélange hydroéthanolique obtenu est évaporé pour éliminer l'éthanol puis extrait avec du butanol.

L'évaporation de la phase organique conduit à la fraction contenant les saponines (150 g).

Une partie de ce résidu est ensuite extrait avec un mélange pétrole/EtOAc (1:1) qui donne 12 grammes de résidu sirupeux puis avec de l'acétate d'éthyle qui donne 6,5 grammes de résidu vert et avec du méthanol pour donner 68 grammes de résidu jaune.

Des chromatographies répétées du résidu obtenu par extraction avec l'acétate d'éthyle aboutit au composant 1 qui est l'acide ursolique (174 mg) et aux composants 2 et 3 identifiés comme l'acide acétylursolique (24 mg) et l'acide 23-hydroxyursolique (4mg).

Ces 3 composants sont des acides triterpéniques qui peuvent provenir de l'hydrolyse des saponines.

Le résidu méthanolique conduit après chromatographies répétées, aux composants 4, 5 et 6 qui eux sont des saponosides (figure 33).

Le composant 4 est dénommé matéside, sa formule est la suivante :

- l'acide rotundique 3 β -O- α -L-arabinopyranosyl, il s'agit d'une saponine monodesmoside à génine triterpénique.

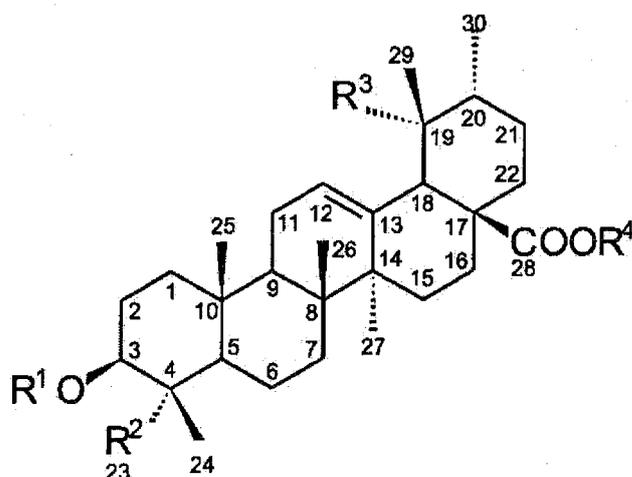
Le composant 5 ou ziyu-glycoside :

- l'acide pomolique 3 β -O-[α -L-arabinopyranosyl]-28 β -O- β -D-glucopyranosyl ester.

Le composant 6 ou ilexoside II :

- l'acide pomolique $3\beta\text{-O-}[\beta\text{-D-glucopyranosyl-(1-3)}\alpha\text{-L-arabinopyranosyl}]$ - $28\beta\text{-O-}\beta\text{-D-glucopyranosylester}$.

Les structures des saponines ont été établies par des méthodes spectroscopiques et RMN.



	R ¹	R ²	R ³	R ⁴
1	H	CH ₃	H	H
2	Ac	CH ₃	H	H
3	H	CH ₂ OH	H	H
4	$\alpha\text{-L-Ara1}\rightarrow$	CH ₂ OH	HO	H
5	$\alpha\text{-L-Ara1}\rightarrow$	CH ₃	HO	$\beta\text{-D-Glc1}\rightarrow$
6	$\beta\text{-D-Glc1}\rightarrow$	$3\alpha\text{-L-Ara1}\rightarrow$	CH ₃	HO
				$\beta\text{-D-Glc1}\rightarrow$

Figure 33 : Saponines des fruits du Maté (n°4,5 et 6) (104).

Le composant 5 a été découvert pour la première fois dans les racines de *Sanguisorba officinalis* (Rosacées), mais on le retrouve également dans d'autres espèces du genre *Ilex* comme *I. cornuta*, *I. crenata* et *I. kudincha* (feuilles).

Le composant 6 est aussi retrouvé dans les feuilles d'*I. crenata* et *I. kandincha* et plus tard dans les feuilles de *Randia formosa* (Rubiacées).

5. Les saponines des adultérants

Les adultérants du Maté sont très nombreux et leur analyse chimique reste une des seules possibilités de les différencier d'*Ilex paraguariensis*.

Une étude sur le Maté et cinq espèces adultérantes (*I. dumosa*, *I. pseudobuxus*, *I. argentina*, *I. taubertiana* et *I. theezans*) a permis de les différencier par la nature des saponines (97).

En effet, toutes les saponines extraites d'*I. theezans*, *I. pseudobuxus*, *I. argentina*, *I. taubertiana* ont comme partie aglycone l'acide 19-hydroxyursolique.

Nous avons déjà vu que toutes les saponines extraites des feuilles de *I. paraguariensis* ont comme génine l'acide ursolique ou l'acide oléanolique.

Les saponines de *Ilex dumosa*, le plus fréquent des adultérants du Maté, ont été étudiées et leur structure est bien connue (86).

La détermination des structures chimiques de ces saponines a mis en évidence qu'elles ont comme partie aglycone l'acide ursolique ou l'acide oléanolique avec une exception pour une saponine qui a l'acide 29-hydroxyursolique comme génine.

L'acide 19-hydroxyursolique n'a jamais été trouvé dans les saponines d'*I. paraguariensis*.

De plus, après avoir isolé et identifié plus de 10 saponines d'*I. dumosa* et d'*I. paraguariensis*, aucune saponine commune à ces deux espèces n'a été isolée.

Ces données, outre l'intérêt taxonomique qu'elles présentent, permettent de penser qu'il serait possible de détecter les falsifications d'*I. paraguariensis* et de développer des méthodes simples de contrôle des produits commerciaux basées sur la caractérisation des parties aglycones.

6. Evaluation gustative des saponines

L'amertume est l'un des critères de qualité pour des boissons comme le café, la bière ou le thé et elle joue également un rôle important dans la saveur du Maté.

Il a déjà été prouvé que les saponines jouent un rôle très important dans le goût du Maté de par leur pouvoir amer.

Afin d'évaluer les valeurs seuils d'amertume, la méthode du papier filtre est utilisée. Cette méthode consiste à déposer sur un papier filtre 1 µg de la fraction testée et de la faire goûter à 15 volontaires (104).

Ces volontaires doivent juger si la fraction est amère, légèrement amère ou pas amère du tout.

La valeur est définie comme seuil si 8 volontaires jugent l'échantillon amer.

Les concentrations de fraction sont augmentées de μg en μg jusqu'à trouver cette valeur seuil.

Afin de satisfaire à l'expérience, les volontaires ne doivent pas manger ou fumer une heure avant, et ont uniquement le droit de boire de l'eau.

Ceux qui prennent régulièrement un traitement médicamenteux et qui ne sont pas capables de percevoir l'amertume de 10 mg de sulfate de quinine ne sont pas admis dans l'expérience.

En comparant le pouvoir amer des saponines des feuilles d'*I. paraguariensis* avec celui des feuilles d'*I. brevicuspis*, *theezans*, *interregima* et *dumosa*, il apparaît que les saponines d'*I. paraguariensis* sont les moins amères de toutes les espèces.

Pour les saponines présentes dans les fruits du maté, le matéside présente une valeur seuil d'amertume très élevée alors que l'ilexoside II présente une valeur beaucoup plus basse et même la plus basse de toutes les saponines contenues dans *I. paraguariensis*.

Cette valeur faible s'expliquerait par la présence d'une unité glucosidique en C-28 ainsi que l'hydroxylation en C-19 et C-23 mais également par les 2 unités glucosidiques en C-3.

Ces résultats confirment la grande influence des saponines sur le goût des boissons préparées à partir du maté et que l'incorporation des fruits dans les produits commerciaux le modifierait fortement. Il n'existe aujourd'hui aucune

directive légale par rapport à la quantité de fruits pouvant être utilisée pour préparer les produits commerciaux.

Ainsi selon les saisons de récolte, les quantités de fruits sont différentes et peuvent faire varier la composition chimique du produit final qui a des conséquences physiologiques et pharmacologiques encore inconnues.

Le second point important concerne les hautes concentrations de saponines trouvées dans les feuilles d'*I. paraguariensis* et *I. dumosa* qui sont de l'ordre de 6 à 10% par rapport aux autres espèces qui en contiennent 2 à 3% (86).

Les fractions de saponines ont donc été testées en utilisant la méthode du papier filtre décrite précédemment pour connaître quelle quantité de saponines est nécessaire pour obtenir un goût amer.

Il en ressort que la quantité de saponines d'*I. dumosa* nécessaire pour obtenir un goût amer est de 20 µg alors qu'il est de 40 µg pour *I. paraguariensis*.

Ces résultats confirment que les boissons préparées avec *I. dumosa* seront plus amères que celles issues d'*I. paraguariensis*.

Ils confirment aussi l'importance des saponines sur le goût des produits du Maté d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

Les falsifications du Maté entraînent donc des produits finis plus amers aux propriétés physiologiques et pharmacologiques encore inconnues.

7. Conclusion

Tout comme pour les bases xanthiques et les acides phénols, on constate que les saponines du Maté lui sont propres ce qui est d'un intérêt important pour détecter les nombreuses falsifications.

L'autre point important concernant les saponines est leur influence sur le goût du produit fini puisqu'elles lui confèrent une amertume certaine.

Tous les produits finis partent des feuilles comme matière première mais l'incorporation de fruits permettrait de modifier leur goût puisqu'ils contiennent des saponines particulières.

V. Autres composants

1. Les composés volatils

L'analyse des composés volatils du Maté a été effectuée par chromatographie gazeuse couplée à un spectrophotomètre de masse. Cette analyse a porté sur du Maté vert d'Argentine et sur du Maté torréfié du Brésil en 1991 (67).

Un total de 196 composants a été identifié et quantifié comme on peut le voir dans le tableau V.

Parmi ces composants, 144 sont les mêmes que ceux retrouvés dans le thé provenant de *Camellia sinensis*.

Les plus hautes concentrations de composants pour le Maté vert sont trouvées pour butoxyéthanol et le linalol.

Les autres composants majeurs sont : le geranylacétone, 6-méthyl-3,5-heptadien-2-one, 6-méthyl-5-hepten-2-one, l' α et la β -ionone, l' α -terpinéol, le géraniol et le penten-3-ol. Ces 10 composants sont également des composants majeurs de *Camellia sinensis* à l'exception du butoxyéthanol ce qui laisse à penser qu'il pourrait provenir d'un produit chimique agricole ou alors qu'il serait produit lors des étapes de fabrication du Maté.

Dans le Maté torréfié, les alcools comme le linalol sont dégradés alors que les acides présents dans le Maté vert en faible quantité augmentent considérablement de même que les pyrazines, pyrroles et furanes.

Ces composés seraient formés par la réaction de Maillard pendant les étapes de torréfaction tout comme le café.

Les phénols qui sont des composants caractéristiques du Maté torréfié, sont augmentés par la torréfaction, et spécialement l'eugénol qui possède un arôme de cigarette.

La présence de ces composés expliquerait donc pourquoi la saveur du Maté ressemble partiellement à la fumée de cigarette (67).

Tableau V : Composants volatils du Maté vert et du Maté torréfié (67).

KI ^a	compound	GC peak area			KI ^a	compound	GC peak area		
		green	roast				green	roast	
788	propanal	b	0.3	d	1415	linalool oxide I (cis, furanoid)	0.8	2.2	d
864	butanal	b	c	d	1418	1-octan-3-ol	0.1	c	d
888	2-butanone	b	c	d	1420	3,5,5-trimethylcyclohex-3-en-1-one	0.2	c	d
912	3-methylbutanal	0.1	b	d	1425	heptanol	1.3	1.5	d
925	ethanol	0.1	0.2	d	1427	furfural	0.6	3.2	d
932	3-buten-2-one	b	c	d	1430	(E)-2,(Z)-4-heptadienal	0.4	0.3	d
936	2-ethylfuran	0.5	c	d	1440	linalool oxide II (trans, furanoid)	0.5	1.3	d
948	2,3-butanedione	0.1	b	d	1453	2-ethylhexan-1-ol	0.4	0.4	d
960	pentanal	0.8	0.2	d	1456	(E)-2,(E)-4-heptadienal	1.3	1.0	d
972	2-methyl-3-pentanone	b	c		1463	2-decanone	0.3	0.5	d
991	1-penten-3-one	0.4	0.3		1463	2-acetylfuran	0.3	0.5	d
1005	2-methyl-3-buten-2-ol	0.5	0.3	d	1467	decanal	0.2	c	
1012	(E)-2-butenal	0.1	c		1482	benzaldehyde	0.4	0.9	d
1012	α -pinene	b	0.1	d	1482	(E)-3,(Z)-5-octadien-2-one	0.8	0.4	d
1017	toluene	b	c	d	1486	1-acetoxy-2-propionyloxyethane	c	0.4	
1026	2,3-pentanedione	0.2	0.1	d	1491	propionic acid	0.1	0.7	d
1039	1,4-dioxane	0.2	b		1509	(E)-2-nonenal	0.3	0.2	d
1064	hexanal	1.2	0.4	d	1515	2,10,10-trimethyl-6-methylidene-1-oxaspiro[4.5]dec-7-ene	c	1.0	
1073	2-methyl-2-butenal	0.1	b		1520	(isomer of 1515)	c	1.5	
1100	β -pinene	0.3	0.2	d	1522	linalool	7.5	0.9	d
1104	(E)-2-pentenal	0.8	0.3	d	1534	octanol	1.4	1.5	d
1110	4-methyl-3-penten-2-one	b	0.1	d	1539	5-methylfurfural	0.6	4.3	d
1118	butanol	0.2	0.3	d	1539	(E)-3,(E)-5-octadien-2-one	0.4	0.8	d
1126	ethylbenzene	b	0.1	d	1548	cyclopent-2-ene-1,4-dione	0.1	0.1	d
1139	1-penten-3-ol	2.5	0.9	d	1548	6-methyl-(Z)-3,5-heptadien-2-one	c	b	d
1142	2-methyl-2-pentenal	0.5	b		1555	(E)-2,(Z)-6-nonadienal	0.1	0.1	d
1149	β -myrcene	0.2	c	d	1557	(E)-2,(E)-4-octadienal	b	c	d
1154	1-phellandrene	b	c		1561	6-methyl-(E)-3,5-heptadien-2-one	1.6	1.0	d
1158	2-heptanone	0.2	0.3	d	1570	2,6,6-trimethyl-2-hydroxycyclohexanone	1.5	1.1	d
1160	heptanal	0.4	0.3	d	1572	2-undecanone	c	0.2	d
1170	4-methyl-2,3-dihydrofuran	0.3	0.3		1573	3,7-dimethyl-1,5,7-octatrien-3-ol	0.1	c	d
1177	3-methylbutanol	b	0.3	d	1577	2-methyl-6-acetylfuran	0.1	0.4	d
1184	limonene	0.5	0.5	d	1583	undecanal	b	c	
1188	(E)-3-hexen-2-one	b	b		1583	1-methylformylpyrrole	c	0.2	d
1192	(E)-2-hexenal	1.1	0.5	d	1585	butyric acid	0.2	1.0	d
1198	1,8-cineole	b	b		1590	α ,4-dimethyl-3-cyclohexene-1-acetaldehyde	b	0.1	d
1208	ethylmethylbenzene	b	0.1	d	1594	β -cyclocitral	0.4	0.3	d
1215	2-pentylfuran	0.4	0.2	d	1596	safranal	0.2	0.2	d
1221	6-methyl-2-heptanone	0.3	0.4		1596	(E)-2-decanal	0.6	0.3	d
1231	pentanol	0.7	0.7	d	1609	phenylacetaldehyde	0.1	b	d
1242	γ -terpinene	0.2	c	d	1626	furfuryl alcohol	0.2	0.5	d
1242	3-octanone	c	b	d	1631	nonanal	b	c	d
1245	2-methyl-3-oxotetrahydrofuran	b	0.2		1631	3-methylbutanoic acid	0.1	c	d
1255	methylpyrazine	0.1	0.3	d	1632	2-methylbutanoic acid	0.1	1.0	d
1261	p-cymene	0.2	0.4		1635	4-methyl-5-hexen-4-olide	0.4	0.4	d
1268	acetoin	0.3	b	d	1649	neral	0.4	0.3	d
1273	2-octanone	0.2	0.2	d	1655	2,6,6-trimethylcyclohex-2-ene-1,4-dione	0.4	0.7	d
1278	octanal	0.4	0.3	d	1660	6,10-dimethylundecanone	0.5	0.6	d
1280	α -terpinolene	0.1	c	d	1662	α -terpineol	1.9	0.4	d
1296	(Z)-2-pentanol	0.2	0.1	d	1674	2-dodecanone	b	b	
1298	4-methylpentanol	c	0.1		1682	1-phenylpropanone	0.3	0.7	d
1302	(E)-2-pentanol	1.1	0.8	d	1682	dodecanal	b	c	
1308	2,6,6-trimethylcyclohexanone	0.2	0.3	d	1686	benzyl acetate	c	0.2	d
1308	2,5-dimethylpyrazine	0.1	0.1	d	1689	valeric acid	0.3	0.8	d
1313	2,6-dimethylpyrazine	b	0.2	d	1698	geraniol	0.5	0.8	d
1317	ethylpyrazine	b	0.1	d	1698	naphthalene	0.2	0.3	d
1320	6-methyl-5-hepten-2-one	1.5	1.3	d	1698	linalool oxide III (cis, pyranoid)	c	0.7	d
1328	2,3-dimethylpyrazine	c	0.1	d	1714	1,3,5-trimethyl-2-(1,3-butadienyl)benzene	0.1	0.5	
1332	hexanol	0.3	0.4	d	1720	(E)-2-undecanal	0.5	0.2	d
1342	3,3,5-trimethylcyclohexanone	0.2	0.1		1727	linalool oxide IV (trans, pyranoid)	0.1	0.7	d
1352	6-methyl-2-heptanol	b	0.1		1730	decanol	0.4	0.2	d
1355	2-acetoxypropanal	c	0.1		1734	1-(2-furyl)-1,2-propanedione	b	0.2	d
1361	(Z)-3-hexenol	0.2	0.4	d	1739	methyl salicylate	0.2	0.8	d
1364	2-ethyl-5-methylpyrazine	c	0.1	d	1753	3-methyl-2-butenic acid	0.1	0.2	
1366	2-nonanone	0.4	0.4	d	1766	nerol	0.7	0.1	d
1368	(E)-2,(E)-4-hexadienal	0.2	0.2	d	1766	4-heptanolide	c	0.1	d
1368	nonanal	0.4	b	d	1777	(E)-2,(E)-4-decadienal	0.3	0.2	d
1371	2-butoxyethanol	9.5	1.2		1787	2-tridecanone	0.1	b	
1376	2,6,6-trimethylcyclohex-2-en-1-one	0.4	0.4	d	1807	hexanoic acid	2.8	3.2	d
1389	3-formylfuran	c	b		1812	geraniol	1.7	0.3	d
1394	2,3-dihydro-2,5-dimethylfuran	0.2	0.2	d	1815	guaiacol	0.2	0.6	d
1405	acetic acid	0.2	2.2	d	1818	α -ionone	1.5	0.7	d
1408	1,2-dichlorobenzene	c	0.2						

KI ^a	compound	GC peak area		KI ^a	compound	GC peak area			
		green	roast			green	roast		
1820	geranylacetone	3.4	1.8	d	2041	tridecanol	0.4	0.1	
1827	undecanol	0.2	0.1		2048	4-propylguaiaacol	0.1	0.2	d
1833	benzyl alcohol	0.3	0.9	d	2069	6,10,14-trimethylpentadecanone	1.3	1.7	d
1863	2-phenylethanol	c	0.2	d	2074	4-decanolide	0.1	0.1	d
1867	4-octanolide	0.2	0.2	d	2087	bovolide	0.3	0.4	d
1871	benzyl cyanide	0.1	0.1	d	2096	nonanoic acid	1.7	2.0	d
1874	2-tetradecanone	0.1	c		2099	eugenol	c	2.5	
1887	heptanoic acid	0.7	1.2	d	2105	3-ethylphenol		0.3	
1889	β -ionone	1.4	1.0	d	2115	4-ethylphenol	0.1	0.1	
1892	4-methylguaiaacol	b	c	d	2122	1,8,7-trimethylnaphthalene	b	0.1	
1920	dodecanol	0.3	0.1		2131	dihydrobovolide	0.4	0.2	d
1943	2-ethylnaphthalene	b	0.2		2134	tetradecanol	0.2	c	
1953	phenol	0.6	0.9	d	2144	2,4-dihydroxyacetophenone	c	0.2	
1957	5,8-epoxy- β -ionone	1.4	1.3	d	2149	methyl palmitate	0.2	c	d
1959	1,2-dimethylnaphthalene	c	0.2		2151	cadinol T	b	c	d
1973	1-indanone	c	0.1		2163	decanoic acid	0.8	0.6	d
1978	2-formylpyrrole	b	0.3	d	2177	phytol	0.2	0.1	d
1985	4-ethylguaiaacol	c	0.3	d	2180	1-(2,3,6-trimethylphenyl)-3-buten-2-one	c	0.2	
1989	4-nonanolide	0.2	0.2	d	2294	trans-geranic acid	0.1	0.1	d
1995	2,3-dihydro-2-methylbenzofuran	0.1	0.6		2304	isoeugenol	c	0.3	d
1995	2-pentadecanone	0.1	c		2308	dihydroactimidiolide	0.5	0.4	d
2005	nerolidol	0.3	b	d	2319	undecanoic acid	0.1	0.1	d
2008	6,10-dimethyl-3,5,9-undecatrien-2-one	0.3	0.1		2325	4-vinylphenol	0.1	c	d
2013	octanoic acid	2.8	3.5	d	2365	indole	0.2	c	d
2025	o-cresol	0.6	0.5	d	2500	dodecanoic acid	0.1	0.1	d
2031	m,p-cresol	0.1	0.3	d					

^aKovats index on Carbowax 20M. ^bValue less than 0.05. ^cNot detected. ^dComponents of *Camellia sinensis* tea.

Un peu plus tard, en 1993, Kubo et al. ont à nouveau étudié les composants volatils du Maté à partir de 9 échantillons de Maté provenant de différents pays d'Amérique du sud (69).

Tout comme dans l'étude précédente, ils ont trouvé plus de cent composants pour chaque échantillon analysé. Cependant, ils ont pu identifié dix composants majeurs et communs aux 9 échantillons (figure 34).

Ces composants sont les suivants :

- Le linalol (composant 1).
- l' α -ionone (composant 2).
- La β -ionone (composant 3).
- L' α -terpinéol (composant 4).
- L'acide octanoïque (composant 5).

- Le géraniol (composant 6).
- L'octanol (composant 7).
- Le nérolidol (composant 8).
- Le géranylacétone (composant 9).
- L'eugéol (composant 10).

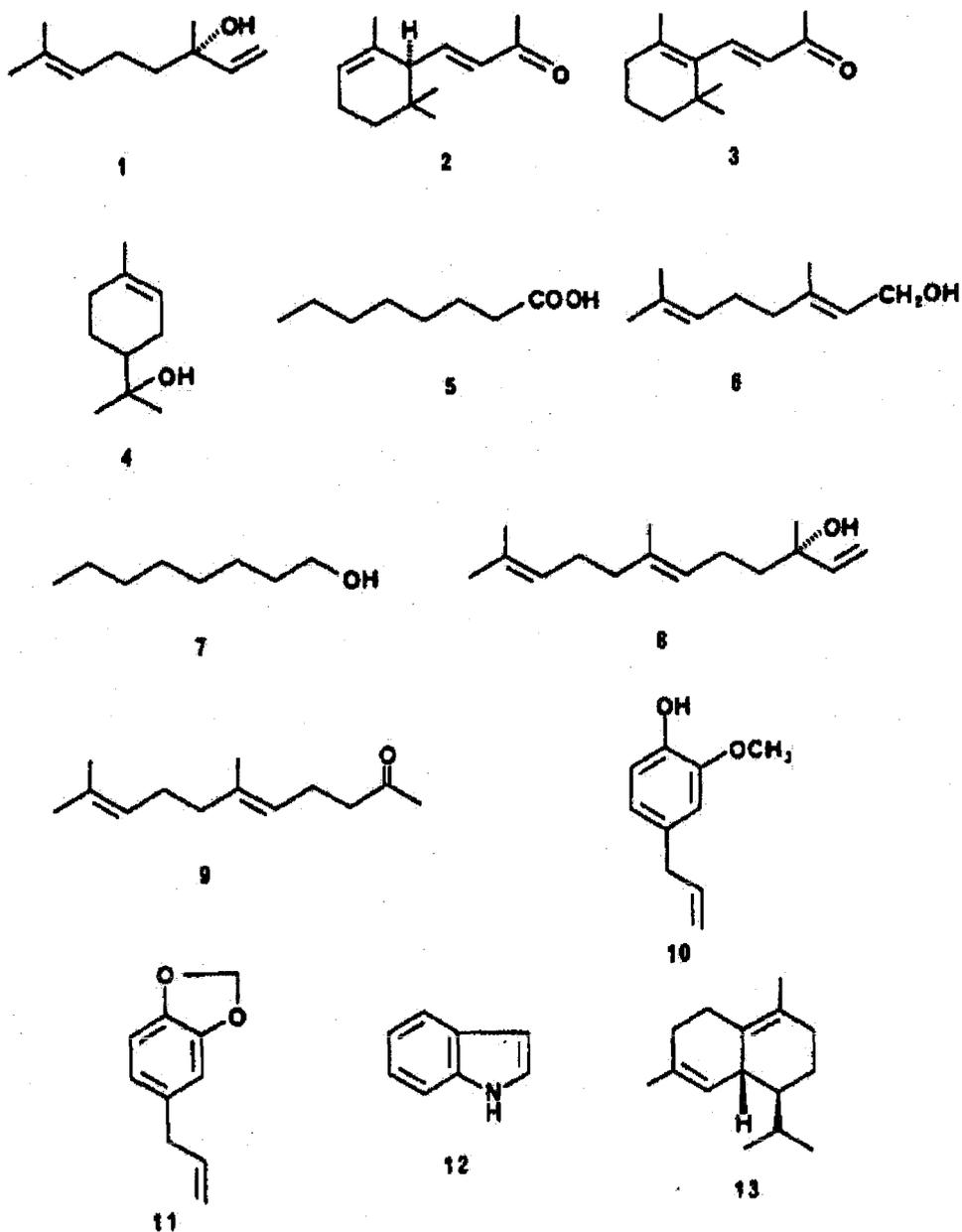


Figure 34 : Structures des 10 principaux composés volatils du Maté (69).

Malgré le haut niveau de consommation locale, l'industrie du Maté cherche à améliorer les propriétés organoleptiques et à développer des nouveaux produits comme du Maté instantané. L'intérêt avoué est de gagner de nouveaux marchés dans les pays où la consommation de Maté n'est pas habituelle. Le développement de ces nouveaux marchés est en grande partie lié à l'odeur et à la saveur des produits.

C'est pour cette raison que l'industrie du Maté a mis au point un nez électronique afin de caractériser le Maté et de pouvoir reproduire ces caractéristiques dans divers produits (55).

Le nez électronique reconnaît des modèles d'odeur et non pas des composés chimiques tout comme le système olfactif humain.

Ce nez électronique a été paramétré pour reconnaître 17 types d'odeurs et de saveurs qui ont été sélectionnés par des membres de la food technology institute.

Les 17 critères sont les suivants : turbidité, couleur verte, couleur jaune, couleur marron, odeur du Maté, odeur de fruit, douceur, âpreté, saveur typique, saveur du maté, saveur de l'infusion, saveur voisine du thé, saveur boisé, rudesse, tenue en bouche, persistance et l'astringence.

Pour l'instant, cette technologie est surtout utilisée pour mettre au point des produits commerciaux destinés à l'exportation comme des poudres instantanées (55).

2. Les éléments minéraux

L'analyse minérale du Maté a été effectuée par spectrophotométrie d'absorption atomique sur des feuilles de Maté séchées et sur une infusion (105).

Cette analyse donne les résultats suivants :

Tableau VI : Concentrations des éléments minéraux du Maté dans les feuilles séchées et en infusion (105).

	Feuilles de Maté séchées	Infusion
SODIUM	17,30 mg/100 g	15,12 mg/100 g
POTASSIUM	971,64 mg/100 g	583,85 mg/100 g
CALCIUM	724,26 mg/100 g	69,65 mg/100 g
MAGNESIUM	414,39 mg/100 g	161,71 mg/100 g
CUIVRE	1,06 mg/100 g	0,95 mg/100 g
FER	27,22 mg/100 g	3,60 mg/100 g
MANGANÈSE	86,10 mg/100 g	33,64 mg/100 g
ZINC	9,35 mg/100 g	4,18 mg/100 g

Cependant une étude plus récente a prouvé une grande disparité de ces valeurs (108).

En effet, il y a une grande différence de concentration entre les feuilles séchées et les produits commerciaux.

De même, la concentration des éléments minéraux dans les produits de consommation de grande qualité est supérieure à celle trouvée dans les produits de moins bonne qualité.

Ces différences peuvent s'expliquer par les variations climatiques et le type de sol cultivé.

Une étude réalisée par Heinrichs et al. en 2001 donne les concentrations de tous les éléments minéraux présents dans les feuilles de Maté et dans des infusions réalisées à partir de ces feuilles (tableaux VII et VIII) (61).

Tableau VII : Concentrations des éléments minéraux dans une infusion d'*I.paraguariensis* en mg.l⁻¹. (61)

Elemento	minimo	máximo	média	CV ⁽²⁾	Fração solúvel
	-----mg l ⁻¹ -----			(%)	(%)
N	9,1	12,2	11	14	1
P	32	49	41	20	65
K	619	735	683	9	75
Ca	31	58	44	30	10
Mg	168	200	188	9	55
S - SO ₄	51	69	58	17	92
B	2,02	2,38	2,22	8	99
Cu	0,16	0,44	0,28	49	45
Fe	0,31	0,35	0,33	6	2,5
Mn	31	37	34	8	55
Mo	0,02	0,04	0,03	18	-
Ni	0,05	0,31	0,20	64	150
Zn	2,14	2,38	2,25	5	80
Al	2,99	3,75	3,43	11	12
Ba	1,15	1,34	1,25	8	-
Cd	0,00	0,00	0,00	-	-
Cr	0,03	0,06	0,04	39	38
Na	2,85	3,54	3,23	10	118
Pb	0,00	0,00	0,00	-	-
Si	5,22	7,47	6,31	18	-
Sr	0,36	0,81	0,52	50	-

Tableau VIII : Concentrations des éléments minéraux dans les feuilles sèches d'*I.paraguariensis* en g.kg⁻¹. (61)

Elementos	mínimo	máximo	média	CV ⁽³⁾	café	cacau
	-----g kg ⁻¹ -----			(%)	-----g kg ⁻¹ -----	
N	15	17	16	3	29 - 32	19 - 23
P	0,8	1,2	0,9	3	1,6 - 1,9	1,5 - 1,8
K	12	14	13	2	22 - 25	17 - 20
Ca	6,0	6,6	6,3	2	13 - 15	9 - 12
Mg	4,3	5,2	4,9	2	4,0 - 4,5	4 - 7
S	0,8	1,1	0,9	6	1,5 - 2,0	1,7 - 2,0
	-----mg kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----	
B	26	37	32	6	50 - 60	30 - 40
Cu	7,6	10,7	8,9	2	11 - 14	10 - 15
Fe	103	286	185	15	100 - 130	150 - 200
Mn	655	1050	880	3	80 - 100	150 - 200
Ni	0,01	3,5	1,9	14	-	-
Zn	38	43	40	3	15 - 20	50 - 70
Al	257	616	403	8	-	-
Cd	-	-	<0,01	-	-	-
Co	-	-	<0,01	-	-	-
Cr	1,0	2,2	1,5	18	-	-
Na	16	87	39	57	-	-
Pb	-	-	<0,03	-	-	-

Cette étude a été réalisée sur 3 échantillons commerciaux de Maté qui ont une composition approximative de 70% de feuilles et 30% de brindilles.

L'analyse a été effectuée comme précédemment sur le produit commercial brut et après infusion par absorption atomique.

Si on compare les 2 études les résultats obtenus sur le produit commercial brut sont similaires pour le potassium, calcium, magnésium, cuivre et manganèse, alors que les concentrations en fer sont inférieures et celles en sodium supérieures.

Ces différences s'expliquent une nouvelle fois par les différences de composition entre les produits commerciaux, la culture et les variations climatiques.

En ce qui concerne l'analyse sur les infusions (utilisation de 70 grammes de produit brut pour un litre d'eau à 80°C) les résultats donnent les plus hautes concentrations pour le potassium, le magnésium et le manganèse comme l'étude précédente.

Beaucoup d'éléments minéraux présents dans le Maté jouent des rôles importants dans notre organisme. Le potassium et ses effets néfastes au niveau cardiovasculaire sont bien connus en cas d'hyper ou hypokaliémie.

Le manganèse joue souvent le rôle de cofacteur dans des réactions enzymatiques ou fait parfois même partie intégrante des systèmes enzymatiques.

Le chrome est essentiel au fonctionnement du facteur de tolérance du glucose.

Le Maté apparaît donc comme une source importante d'éléments minéraux alors que la majorité des aliments présentent des concentrations bien inférieures à celles du Maté.

Cependant l'état actuel des connaissances ne permet pas de définir la biodisponibilité de ces éléments ainsi que leur potentiel thérapeutique ou nutritionnel ni des effets adverses.

C'est pourquoi des études sont menées pour découvrir l'impact réel de la consommation quotidienne de Maté sur la santé humaine (61).



3. Les glucides

Ils sont également appelés hydrates de carbone en raison de leur formule générale $C_n(H_2O)_m$ et sont des composants universels des organismes vivants.

(22) (41).

On distingue classiquement :

- les oses simples ($C_n(H_2O)_m$) caractérisés par la présence d'une fonction carbonylée aldéhydrique ou cétonique et de (n-1) fonctions alcool ;

- Les osides qui résultent de la combinaison de plusieurs molécules d'oses (holosides) ou d'oses avec des composés non glucidiques (hétérosides).

Ilex paraguariensis contient 2 oses simples : le D-glucose et le D-fructose.

Il contient également 2 osides ou oligosaccharides :

- le saccharose également appelé α -D-glucopyranosyl-(1-2)- β -D-fructofuranoside qui résulte de l'association d'un fructose et d'un glucose ;

- Le raffinose ou α -D-galactopyranosyl-(1-6)- α -D-glucopyranosyl-(1-2)- β -D-fructofuranoside, association d'un glucose, d'un galactose et d'un fructose.

Le glucose et le saccharose ont été dosés dans des échantillons commerciaux de

Maté et les valeurs trouvées sont les suivantes (41) :

- pour le glucose : entre 1,30 (teneur minimale) et 6,9% (teneur maximale).

- Pour le saccharose : entre 3,6 et 6,9%.

4. Les acides aminés

Les différents acides aminés du Maté ont été isolés par chromatographie sur couche mince.

Ce sont les suivants :

- Acide aspartique, Acide glutamique, Glycine, Alanine, Tryptophane, Cystine, Arginine, Histidine, Lysine, Cystéine, Tyrosine, Valine, Leucine, Isoleucine, Thréonine, Méthionine et l'Asparagine. (16)

5. Les vitamines

Les vitamines identifiées dans le Maté sont la vitamine C (0.005%), la thiamine ou vitamine B1 (0.002%) et la pyridoxine ou vitamine B6 (0,05 pour mille) (20) (26).

6. Les autres bases

6.1. La choline

La choline a été détectée à partir d'infusions de feuilles sèches d'*Ilex paraguariensis* (29).

La présence de choline a été confirmée en 1957 dans les feuilles du Maté, mais également dans les fleurs et les graines sèches.

La méthode d'isolement consiste à laisser 2 grammes de poudre de feuilles pendant une nuit dans un mélange de HNO_3 et d' H_2O .

La solution est ensuite distillée durant 3 heures puis refroidie et diluée avec une solution d'eau neutralisée par du carbonate de calcium.

20 ml d'une solution de $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ sont ajoutés puis 10 gr. de carbonate de calcium.

Après plusieurs filtrations et concentrations successives le résidu contient au mieux 0,05 à 0,2 mg de trigonelline.

Le dosage est réalisé après précipitation dans une solution d'iodure de potassium, refroidissement à 4°C et centrifugation.

Le précipité obtenu est dissout dans de l'éthanol et dosé avec du $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (13).

6.2. *La trigonelline*

L'existence de la trigonelline dans les feuilles de Maté a été établie en 1947 (25).

Les feuilles de Maté sont hydratées avec NH_4OH pour libérer les alcaloïdes, puis séchées et traitées successivement avec du pétrole et du chloroforme pour enlever les graisses, la caféine et la théobromine, puis par de l'eau dans un appareil de Soxhlet. L'extrait aqueux est ensuite traité avec de l'acétate de plomb, filtré, dilué avec H_2S et décoloré avec une solution de permanganate de potassium qui détruit également les résines.

La trigonelline est précipitée sous forme de phosphotungstate qui est dissout dans NaOH puis titré de façon iodométrique.

Les feuilles de Maté contiennent donc de la trigonelline à une teneur de 0,49 à 0,51%.

VI. Conclusion

La composition chimique des feuilles de Maté met en évidence des particularités propres à *Ilex paraguariensis* qui permettent de dresser une sorte de carte d'identité et ainsi de le différencier facilement des falsifiants.

Ces connaissances pourraient permettre de mettre en place facilement des contrôles sur les matières premières afin d'éviter la vente de Maté commerciaux préparés avec des falsifiants.

Une étude a même mis au point une technique de classification des différents *Ilex* qui emploie la RMN et qui est basée sur l'empreinte des métabolites présents dans les feuilles (23). Les métabolites qui permettent la classification sont l'arbutine, la caféine, la théobromine et les acides phénols.

On a comme on l'a déjà dit, le taux le plus élevé en acides phénols et en caféine chez *Ilex paraguariensis* et un taux plus bas voir nul chez les autres *Ilex*.

L'arbutine quand à elle qui n'est pas présente chez l'*Ilex paraguariensis* s'avère être un biomarqueur pour de nombreux falsifiants (*Ilex argentina*, *Ilex brasiliensis*, *Ilex brevicuspsis*, *Ilex integerrima*, *Ilex microdonta*, *Ilex pseudobuxus*, *Ilex taubertiana* et *Ilex theezans*) (5).

Le tableau récapitulatif qui suit donne les principaux constituants de l'*Ilex paraguariensis* ainsi que leurs concentrations.

Tableau IX : Principaux constituants de *Ilex paraguariensis*.

COMPOSANTS	QUANTITE
Acides phénols	10%
Saponines	6 à 10%
Caféine	0,3 à 1,7%
Théobromine	0,1 à 0,5%

Troisième partie :

Etude pharmacologique

I. Introduction

Des études pharmacologiques et surtout des essais cliniques ont montré que l'*Ilex paraguariensis* possède, en plus d'une action tonique, stimulante, diurétique et anti-hypertensive, des effets anti-oxydants. On a également observé des effets cholérétiques, cardio-protecteurs et aussi une action amaigrissante chez des patients en surpoids (4) (52).

Toutes ces propriétés thérapeutiques sont liées à la présence d'un certain nombre de composés appartenant à des classes chimiques différentes telles que les purines ou méthylxanthines (de par sa teneur en caféine, l'*Ilex paraguariensis* constitue la principale alternative au café ou au thé), les acides phénoliques (acides chlorogéniques et ses dérivés), les flavonoïdes (quercétine, rutine, kaempférol) et les saponines (57).

II. Action stimulante

1. La caféine

Les propriétés stimulantes pour lesquelles les feuilles d'*Ilex paraguariensis* sont utilisées sont liées à leur teneur en bases xanthiques et plus particulièrement en caféine.

En effet, le Maté constitue la première source de méthylxanthines (caféine, théophylline, théobromine) dans le régime alimentaire des différentes

populations d'Amérique du Sud, les feuilles de Maté contenant environ 0,3 à 1,72% de caféine (64) (79) (119).

D'un point de vue pharmacologique, la caféine va agir principalement au niveau du système nerveux central, plus précisément, c'est un stimulant cortical qui stimule l'état d'éveil, facilite l'idéation et diminue la sensation de fatigue (13).

Suite à l'absorption de Maté, l'effet stimulant et anti-fatigue de la caféine est initialement moindre qu'avec le café mais son effet croît rapidement et devient même supérieur à celui observé avec les autres boissons contenant de la caféine ; de plus, son action dure plus longtemps de par un effet d'accumulation dans l'organisme (110).

2. La théophylline

Tout comme la caféine, la théophylline est psychostimulante, cependant, elle n'est présente dans le Maté qu'à l'état de traces et n'est pas quantifiable : aucune action stimulante ne lui est attribuée suite à la prise de Maté (111).

Mais l'action stimulante du système nerveux central connue depuis longtemps est loin d'être la plus intéressante ; en effet peu d'études pharmacologiques *in vivo* traitent de cet effet suite à l'ingestion de Maté.

III. Action amaigrissante

1. Les méthylxanthines

1.1. La lipolyse

Les méthylxanthines sont capables de stimuler le phénomène de lipolyse *in vivo* : les premières études réalisées au début des années 80 ont montré qu'une administration de 4 à 8 mg/kg de caféine chez des sujets sains ou obèses s'accompagnait d'une élévation de la concentration en acides gras libres dans le plasma, preuve d'une activation de la lipolyse (121). C'est pourquoi le Maté entre dans la composition de certains compléments alimentaires utilisés chez des patients en surpoids, en association avec d'autres substances, afin de favoriser la perte de graisse du tissu adipeux tout en préservant la masse musculaire.

1.2. Le mécanisme lipolytique

La lipolyse est le résultat de l'inhibition de la phosphodiesterase, entraînant ainsi une accumulation d'AMPc (adénosine monophosphate cyclique). L'AMPc est aussi appelé second messenger, il est formé suite à une activation, par des hormones polypeptidiques ou par certains neuromédiateurs, de récepteurs membranaires ; il en résulte une stimulation de l'adénylcyclase ce qui accroît sa synthèse à partir d'ATP (adénosine triphosphate). L'AMPc phosphoryle, et par là même active, de nombreuses enzymes protéiques dites « kinases » ce qui déclenche les différentes réponses physiologiques de la cellule (contraction

musculaire, sécrétion, glycogénolyse, lipolyse...). La dégradation de l'AMPc est contrôlée par la phosphodiesterase : ainsi sous l'effet inhibiteur des bases xanthiques, l'AMPc va s'accumuler, d'où une augmentation de la réponse cellulaire, avec augmentation de la lipolyse (figure 35).

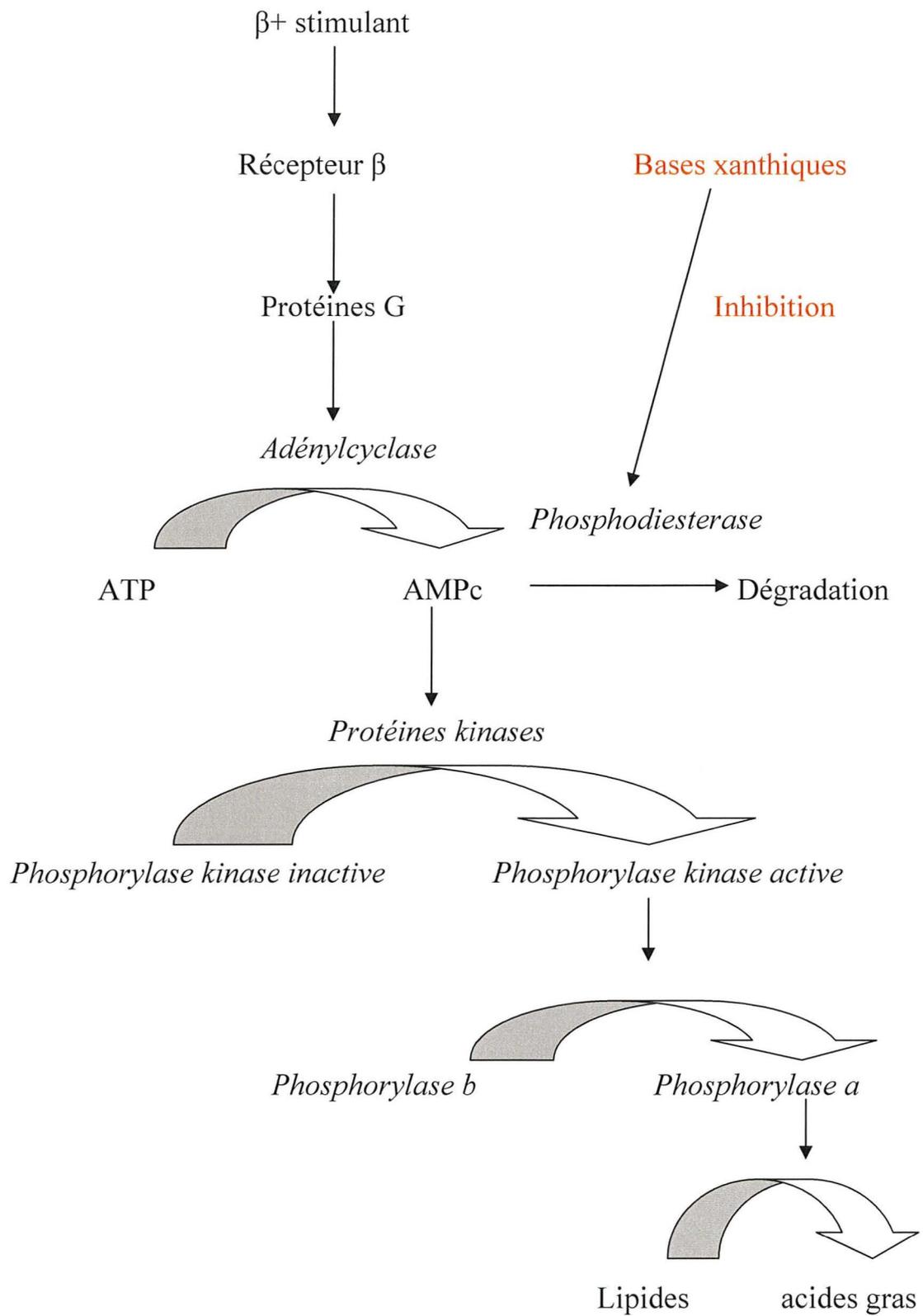


Figure 35 : biosynthèse et dégradation de l'AMPc (81).

Dans d'autres cas, l'activation du récepteur membranaire entraîne une augmentation du calcium intracellulaire. C'est le cas de la caféine qui interfère avec les mouvements calciques intracellulaires; en effet, elle entraîne une augmentation de la concentration cytoplasmique en ions Ca^{2+} , ce qui va constituer le signal intracellulaire ou second messenger (14).

1.3. L'effet thermogénique

Une des stratégies actuelles pour combattre l'obésité consiste en l'utilisation de drogues thermogéniques capables d'augmenter les dépenses énergétiques en brûlant les calories. En effet, des études chez l'homme ont révélé une défaillance de la réponse thermogénique induite suite à la prise d'aliments chez 1/3 des individus obèses (65); de plus, cette réponse serait en relation avec une augmentation de l'activité du système nerveux sympathique, celle-ci étant diminuée chez les personnes en surpoids (1). Il est possible d'évaluer le degré d'efficacité de ces drogues thermogéniques en analysant l'activité cardiaque, la tension artérielle, la capacité respiratoire et la température corporelle qui, par leurs fluctuations, vont être le reflet de cet effet (121).

Il semble que l'action combinée de la caféine et des saponines permette en partie d'expliquer le potentiel thermogénique et lipolytique du Maté, bien que le mode d'action pharmacologique de ces composés sur la perte de poids reste encore mal connu.

Dans une étude clinique menée en double aveugle chez 40 femmes et 57 hommes sains, non obèses, l'administration d'un extrait sec de Maté accompagné d'un repas riche en sucres a révélé, au bout de 3 heures, un effet thermogénique significatif visible à travers des paramètres pré-établis comme la capacité respiratoire et le rythme cardiaque qui se trouvent diminués (figure 36). En comparant ces résultats à ceux obtenus dans cette même étude avec le placebo et 12 autres plantes ayant des vertus amincissantes et commercialisées en Europe (*Ephedra sinica*, *Camellia sinensis*, *Fucus vesiculosus*...), il en ressort que seul l'*Ilex paraguariensis* a un réel potentiel d'activité anti-obésité, mais encore faudrait-il vérifier ces résultats lors une utilisation chronique du Maté (73).

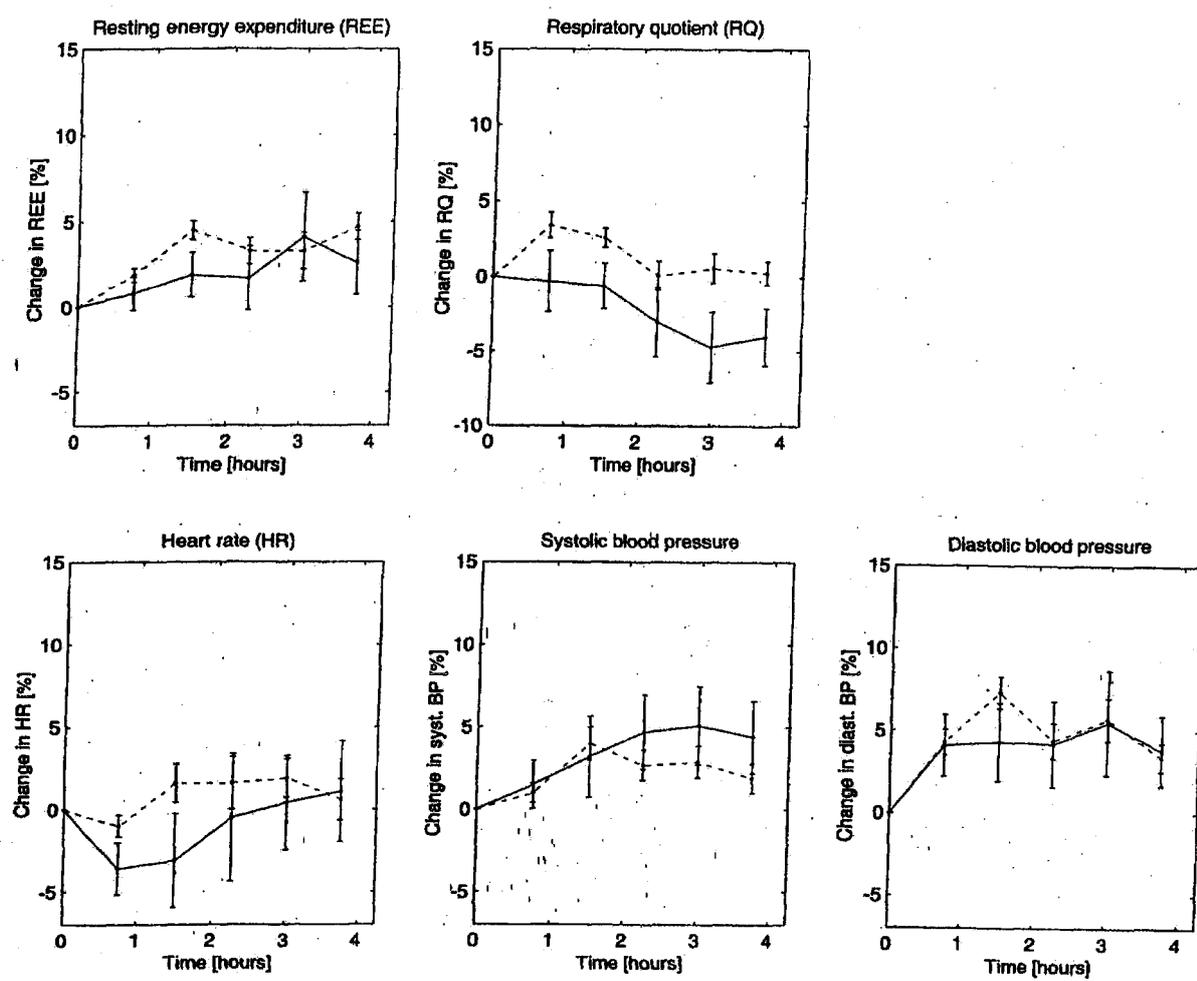


Figure 36 : Variations des paramètres métaboliques et cardiovasculaires en présence d'extraits d'*I. paraguariensis* (-) en fonction du temps par rapport au placebo (---) (73).

1.4. Le mécanisme de la thermogénèse

De nouvelles études sont nécessaires afin de comprendre le mécanisme exact de la caféine et des saponines du Maté dans ce phénomène de thermogénèse car il semblerait que la caféine seule n'est pas capable de produire l'effet thermogène recherché dans le traitement de l'obésité et que d'autres substances comme les polyphénols, en association avec la caféine agiraient en stimulant le système nerveux sympathique (SNS) impliqué dans ce mécanisme de dépense énergétique et ceci en inhibant la Catechol-O-méthyl Transférase, enzyme responsable de la dégradation de la norépinéphrine : cette stimulation du SNS résulte d'une accumulation de ce neuromédiateur (121).

2. La vidange gastrique

Une préparation appelée « YGD » contenant du Maté, du Guarana et du Damiana, permet, d'après une étude réalisée par Andersen et Fogh, d'obtenir une perte de poids significative en 45 jours chez des patients en surpoids et ceci par un double mécanisme : ralentissement de la vidange gastrique et sensation de satiété augmentée. En effet, il semblerait que la vidange gastrique soit plus rapide chez les sujets obèses et donc la sensation de faim apparaîtrait plus rapidement ; cette préparation pourrait alors être une nouvelle méthode pour faciliter la perte de poids chez ces personnes (4) (112).

Là encore, il s'agit d'une observation clinique chez l'homme et pour le moment, le manque de données expérimentales ne permet pas de dire quelle molécule est à l'origine de cet effet.

IV. Action anti-oxydante

On a étudié *in vitro* l'effet anti-oxydant d'extraits aqueux d'*Ilex paraguariensis* sur des microsomes hépatiques et des érythrocytes de rats, les lipides membranaires étant sensibles à l'oxydation en raison de leur fort degré d'insaturation et de leur association, au sein de la membrane, avec des systèmes enzymatiques ou non enzymatiques capables de générer des radicaux libres. L'incubation de ces microsomes avec les systèmes FeSO₄/ascorbate ou CCl₄/NADPH et l'incubation d'érythrocytes en présence de H₂O₂ à pH 7,4 provoque une rapide peroxydation lipidique (détectable par une méthode utilisant l'acide thiobarbiturique). En présence d'*Ilex paraguariensis*, on observe une inhibition dose-dépendante de cette peroxydation et à des concentrations de l'ordre du microgramme (figure 37) (99).

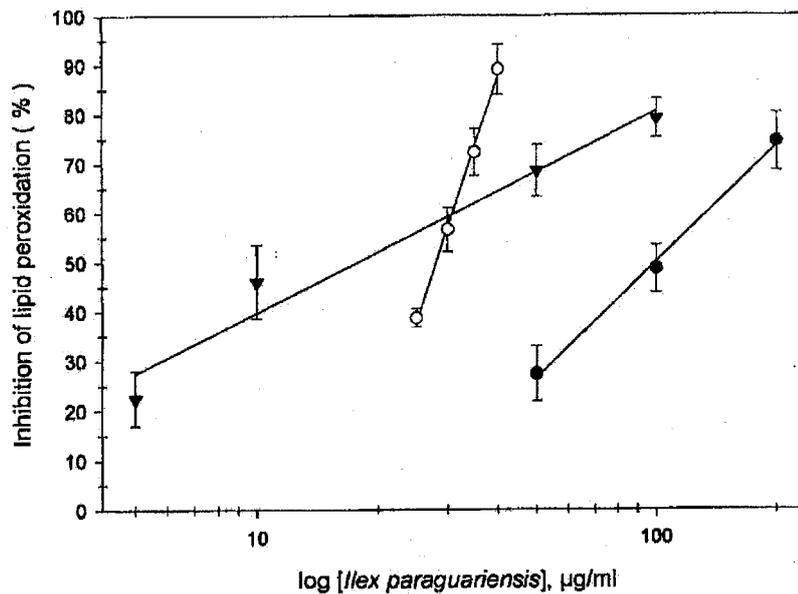


Figure 37 : inhibition de la peroxydation lipidique par *I. paraguariensis* sur des microsomes de foie de rat oxydés par Fe^{2+} /ascorbate (○) ou $\text{CCl}_4/\text{NADPH}$ (▼) et sur des érythrocytes de rat oxydés avec H_2O_2 (●) (99).

On a également détecté une activité scavenger d'*Ilex paraguariensis* vis-à-vis de différents radicaux libres et notamment de l'anion superoxyde généré par le système xanthine-xanthine oxydase. Cependant aucune action scavenger n'a été trouvée sur le radical hydroxyle généré *in vitro* par le système $\text{FeCl}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ -EDTA-ascorbate (99).

Une expérience menée par G.Shinella (98) montre que le Maté est un cardioprotecteur et plus précisément un protecteur du myocarde contre les dégâts causés par les radicaux libres de l'oxygène lors d'une reperfusion suite à une ischémie provoquée sur un cœur de rat isolé.

Dans cette étude, L'ischémie dure 20 minutes, elle est suivie d'une reperfusion de 30 minutes, et le cœur reçoit une dose de $30\mu\text{g/ml}$ d'extrait aqueux d'*Ilex paraguariensis* 10 minutes avant l'ischémie et pendant les 10 premières minutes

de reperfusion. L'oxydation lipidique est mesurée par une méthode qui utilise l'acide thiobarbiturique et on s'aperçoit que cette oxydation lors de la reperfusion diminue en présence d'*Ilex paraguariensis*.

Le cœur a un grand besoin d'oxygène et il est sujet au stress oxydatif: la formation de radicaux libres augmente dès le début de la reperfusion et cette augmentation est proportionnelle à la durée et l'importance de l'ischémie qui a affaibli les défenses anti-oxydantes ; il en résulte un taux élevé de H₂O₂ qui va générer le radical hydroxyle destructeur.

Ce stress oxydatif va entraîner une peroxydation lipidique et une oxydation de groupes thiols, le tout pouvant provoquer l'apoptose et la nécrose. Il va y avoir, sous l'effet antioxydant du Maté, une diminution du stress oxydant au niveau cardiaque permettant de limiter les conséquences destructrices de l'ischémie (98).

L'ADN est également la cible du stress oxydant : une oxydation induite *in vitro* chez *Saccharomyces cerevisiae* par le peroxyde d'hydrogène est capable de provoquer une rupture des deux brins d'ADN et d'entraîner la mort cellulaire. Il s'est avéré qu'en présence d'*Ilex paraguariensis* (infusion), l'apoptose et les ruptures double-brin provoquées par H₂O₂ chez la levure sont quantitativement réduits (12).

De nombreuses substances provenant de l'alimentation, et principalement des plantes permettent de protéger notre organisme contre les différents dommages occasionnés par les radicaux libres de l'oxygène produits dans certaines

conditions pathologiques telles que le diabète et l'athérosclérose ; c'est dans ce sens que l'on s'intéresse de plus en plus aux polyphénols. On va retrouver deux groupes de polyphénols dans le Maté : les acides phénoliques (exemple : l'acide chlorogénique et les dicaféoylquinique) et les flavonoïdes (quercétine, rutine, kaempférol).

1. Les acides phénoliques

L'activité anti-oxydante de *Ilex paraguariensis* serait liée à sa teneur en acides phénoliques et plus précisément en dérivés caféoyl (45).

En comparant l'activité anti-oxydante de *Ilex paraguariensis* avec celle des espèces falsifiantes (*Ilex theezans*, *Ilex dumosa*, *Ilex argentina*, *Ilex brevicuspis*, *Ilex pseudobuxus*) par une méthode qui consiste à observer l'oxydation de liposomes en présence et en l'absence d'*Ilex*, on peut s'apercevoir que cette activité est proportionnelle à leur teneur en dérivés caféoyl (tableau X) : l'*Ilex paraguariensis* possède la plus grande activité anti-oxydante et également la plus grande concentration en dérivés caféoyl (environ 10g pour 100g de plante sèche) (45).

Tableau X : Activité anti-oxydante et teneur en dérivés caféoyl dans des extraits d'*Ilex* (44) (45).

ESPECE D' <i>ILEX</i>	ACTIVITE ANTI-OXYDANTE (mM trolox)	TENEUR EN DERIVES CAFELOYL (g/100g de plante sèche)
<i>I.paraguariensis</i>	18,5	9,6
<i>I.argentina</i>	3,42	0,72
<i>I.brevicuspis</i>	7,78	1,9
<i>I.theezans</i>	1,50	0,16
<i>I.dumosa</i>	1,85	0,28
<i>I.pseudobuxus</i>	6,44	0,67

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) sont connues pour avoir un rôle dans différentes pathologies telles que l'arthrite rhumatoïde, le diabète et certaines maladies cardiovasculaires ou neurodégénératives.

Normalement, des enzymes telles que les peroxydases éliminent ces ROS et des basses concentrations de ces enzymes vont être impliquées dans des maladies comme le cancer ou les pathologies cardiovasculaires.

L'*Ilex paraguariensis*, de par son pouvoir scavenger antioxydant, a une activité peroxydase-like que l'on peut relier à sa teneur en polyphénols et plus précisément en dérivés caféoyls.

Une récente étude qui utilise plusieurs extraits aqueux d'*Ilex paraguariensis* de concentrations différentes incubés en présence de réactifs tels que H₂O₂ afin de

déterminer l'activité peroxydase-like montre que cette activité est plus grande pour l'*Ilex paraguariensis* que pour les Maté commerciaux (Yerba Maté) obtenus après divers traitements (sapecado...).

On peut penser que la présence d'espèces falsifiantes, avec des teneurs inférieures en polyphénols, dans le Yerba Maté peut être responsable d'une activité peroxydase-like plus faible. Les différents traitements subis par la feuille d'*I. paraguariensis* avant de devenir le Yerba Maté peuvent-ils affecter la teneur en polyphénols et diminuer par la suite cette activité peroxydase-like ? Aucune donnée expérimentale ne traite de ce sujet mais ces deux hypothèses pourraient expliquer cette diminution d'effet.

Si l'on compare par spectrophotométrie les teneurs en polyphénols totaux, en acide chlorogénique et en acide caféique (tableau XI), on s'aperçoit qu'elles sont plus élevées chez *Ilex paraguariensis* ce qui le rend plus efficace en terme d'action anti-oxydante que le Yerba Maté (2).

Tableau XI : Comparaison des teneurs en polyphénols entre *I. paraguariensis* et le Yerba Maté en g/100 g. de plante sèche (2).

Compounds	<i>Ilex paraguariensis</i>	Yerba Mate
Total polyphenol contents	10.71 ± 0.40	6.89 ± 0.29*
Chlorogenic acid	2.80 ± 0.30	1.98 ± 0.37**
Caffeic acid	0.023 ± 0.004 ^a	0.020 ± 0.003***

La capacité de l'acide chlorogénique et l'acide caféique à éliminer H₂O₂ définie par la EC₅₀ (concentration d'extrait qui permet une diminution de l'activité de H₂O₂ de 50%), a été analysée *in vitro* et il se trouve que ces deux composés ont une activité peroxydase-like, avec cependant une plus forte activité pour l'acide caféique qui a une EC₅₀ plus basse (environ 98,6µg/ml contre 676µg/ml pour l'acide chlorogénique) (Tableau XII, figure 38).

Tableau XII : Comparaison des EC₅₀ (µg/ml) des acides chlorogénique et caféique (2).

Compounds	EC ₅₀ (µg/ml)
Chlorogenic acid	676 ± 60
Caffeic acid	98.62 ± 5.0*

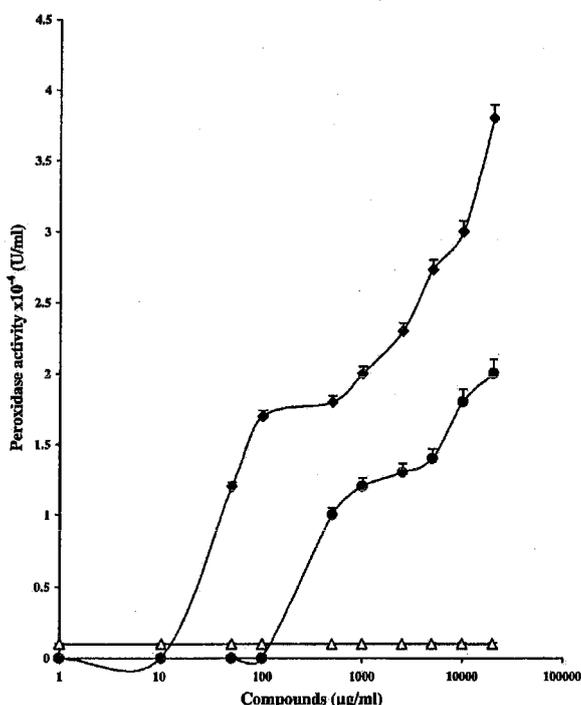


Figure 38 : Activité peroxydase-like de l'acide chlorogénique (●), de l'acide caféique (◆) et de la caféine (Δ) (2).

2. Les flavonoïdes

Il a été également démontré que les extraits aqueux d'*Ilex paraguariensis* provoquent une diminution dose-dépendante de l'oxydation des LDL (low-density lipoproteine) humaines aussi bien *in vivo* que *in vitro*, à des concentrations comprises entre 7,5µg/ml et 37,5µg/ml et ceci avec un potentiel comparable à celui de l'acide ascorbique (vitamine C) (59).

L'oxydation des LDL, en entraînant l'augmentation de leur accumulation au niveau de la tunique interne des vaisseaux, est un phénomène qui intervient dans la pathogenèse de l'athérosclérose (figure 39) et le Maté, en inhibant cette oxydation, aurait donc un intérêt tout particulier dans le traitement de cette pathologie. La présence de rutine, quercétine et de kaempférol sous formes libres ou glycosylées pourrait être à l'origine de cette activité: des études épidémiologiques chez l'homme montre qu'un régime alimentaire riche en flavonoïdes va diminuer le risque de mortalité liée à la maladie coronaire ; ceci s'explique par l'inhibition de l'oxydation des LDL et également par une diminution de l'agrégation plaquettaire (45) (57).

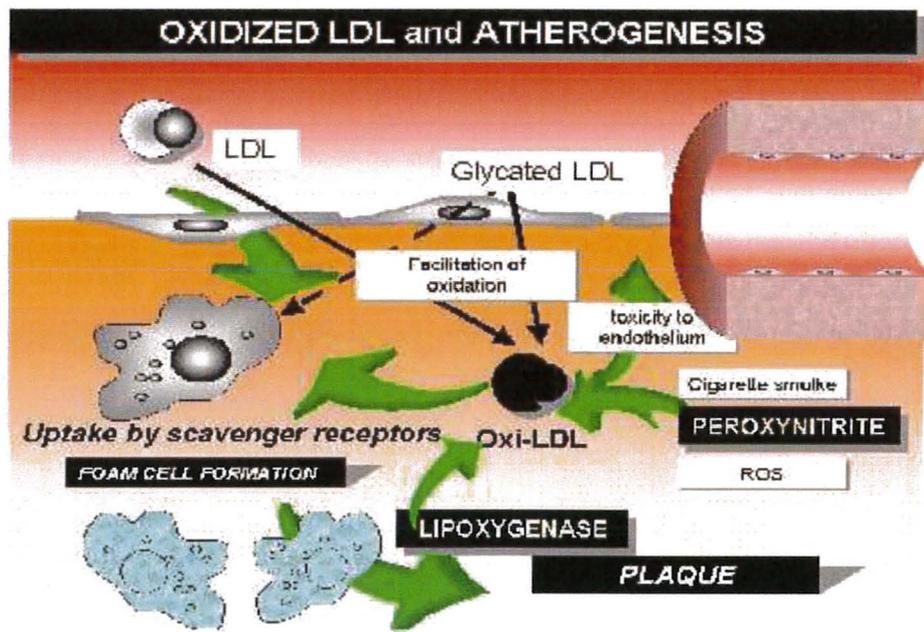


Figure 39 : Mécanisme de l'athérosclérose (57).

La quercétine, qui possède une activité scavenger vis-à-vis des radicaux libres et agit également contre la peroxydation des lipides, pourrait avoir une action de relaxation sur les artères par un mécanisme de libération de NO (oxyde nitrique); ces propriétés font que les flavonoïdes sont utilisés dans le traitement des dommages de l'endothélium vasculaire, des varices, et des problèmes de circulation veineuse (79).

Le NO connu pour ses propriétés vasodilatatrices peut réagir avec le radical superoxyde et former le peroxydinitrite responsable de la peroxydation lipidique, de la nitration de protéines et de dommages sur l'ADN. En conséquence, les cellules endothéliales ou neuronales qui expriment la NO synthase, vont être des sites favorables à la formation de peroxydinitrite. Les flavonoïdes issus du Maté,

de par leur action scavenger anti-oxydante et leur capacité à stimuler la production de NO sont donc intéressants à étudier si l'on fait le lien avec des pathologies comme l'athérosclérose (9) (79).

Une étude réalisée en 2005 montre que des extraits d'*Ilex paraguariensis* sont capables d'inhiber la nitration des protéines (serumalbumine bovine) et de protéger des cellules de mammifères contre l'action cytotoxique du peroxy-nitrite ; de plus, on a comparé les résultats obtenus avec les infusions de Maté (50g de feuilles par litre d'eau) avec ceux obtenus en utilisant du vin ou des infusions de *Camellia sinensis* (thé vert, 5g/200ml d'eau) tous étant riches en polyphénols et plus particulièrement en flavonoïdes.

L'activité scavenger de chacun est déterminée *in vitro* par la capacité à atténuer l'action d'un radical nommé DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) et cette activité est visible par un changement dans l'absorbance à 517nm ; l'inhibition de la nitration de la serumalbumine par le peroxy-nitrite est déterminée par la présence de la 3-nitrotyrosine (biomarqueur) décelée par Western Blot. Parmi les dilutions au 1/10 préparées extemporanément pour l'*Ilex paraguariensis*, le thé vert, le thé noir et plusieurs vins blancs ou rouges, on s'aperçoit que le Maté, qui possède la plus grande concentration en polyphénols, présente l'activité scavenger la plus forte (figure 40).

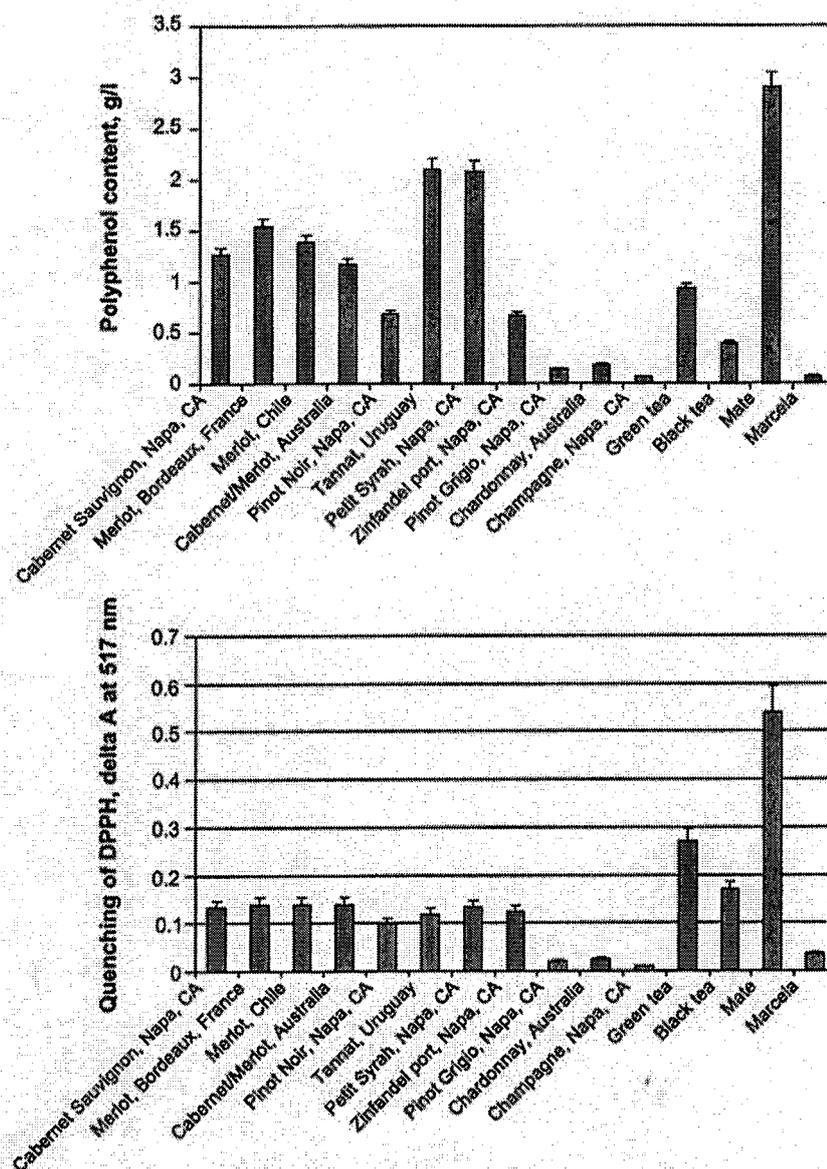


Figure 40 : Corrélation entre la teneur en polyphénols (en g/l) et l'activité scavenger vis-à-vis du radical DPPH (9).

De plus, l'inhibition de la nitration de la serumalbumine bovine *in vitro* sous l'effet du peroxy-nitrite est dose-dépendante : des dilutions faibles (1/750) d'*Ilex paraguariensis* sont capables d'inhiber 95% de cette nitration (avec le thé vert, on obtient une inhibition de l'ordre de 30%).

En incubant des cellules de mammifères (macrophages) en présence d'un générateur de NO et de superoxyde appelé SIN-1, on observe de profondes détériorations cellulaires, des dommages nucléaires et des modifications protéiques. Si l'incubation se fait en présence d'*Ilex paraguariensis* dilué (1/500) ou de vin à la même dilution, les cellules ne subissent aucune modification visible par rapport au témoin (avec cependant une plus grande capacité de protection de *Ilex paraguariensis*).

Comme l'ensemble des études sur les boissons contenant des flavonoïdes, l'extrapolation des études *in vitro* à des résultats chez l'homme est difficile. Cependant la grande capacité du Maté à agir contre le stress oxydant semble être reliée à la teneur en flavonoïdes (9).

3. Le mécanisme anti-radicalaire

Les polyphénols et les flavonoïdes de l'*Ilex paraguariensis* sont absorbés et atteignent un taux suffisant dans le plasma pour inhiber l'oxydation des LDL. Les flavonoïdes sont absorbés au niveau du tube digestif, agissent par une action scavenger vis-à-vis des radicaux libres, ce qui va inhiber la peroxydation lipidique, puis sont éliminés soit tels quels soit sous forme de métabolites par les urines ou les fécès (57).

Il a été montré que les polyphénols sont présents dans l'organisme sous forme de métabolites libres ou méthylés, glucurono-conjugués et sulfo-conjugués ; seuls les métabolites libres auraient une action anti-oxydante.

De plus, cette action serait liée aux propriétés réductrices des dérivés caféoyl. Trois mécanismes pourraient être à l'origine de l'activité anti-oxydante des polyphénols : l'action scavenger vis-à-vis des radicaux libres, le blocage de la propagation de l'oxydation lipidique, et la chélation des métaux oxydants (Fer). L'action la plus probable serait l'action scavenger vis-à-vis des radicaux peroxy, en amont de l'initiation de l'oxydation lipidique (45).

V. Action cholérétique et stimulante au niveau intestinal

1. Les acides phénoliques

Le Maté est traditionnellement utilisé en tant qu'agent eupeptique et cholérétique et permet ainsi d'améliorer le confort gastro-intestinal. En effet, les acides mono et dicaféoylquiniques de l'*Ilex paraguariensis* ont des propriétés cholérétiques, eupeptiques et hépatoprotectrices.

Une expérience menée chez le rat montre qu'il y a une augmentation dose-dépendante de la sécrétion de bile lorsque l'on administre des décoctions d'*Ilex paraguariensis* par voie intraveineuse. Cependant, cette augmentation de l'excrétion biliaire ne s'accompagne pas d'une modification qualitative et quantitative de la sécrétion des acides biliaires. On a également étudié l'effet produit par des espèces falsifiantes et on obtient quelques différences : l'augmentation de la sécrétion de bile produite par l'*Ilex paraguariensis* à une dose de 250mg/kg et par voie IV est significative environ 1 heure après

l'administration et persiste 120 minutes ; l'*Ilex brevicuspis* stimule aussi l'excrétion biliaire, à la même dose, mais son effet ne dure que 30 minutes : les effets cholérétiques de *I. paraguariensis* et *Ilex brevicuspis* sont aussi temps-dépendant et ils ont des profils différents (figure 41). En effet, l'activité cholérétique de *I. paraguariensis* est lente, graduelle et se maintient dans le temps, alors que celle de *Ilex brevicuspis* est rapide, atteint un pic et diminue rapidement. Par contre, aucun effet stimulant cholérétique n'a été obtenu avec *Ilex theezans* et *Ilex argentina*. De plus, seul *Ilex brevicuspis* provoque une stimulation intestinale importante: il va donc avoir un effet eupeptique et c'est pour cette raison qu'il est intéressant de le faire entrer dans la composition du Maté. On peut donc noter que l'effet cholérétique et donc digestif du Maté peut être affecté par la présence de tel ou tel falsifiant lors de sa préparation (52).

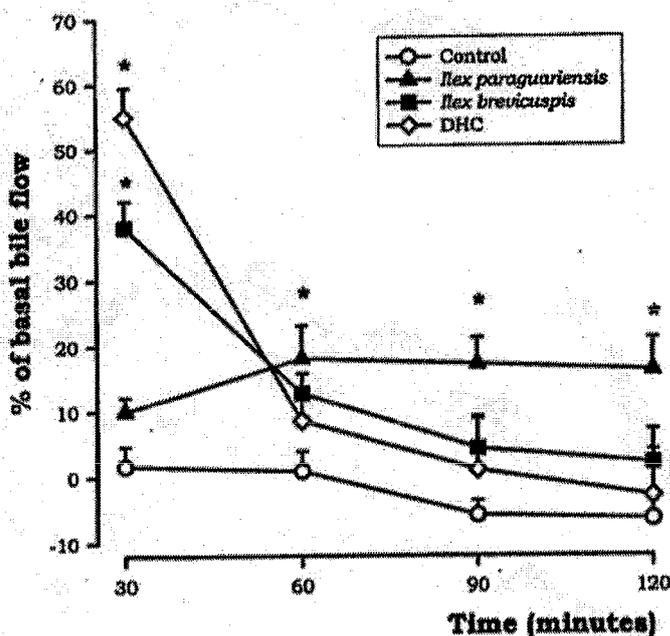


Figure 41 : Effet d'une administration intraveineuse de décoctions d'*I. paraguariensis* et d'*I. brevicuspis* (250 mg/kg) sur le débit biliaire du rat (52).

VI. Action hypocholestérolémiante

En Uruguay, la prévalence de la maladie cardio-vasculaire est similaire à celle des pays Européens alors que la consommation de viande est largement supérieure dans ce pays d'Amérique du sud par rapport à l'Europe. L'alimentation de la population locale étant très riche en cholestérol et la consommation de Maté étant habituelle, il est intéressant d'étudier l'activité hypocholestérolémiante de cette boisson (42).

1. Les saponines

Les saponines sont des composés chimiques que l'on va retrouver dans de nombreux aliments et notamment dans *Ilex paraguariensis*.

Comme leur nom l'indique, elles sont dotées d'un fort pouvoir moussant dans les solutions aqueuses. De par leur pouvoir hémolytique et donc potentiellement toxique, les saponines ont un effet mortel sur les animaux à sang froid comme les poissons d'où leur utilisation dans la pêche traditionnelle chez les aborigènes.

Mais les saponines ont généralement des effets anti-inflammatoires, anti-oedémateux, antitussifs ou expectorants (14) et surtout auraient une action hypocholestérolémiante *in vivo* pour celles du Maté (42).

Il existe plusieurs mécanismes par lesquels les saponines diminuent le taux de cholestérol dans le sang :

- La formation de complexes insolubles avec les bêta-hydroxystéroïdes, diminuant ainsi l'absorption intestinale du cholestérol et produisant une augmentation de l'excrétion fécale des stérols (78).

- Interaction avec les cellules de la muqueuse intestinale, produisant ainsi une augmentation de la perméabilité cellulaire (via la formation de complexes avec le cholestérol membranaire) et une rapide perte des fonctions physiologiques des cellules augmentant ainsi l'exfoliation. La perte des cellules intestinales contribuant à augmenter l'excrétion fécale du cholestérol (78)

- Les saponines peuvent également former des complexes avec des minéraux comme le fer, le zinc et le calcium entraînant ainsi une carence minérale sanguine ce qui peut contribuer à l'hypocholestérolémie (78).

- La formation de micelles entre les saponines et les acides biliaires semble être le mécanisme des saponines du Maté : les acides biliaires ainsi complexés ne peuvent plus être réabsorbés et sont alors excrétés par les fèces. Cette « fuite » des acides biliaires est alors compensée par la transformation du cholestérol en acide biliaires dans le foie, il en résulte alors une hypocholestérolémie. Une étude *in vitro* montre qu'en présence de saponines extraites d'*Ilex paraguariensis*, il y a une inhibition de l'absorption passive d'acide cholique (acide biliaire le plus abondant dans la bile chez l'homme et utilisé ici comme modèle) à travers des membranes artificielles. Lorsque l'on boit une infusion, on utilise 50 à 200g de Maté et d'après les résultats obtenus

dans cette étude, cette consommation correspond à un taux de saponines capable de complexer 26 à 105mg d'acide cholique (42).

Les buveurs de Maté prennent une à deux infusions par jour, l'augmentation de l'excrétion des acides biliaires et la diminution de l'absorption des stérols par les saponines présentes dans le Maté pourrait donc produire un effet hypocholestérolémiant. Il existe une corrélation entre le taux de cholestérol sérique et l'incidence de l'athérosclérose et de la maladie coronarienne et la consommation journalière de Maté pourrait être une explication possible de l'incidence plutôt faible de la pathologie cardio-vasculaire en Uruguay et ceci malgré une forte consommation de viande rouge riche en cholestérol (42).

VII. Autres actions

1. Action antidiabétique

De nombreux rapports indiquent que les dérivés de plantes ont des effets bénéfiques sur l'amélioration de la symptomatologie du diabète.

En 1974, plusieurs travaux sur la possible présence d'insuline dans les plantes furent publiés. En fait, il a été démontré que certaines espèces de plantes possèdent, dans leurs feuilles, des antigènes insuline-like et c'est le cas de l'*Ilex paraguariensis* qui a été testé positif pour ces antigènes grâce à une méthode utilisant des anticorps anti- insuline humaine (Elisa, Western Blott). La plupart des chercheurs rejettent l'hypothèse de la présence de véritable insuline dans les

plantes, il s'agit en fait de molécules ayant des structures semblables à celle-ci, appelées insuline-like et n'étant pas impliquées dans le métabolisme du glucose. Malgré les effets d'extraits de plantes sur la diminution de la glycémie chez des animaux diabétiques, aucune action n'est attribuée à l'insuline d'origine végétale et celle-ci n'existe pas (102).

Une étude Japonaise réalisée en 2005 montre que l'administration de Maté chez le rat va entraîner une diminution de l'absorption des sucres (maltose, sucrose, amidon) dans l'intestin par inhibition des enzymes dégradant les saccharides (disaccharidases), avec une IC_{50} (concentration d'*Ilex* nécessaire pour obtenir une inhibition d'absorption de sucre de l'ordre de 50%) de 0,1mg/ml pour le maltose, 0,5mg/ml pour le sucrose et 0,6mg/ml pour l'amidon : il en résulte une diminution de l'augmentation de la glycémie post-prandiale (106).

La glycation des protéines est une des complications liée à l'hyperglycémie observée dans la pathologie diabétique. Cette glycation correspond à une réaction non enzymatique de sucres avec des protéines (collagène, protéines de nerfs et du cristallin, antithrombine, plasminogène), il en résulte des complexes glyco-protéiques appelés AGE (advanced glycation end-product) qui s'accumulent et qui représentent des sites favorables à la formation des radicaux libres qui provoqueront par la suite les dommages vasculaires secondaires à la maladie diabétique (athérosclérose...). *L'Ilex paraguariensis*, de par sa teneur importante en polyphénols antioxydants, est capable d'inhiber ce phénomène *in vitro* et cet effet anti-glycation, anti-AGE du Maté, d'après une technique qui

emploie la fluorescence, semble être dose-dépendant : ceci a été observé en provoquant la glycation de serumalbumine bovine (BSA) avec du méthylglyoxal ; il en résulte une apparition de produits fluorescents (AGE), avec un pic à 420nm. Si l'on ajoute des concentrations croissantes d'extrait d'*Ilex paraguariensis*, on observe une diminution de la fluorescence caractéristique des AGE (72).

L'hyperglycémie va provoquer *in vivo* une augmentation de méthylglyoxal ; celui-ci va provoquer la glycation d'agents intervenant dans la coagulation tels que le plasminogène et l'antithrombine III (anti-protease) qui vont tous deux voir leur activité diminuer. Il en résulte une hypercoagulation et une diminution de la fibrinolyse qui peuvent causer la mort par complication thrombotique. L'*Ilex paraguariensis*, en diminuant l'action du méthylglyoxal *in vitro* et à des doses correspondantes à des dilutions au 1/100 des infusions consommées régulièrement, pourrait donc être un candidat intéressant dans le régime associé aux traitements antidiabétiques en vue de limiter l'apparitions de pathologies consécutives au diabète (58) (72).

2. Action antimicrobienne

On a extrait et analysé des composants antimicrobiens dans le Yerba Maté.

Cette activité antimicrobienne est dirigée contre les bactéries gram+ et gram-telles que *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* O57 :H7, *E.coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium* et

Pseudomonas fluorescens. Ces composants antimicrobiens extraits de feuilles séchées d'*Ilex paraguariensis* sont en fait les dérivés des acides dicaféoylquinique et monocaféoylquinique.

Tous ces dérivés ont une action inhibitrice vis-à-vis des bactéries testées, et surtout celles que l'on peut retrouver dans l'alimentation (*Salmonella typhimurium...*) (63).

Une utilisation du Maté, dans le domaine de la prophylaxie dentaire, a été mise au point. En effet, une équipe de chercheurs s'est intéressée à dix des principaux constituants volatils du Maté (linalol, nérolidol, 1-octanol, α -terpinol, géranylacétone, α -ionone, β -ionone, acide octanoïque, géraniol, eugénol).

L'activité antimicrobienne de ces composés a été testée sur 13 microorganismes appartenant à des groupes taxonomiquement éloignés : *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Escherichia*, *Saccharomyces*, *Trichophyton...*

Parmi ces différents genres, un est particulièrement intéressant : il s'agit de *Streptococcus* et plus particulièrement *S. mutans* responsable d'infections stomatologiques comme la carie dentaire.

Lors d'un suivi de la croissance des différentes bactéries en présence de ces composés, la croissance de 5 d'entre elles, dont *Streptococcus mutans*, a été inhibée par au moins un de ces produits. Les plus actifs d'entre eux semblent être le géraniol et le nérolidol. Suite à cette inhibition de croissance de *S. mutans*, une utilisation appliquée a été envisagée (69).

3. Action sur l'appareil cardiovasculaire et la fonction rénale

L'étude précédemment décrite (G.Shinella et al.), montre que le Maté perfusé sur un coeur de rat suite à une ischémie est un cardio-protecteur en agissant non seulement contre le stress oxydant mais aussi en diminuant la résistance des coronaires par un mécanisme faisant intervenir un médiateur vasodilatateur qui est le NO (98).

Il a été possible d'évaluer dans quelles mesures les extraits d'*Ilex paraguariensis* peuvent influencer la fonction contractile du coeur après l'ischémie et la reperfusion en surveillant certains paramètres comme la pression ventriculaire gauche (LVDP) et la vitesse de contraction maximale, la résistance des coronaires étant calculée comme le quotient entre pression de perfusion coronaire (CPP) et débit coronaire (CF). A la fin de la reperfusion suite à l'ischémie, on observe une diminution de la LVDP de 57% par rapport aux valeurs normales; l'infusion de 30µg/ml d'extrait d'*Ilex paraguariensis* permet d'améliorer la reprise post-ischémique, ramenant la LVDP à des valeurs normales. De plus, si l'on inhibe la synthèse de NO par un inhibiteur de la NOSynthase (l-NAME) 20 minutes avant l'ischémie et tout au long de la reperfusion, on s'aperçoit que les effets de *Ilex paraguariensis* sont abolis.

Le Maté, va également améliorer le rétablissement de la vitesse de contraction myocardique (+dP/dtmax) suite à l'ischémie en la ramenant à 95% de sa valeur normale à la fin de la reperfusion (sans Maté, cette vitesse se trouve diminuée de moitié à la fin de la reperfusion par rapport aux valeurs physiologiques).

Cependant, le rétablissement de la vitesse de contraction cardiaque en présence de Maté n'a plus lieu si on ajoute le l-NAME : sans NO, le Maté ne semble pas avoir cet effet bénéfique.

De même, il y a une amélioration du rétablissement de la vitesse de relaxation des coronaires ($-dP/dt_{max}$) en présence d'*Ilex paraguariensis* dans ces mêmes conditions : à la fin de la reperfusion, on atteint 90% de la valeur normale observée avant l'ischémie (sans *Ilex paraguariensis*, on est à 57% de la valeur normale à la fin de la reperfusion) et comme précédemment si on inhibe la NOsynthase, aucun effet bénéfique n'est observé en présence de Maté. La présence d'*Ilex paraguariensis* permet également d'éviter l'augmentation de la résistance des coronaires qui a normalement lieu lors de la reperfusion post-ischémique et cette action est inhibée si on introduit le l-NAME.

Le Maté offre donc une protection cardiovasculaire en atténuant les dysfonctions myocardiques provoquées par l'ischémie et la reperfusion, cette cardioprotection à lieu par l'intermédiaire d'un mécanisme faisant intervenir le NO. Cependant, on ne sait pas si le Maté agit par une stimulation des NOsynthases, ou s'il provoque une augmentation du GMPcyclique (par augmentation du calcium intracellulaire conduisant à la libération de NO), celui-ci phosphorylant des protéines musculaires spécifiques entraînant ainsi la relaxation des muscles lisses (81) (98).

L'effet de relaxation des artères par des extraits aqueux d'*Ilex paraguariensis* a été également étudié lors d'une expérience sur des artères mésentériques de rat

isolées et contractées par la methoxamine (30 μ M). On observe un effet relaxant dose-dépendant lors de l'administration de différents bolus de Maté (figure 42) (79).

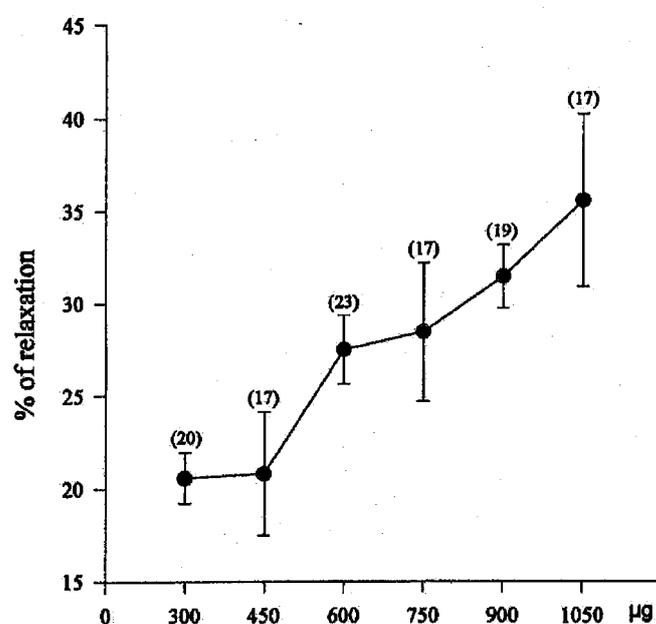


Figure 42 : Relaxation induite sur des artères mésentériques de rat par des extraits aqueux d'*I. paraguariensis* (79).

L'implication des prostaglandines (PG) dans l'effet vasodilatateur des extraits d'*Ilex paraguariensis* a été étudiée dans cette même expérience en présence et absence d'indométhacine (10 μ M), celle-ci étant un inhibiteur de la cyclo-oxygenase permettant la synthèse des PG.

En présence de cet inhibiteur, l'action vasodilatatrice persiste ce qui montre que cette relaxation sous l'effet du Maté a lieu grâce à un mécanisme autre que celui impliquant les prostaglandines vasodilatatrices (79).

Si on détruit l'endothélium des artères contractées, l'activité relaxante de *Ilex paraguariensis* est modifiée : cette activité est liée à des substances provenant de l'endothélium.

Les résultats de ces deux études permettent de confirmer l'implication du NO synthétisé par les cellules endothéliales intactes sous l'effet de *Ilex paraguariensis* (79).

De nombreux processus de dommages vasculaires résultent de la libération de nucléotides d'adénine. L'ADP et l'ATP sont hydrolysés par des enzymes appelées E-NTPDase et la 5'-nucléotidase qui agissent en synergie : l'ATP est transformé en Adénosine. L'ingestion chronique d'extraits aqueux d'*Ilex paraguariensis* par des rats sur une période de 15 jours entraîne une diminution de l'hydrolyse d'ATP (55%), d'ADP (50%) et d'AMP (40%) dans le plasma sanguin, diminuant ainsi la libération d'Adénosine. Il a déjà été démontré que l'agrégation plaquettaire est inhibée par l'ATP qui agit comme un antagoniste compétitif des récepteurs P2Y12 des plaquettes : sous l'influence du Maté, l'agrégation plaquettaire est donc diminuée puisque l'hydrolyse d'ATP l'est aussi. De plus l'ATP peut stimuler la production cellulaire de NO et de prostacyclines qui sont tous deux vasodilatateurs et inhibiteurs de l'agrégation plaquettaire. L'ADP quant à lui est un activateur des ces mêmes récepteurs de

plaquettes et agit comme un promoteur de l'agrégation. L'administration chronique d'*Ilex paraguariensis* permet, chez le rat, de diminuer l'hydrolyse des nucléotides et cet effet suggère une possible inhibition des nucléotidases provoquant une augmentation d'ATP et par conséquent une diminution d'ADP, d'AMP et d'adénosine dans la circulation sanguine (51).

Les NTPDases sont une nouvelle cible dans le traitement des pathologies cardiovasculaires liées en partie à l'agrégation plaquettaire et le Maté pourrait agir en inhibant ces enzymes par l'intermédiaire des flavonoïdes et notamment la quercétine (51).

Le Maté possède également des propriétés antihypertensives et diurétiques : la présence de caféine et de théobromine est à l'origine de ces effets (51) (79) en effet, la caféine développe une légère action vasodilatatrice périphérique et une discrète activité diurétique par augmentation du flux sanguin rénal (14).

Les effets de la théobromine sont analogues à ceux de la caféine et c'est par sa puissante activité diurétique, due à l'irritation qu'elle produit sur les épithéliums, qu'elle se distingue de la caféine (40). Le Maté, en plus d'être hypotenseur va donc également stimuler la fonction d'élimination rénale.

4. Action anti-protéasome

Il est clairement établi que le contrôle de la dégradation des protéines cellulaires joue un rôle majeur dans la régulation de multiples gènes comme des activateurs

de transcription et des oncogènes. La plupart des protéines cellulaires ont une durée de vie courte et sont détruites par deux mécanismes différents :

- le système lysosomal (10 à 20% des protéines).
- Le système du protéasome (80% des protéines).

Le protéasome est composé de différentes sous unités et trois d'entre elles ont une activité protéolytique connue : une unité pseudo-caspase, une unité à activité trypsine et une autre à activité chymotrypsine.

Ainsi, le protéasome se trouve au centre de la régulation de nombreuses protéines impliquées dans le processus de cancérogénèse.

Les inhibiteurs des protéasomes sont donc très étudiés et le premier à avoir été commercialisé est le velcade® indiqué dans le traitement des myélomes multiples qui agit par diminution de la multiplication cellulaire des cellules tumorales et l'induction de l'apoptose.

Les extraits d'*Ilex paraguariensis* ont été testés *in vitro* sur des cellules endothéliales immortalisées et transformées par l'introduction d'un oncogène. Cette étude a montré que le Maté inhibe la croissance de ces cellules endothéliales.

Afin de mettre en évidence le ou les composants qui inhibent cette croissance les extraits ont été caractérisés et l'acide dicaféoyl-3,5-quinique a montré une inhibition de l'activité chymotrypsine du protéasome. En revanche l'acide 5-caféoyl-quinique n'a pas inhibé l'activité chymotrypsine du protéasome ce qui laisse à penser que l'activité dépendrait du nombre de groupements caféoyls.

A la vue de ces résultats ces composants ainsi que des dérivés de l'acide cinnamique sont testés dans le traitement topique ou systémique du psoriasis et d'autres maladies inflammatoires puisqu'ils sont capables d'inhiber la croissance des cellules endothéliales (6).

VIII. Conclusion

Le Maté, de par sa teneur en méthylxanthines (2%), en saponines (10%) et en acides phénoliques (10%) agit sur de nombreux sites pharmacologiques :

- Système nerveux central : action stimulante, traitement de la fatigue.
- Métabolisme : stimule la lipolyse, antioxydant, hypocholestérolémiant, antidiabétique.
- Système digestif : effet cholérétique, stimulation intestinale, vidange gastrique ralentie, satiété augmentée.
- Appareil cardio-vasculaire : effet cardio-protecteur, vasodilatateur, antihypertenseur, anti-athérogène.

Le Maté est également un antimicrobien qui contribue à la prévention des infections et des indigestions, il facilite l'élimination urinaire (diurétique) et son pouvoir stimulant du corps et de l'intellect n'interfère jamais avec le sommeil.

Quatrième partie :
Etude toxicologique

I. Introduction

Comme cela a déjà été défini précédemment, le Maté est très largement consommé en Argentine, au Paraguay, en Uruguay, dans le sud du Brésil et à un moindre degré en Allemagne, en Syrie, au Liban et dans le nord de l'Israël.

Il est donc normal que de plus en plus d'études s'intéressent à l'impact de cette consommation sur la santé humaine et aux risques toxicologiques du Maté.

Ces études concernent donc un éventuel effet cancérigène, une toxicité hématologique, les risques de la consommation de Maté pendant une grossesse, ainsi que ceux liés à la culture.

II. Effet cancérigène du Maté

1. Introduction

De plus en plus souvent dans les pays sud-Américains, le Maté est pointé du doigt dans la survenue de cancers digestifs.

Cette mise en cause est probablement liée au fort niveau de consommation locale mais le développement de cancers est très souvent multi factoriel et l'identification d'un seul responsable n'est pas simple.

C'est pourquoi les études réalisées tentent d'éliminer les facteurs confondants et d'attribuer un risque spécifique au Maté.

2. Cancer de la cavité orale et de l'oropharynx

2.1. Introduction

L'incidence des cancers de la cavité orale et de l'oropharynx dans les pays sud Américains est très élevée. Par exemple le taux d'incidence du cancer du larynx est particulièrement fort en Amérique du sud et surtout en Uruguay avec un taux de 12,5 pour 100000 habitants.

Les facteurs de risques spécifiques et formellement identifiés sont le tabac, le l'alcool, la consommation de viande grillée et de Maté (10) (50).

2.2. Etudes in vitro

Une étude réalisée in vitro par Fonseca et al. en 2000 (46) a prouvé que les extraits de Maté sont génotoxiques sur *E. coli* et capables d'induire une mutagenèse chez *Salmonella typhimurium*. Ces résultats confirment ceux obtenus dans deux autres études : l'une réalisée sur *Saccharomyces cerevisiae* qui conclut que le Maté entraîne une mutagénicité et l'autre sur des organismes procaryotes qui arrivent aux mêmes conclusions (15) (70).

Ils ont également observé une augmentation de la fréquence des aberrations chromosomiques sur des lymphocytes humains exposés au Maté.

Ils en ont conclu que la consommation de grandes quantités de Maté peut provoquer une cancérogenèse sur l'oropharynx de l'homme.

Malgré ces résultats, il est important de noter qu'aujourd'hui aucune donnée d'expérimentation sur l'animal n'est disponible.

Des études futures sont donc indispensables pour valider ces hypothèses et ces conclusions (46) (49) (50).

2.3. Etudes chez l'homme

Toutes les études menées chez l'homme font appel aux mêmes procédures qui sont les suivantes :

- une sélection de cas dans des hôpitaux présentant des lésions cancéreuses avérées et prouvées histologiquement. Ces cas doivent pour être éligibles dans les études, vivre depuis au moins 5 ans dans la région d'étude et avoir une santé physique et mentale suffisantes pour pouvoir donner des réponses cohérentes au questionnaire.

- Une sélection de témoins issue des mêmes hôpitaux et aux mêmes périodes que les cas. Les critères d'éligibilité sont une correspondance sexe et âge plus ou moins 5 ans et l'absence de maladies pouvant être liées au tabac ou à l'alcool. Le ratio témoins-cas varie de 2 à 3 selon les études.

- Tous les cas et témoins sélectionnés sont ensuite soumis à un questionnaire standardisé qui détaille les caractéristiques socio-économiques ainsi que les habitudes de vie à savoir la consommation de tabac, d'alcool, et de boissons très chaudes incluant le Maté, le thé, le café.

Une régression logistique permet ensuite d'attribuer un risque relatif au Maté.

Déjà en 1988, De Stefani et al. dans une étude menée à l'hôpital de Montevideo en Uruguay (31) ont conclu que les gros consommateurs de Maté étaient exposés à un risque 5 fois plus important d'incidence de cancers de l'oropharynx après ajustement pour l'âge et la consommation d'alcool et de tabac.

Dans une étude brésilienne menée en 1989, Franco et al. (47) ont étudié le risque de cancers de la langue, des gencives et du palais dans 3 villes du Brésil : Sao Paulo, Curitiba et Goiania.

Les résultats obtenus montrent plus de cas de cancers parmi les buveurs de Maté même après ajustement pour le tabac et l'alcool.

Ils ont également étudié l'influence de la température à laquelle est consommé le Maté en comparant les personnes qui le boivent très chaud et celles qui le boivent à des températures plus basses.

Ils ont conclu à l'époque que la température n'intervenait pas dans le risque de développement de cancers.

En 1991, Oreggia et al ont réalisé une étude sur le cancer de la langue toujours à l'hôpital de Montevideo en Uruguay (83).

Ils ont trouvé que les buveurs de Maté ont un risque relatif de 2,5 avec un intervalle de confiance à 95% dans le développement de cancers de la langue pour une consommation supérieure à 2 litres par jour.

En 1994, Pintos et al (85) ont analysé les données d'une étude conduite dans le sud du Brésil, et ont démontré un risque plus important pour les buveurs de Maté de développer un cancer de la cavité orale (risque relatif de 1,9).

Ils ont conclu que la consommation de Maté pouvait être reliée à 20% des cas de cancers de la cavité orale survenant dans cette région.

2.4. Conclusion

Toutes ces études, même pour celles menées il y quasiment 20 ans, vont dans le même sens c'est-à-dire un risque accru de cancers de la cavité orale et de l'oropharynx lié à la consommation de Maté.

Toutefois, ces études présentent de nombreux biais comme l'estimation par les patients eux-mêmes de leur consommation de Maté.

On peut également constater que les risques relatifs rapportés dans les études ne sont pas les mêmes.

Pour pouvoir affirmer cet effet cancérigène du Maté sur l'oropharynx il faudrait réaliser des expérimentations animales standardisées.

Devant toutes ces observations, un groupe de travail de l'agence internationale pour la recherche contre le cancer a conclu que la consommation de Maté est probablement cancérigène.

Plusieurs hypothèses concernant le mécanisme de carcinogenèse ont été suggérés comme la lésion thermique mais la plupart des études menées sur ce mécanisme concernent l'œsophage et aucune ne s'intéresse à la cavité orale et l'oropharynx.

De nos jours aucun mécanisme d'action chimique n'a encore été prouvé.

Il a été suggéré que le Maté pourrait jouer un rôle de solvant pour les cancérigènes chimiques présents dans le tabac ou que les composants phénoliques du Maté pourraient agir comme promoteurs de cancers (49).

3. Cancer de l'oesophage

3.1. Introduction

L'épidémiologie du cancer de l'oesophage est caractérisée par une large variabilité géographique en incidence et taux de mortalité.

Ainsi, il existe des zones avec des taux d'incidence élevés notamment en Amérique du sud et plus précisément le nord-est de l'Argentine, le sud du Brésil, l'Uruguay et le Paraguay.

En Uruguay, l'incidence du cancer de l'oesophage est respectivement pour les hommes et les femmes de 14,5 et 3,8 pour 100000 habitants. Dans les régions du nord de l'Uruguay bordant le Brésil, ces taux atteignent 55,8 et 14,7 pour 100000 habitants (10) (49).

Les habitants de ces pays partagent une habitude commune qui est de consommer en quantité importante du Maté.

Devant ces observations l'OMS et l'ARC ont conduit des études en Argentine, Brésil, Uruguay et Paraguay afin de prouver le rôle du Maté dans le cancer de l'oesophage en prenant en compte les effets du tabac et de l'alcool qui sont les

deux facteurs de risque les plus importants du cancer de l'œsophage dans la plupart des pays occidentaux et certains pays de l'Asie et de l'Afrique.

3.2. Etudes chez l'homme

Entre 1986 et 1992, quatre études hospitalières incluant des cas et des témoins ont été menées afin d'identifier les facteurs de risque qui pourraient expliquer les forts taux d'incidence de la maladie dans ces pays (19). Le mode de réalisation de ces études est le même que celui décrit précédemment pour le risque de cancers de la cavité orale et de l'oropharynx.

Le tableau suivant (tableau XIII) donne les risques relatifs de la consommation de Maté pour les hommes et les femmes en fonction des différentes variables analysées à savoir la quantité quotidienne, le nombre d'années de consommation, le nombre d'années depuis l'arrêt éventuel et la température à laquelle il est consommé.

Tableau XIII : Relation entre la consommation de Maté et le risque de cancers de l'œsophage (19).

Variable and categories	Males		Females		All
	Number of cases/controls	OR ¹ (95% CI)	Number of cases/controls	OR ¹ (95% CI)	OR ² (95% CI)
Mate status					
Never	48/174	1.00	12/59	1.00	1.00
Ever	607/1,234	1.34 (0.92-1.96)	163/312	2.20 (1.08-4.47)	1.52 (1.10-2.12)
Ex	93/139	1.91 (1.20-3.06)	22/53	1.74 (0.73-4.11)	1.87 (1.25-2.80)
Current	514/1,095	1.27 (0.87-1.87)	141/259	2.30 (1.13-4.71)	1.47 (1.06-2.05)
Trend test		<i>p</i> = 1.00		<i>p</i> = 0.01	<i>p</i> = 0.20
Mate amount (l/day)					
0	48/174	1.00	12/59	1.00	1.00
0.01-0.50	173/416	1.23 (0.81-1.86)	59/142	1.93 (0.92-4.08)	1.39 (0.98-1.98)
0.51-1.00	232/547	1.20 (0.80-1.79)	51/122	1.86 (0.85-4.05)	1.34 (0.95-1.90)
1.01-1.50	72/114	1.69 (1.03-2.77)	16/20	4.03 (1.47-11.04)	1.96 (1.27-3.03)
1.51-2.00	73/105	1.69 (1.03-2.77)	23/22	3.95 (1.53-10.20)	2.03 (1.32-3.13)
>2.00	55/49	2.30 (1.32-4.03)	13/5	11.65 (2.96-45.79)	3.04 (1.84-5.02)
Unknown	2/3		1/1		
Trend test among ever-drinkers		<i>p</i> = 0.004		<i>p</i> = 0.001	<i>p</i> = 0.0001
Years of drinking					
0	48/174	1.00	12/59	1.00	1.00
1-29	74/190	1.23 (0.76-2.00)	19/38	1.83 (0.69-4.88)	1.40 (0.91-2.13)
30-39	105/224	1.32 (0.85-2.07)	16/47	1.28 (0.49-3.37)	1.39 (0.93-2.07)
40-49	174/347	1.38 (0.91-2.10)	33/70	2.10 (0.91-4.87)	1.53 (1.06-2.21)
50-59	146/309	1.27 (0.81-1.98)	46/80	2.39 (1.06-5.37)	1.47 (1.00-2.17)
≥60	107/162	1.61 (0.96-2.72)	48/76	2.71 (1.18-6.22)	1.92 (1.25-2.96)
Unknown	1/2		1/1		
Trend test among ever-drinkers		<i>p</i> = 0.30		<i>p</i> = 0.10	<i>p</i> = 0.11
Years since quitting					
0	514/1,095	1.00	141/259	1.00	1.00
1-9	50/67	1.78 (1.16-2.74)	16/28	1.11 (0.55-2.25)	1.53 (1.07-2.19)
≥10	35/67	1.07 (0.67-1.69)	6/22	0.39 (0.14-1.09)	0.90 (0.59-1.36)
Unknown	8/5		0/3		
Trend test		<i>p</i> = 0.19		<i>p</i> = 0.16	<i>p</i> = 0.59
Mate temperature					
Cold/warm	103/229	1.00	24/67	1.00	1.00
Hot	426/909	1.06 (0.77-1.45)	110/218	1.33 (0.71-2.49)	1.11 (0.84-1.47)
Very hot	73/91	1.77 (1.09-2.86)	26/24	2.47 (1.03-5.91)	1.89 (1.24-2.86)
Unknown	5/5		3/3		
Trend test		<i>p</i> = 0.046		<i>p</i> = 0.05	<i>p</i> = 0.008

Les points les plus importants qui en ressortent sont les suivants :

- la quantité de Maté consommée par jour est fortement corrélée au risque surtout au-delà d'un litre par jour.

Par exemple les femmes qui boivent plus de 2 litres de Maté par jour ont 11,6 fois plus de risques de développer un cancer de l'œsophage que les femmes qui n'en consomment pas.

- le nombre d'années de consommation : plus il augmente, et plus le risque est important.

L'autre variable importante qui ressort est la température de consommation. En moyenne les sujets qui boivent le Maté très chaud sont exposés à un risque deux fois plus important que les sujets qui le boivent tiède.

Le tableau suivant met en relation la quantité de Maté bue chaque jour et la température à laquelle il est bu.

Tableau XIV : Effets cumulatifs de la température et de la quantité de consommation sur le risque de cancers de l'œsophage (19).

Mate drinking amount (daily liters)	Mate drinking temperature			Summary OR for amount ³
	Cold/warm/hot	Very hot	p for trend (2-sided)	
≤0.50	1.0 (reference) 212/518	0.99 (0.48–2.02) 14/33	0.97	1.0 (reference)
0.51–1.00	0.91 (0.71–1.16) 243/621	1.59 (0.96–2.63) 39/48	0.03	0.95 (0.75–1.20)
1.01–1.50	1.50 (1.05–2.14) 83/119	0.73 (0.24–2.26) 5/14	0.2	1.40 (0.99–1.98)
> 1.50	1.38 (1.00–1.90) 124/162	4.14 (2.24–7.67) 40/19	0.0007	1.58 (1.17–2.14)
p for trend (2-sided)	0.01	0.002		0.0006
Summary OR for temperature ²	1.0 (reference)	1.62 (1.16–2.25)	0.006	

On constate donc que le risque le plus important est obtenu pour une consommation quotidienne supérieure à un litre et demi et à une température très chaude.

Ce tableau laisse à penser que la température agit de façon synergique avec la quantité consommée sur le risque : plus la quantité et la température augmentent, plus le risque augmente.

Les auteurs ont donc comparé le Maté avec la consommation d'autres boissons chaudes comme le thé, le café au lait, le café selon les mêmes variables (température de consommation et quantité consommée quotidiennement).

Alors que la consommation de thé montre un effet protecteur quand la quantité quotidienne augmente, cette consommation à très haute température est associée à une augmentation du risque tout comme le café au lait.

En ce qui concerne le Maté, ces données permettent seulement de conclure que le risque est augmenté lorsqu'il est bu en grande quantité et à très haute température.

La consommation de boissons très chaudes incluant le Maté compterait respectivement pour 10 et 12% chez les hommes et les femmes dans l'incidence du cancer de l'œsophage.

Malgré cela, le tabac et l'alcool restent de loin les facteurs de risque les plus importants et représenteraient 90% de son incidence (18) (19) (34) (90) (109).

Entre 1988 et 2000 une autre étude a été menée à l'institut oncologique de Montevideo en Uruguay toujours selon le même principe de sélection (101).

On peut en dégager les conclusions suivantes :

- Les consommateurs de Maté présentent un risque deux fois plus élevé que les non consommateurs.

- Plus la durée de consommation en années augmente plus le risque augmente.

- Les consommateurs de Maté à température faible à chaude ont deux fois plus de risque que les non consommateurs.

- Les consommateurs de Maté à très haute température ont quatre fois plus de risque que les non consommateurs.

- Une diminution du risque est observée à l'arrêt de la consommation et le risque diminue avec les années d'arrêt.

Cette étude prouve cette fois encore que la consommation de Maté est associée à une augmentation du risque de cancer de l'œsophage.

Dans les 2 études précédentes, les cas étudiés étaient choisis selon leur maladie (cancer de l'œsophage) et les sujets pouvaient être consommateurs d'alcool et de tabac.

Une autre étude a donc été menée entre janvier 1988 et avril 2002 à l'institut national d'oncologie de Montevideo en Uruguay (92).

Durant cette période 466 nouveaux cas de cancer de l'œsophage ont été admis à l'institut.

Tous les non fumeurs et ceux qui ne boivent pas d'alcool ont été sélectionnés pour l'étude soit un total de 73 cas.

Les non fumeurs sont définis comme des personnes n'ayant jamais fumé une cigarette ou plus par jour sur une période d'un an.

Les non consommateurs d'alcool sont définis comme n'ayant jamais bu 1 ml d'éthanol ou plus par jour sur une période d'un an.

219 témoins ont été inclus à l'étude ne présentant pas de cancer mais ayant été admis à l'hôpital durant les mêmes périodes.

Tous les patients ont donc été interrogés selon un questionnaire similaire aux études précédentes.

Les résultats sont surtout significatifs pour la consommation quotidienne en litre (OR= 2,83), la durée de consommation (OR=1,90) et l'intensité de consommation en litres par an (OR=1,93).

Grâce à cette étude le Maté a pu être identifié comme facteur de risque indépendant du cancer de l'œsophage même si le mécanisme de cancérogenèse est toujours inconnu.

Les seules études menées *in vivo* et qui n'utilisent pas le principe de cas-témoins soumis à un questionnaire sont les suivantes :

- En 1987, Munoz et al (80) ont étudié la prévalence des lésions précancéreuses de l'œsophage comme les oesophagites chez les consommateurs quotidiens de Maté et les non consommateurs.

Ils ont prouvé que les buveurs de Maté ont 2,2 fois plus de risques de développer des oesophagites que les non consommateurs.

- En 2000, Dietz et al (37) ont testé les effets directs du Maté sur des cellules muqueuses de l'œsophage prélevées sur 250 patients qui passaient une gastroscopie.

Le nombre de cellules micronuclées ont été comptées et une fréquence plus importante de ces cellules a été trouvée chez les fumeurs et buveurs de Maté en comparaison avec les consommateurs d'alcool.

3.3. Conclusion

En conclusion, ces études confirment l'importance de la consommation de boissons très chaudes dans les cancers de l'œsophage et ajoutent des preuves à l'hypothèse de cancérogenèse de l'œsophage par lésion thermique.

Comme pour le risque de cancers de l'oropharynx aucun mécanisme chimique n'a été prouvé et seules des hypothèses sont émises.

Ici encore des études expérimentales animales futures semblent indispensables.

4. Autres cancers

4.1. Introduction

Si les études sur les cancers de l'œsophage et de l'oropharynx sont les plus nombreuses il existe des publications qui mettent en évidence des risques de cancers d'autres organes.

4.2. Cancer de la vessie

On retrouve dans la littérature une seule étude sur ce risque de cancer.

Elle a été réalisée par De Stefani et al. en Uruguay en 1991 (31) selon la méthodologie de sélection de cas et de témoins soumis à un même questionnaire.

L'analyse a été conduite séparément pour chaque sexe et 111 cas et 222 témoins ont été acceptés.

Cette étude a montré une relation de dose réponse significative avec un risque 7 fois plus important pour les gros consommateurs.

Elle a également mis en évidence un effet multiplicatif du risque en cas d'exposition conjointe au Maté et au tabac.

Ces résultats suggèrent que les taux de mortalité élevés de cancer de la vessie en Uruguay peuvent être expliqués par les effets combinés du tabac et du Maté.

4.3. Cancer du poumon

Entre janvier 1988 et décembre 1994, une étude incluant 497 cas de cancer du poumon et 497 témoins a été menée à l'institut d'oncologie de Montevideo en Uruguay afin d'évaluer la relation entre la consommation de Maté et le risque de cancer du poumon (32).

Le risque relatif trouvé est de 1,6 pour les gros consommateurs ce qui n'est pas significatif et ne permet donc pas de conclure que la consommation de Maté favorise le développement de cancers du poumon.

4.4. Cancer du rein

Entre janvier 1988 et décembre 1995, une étude incluant 121 cas et 243 témoins a été menée afin d'évaluer le risque de cancer du rein par consommation de Maté et de viande (33).

Après ajustement des différentes variables, la consommation de viande a été associée à un risque relatif de 3,4 pour les plus gros consommateurs avec une relation de dose réponse significative.

La consommation de Maté quand à elle a été associée à un risque de 3 pour les plus gros buveurs.

4.5. Conclusion

Les études concernant ces 3 types de cancers sont trop peu nombreuses et de ce fait ne permettent pas de conclure à un effet direct du Maté sur ces 3 types de cancer.

Cependant les résultats obtenus ne doivent pas être négligés et doivent au contraire inciter à la réalisation d'autres études et comme pour le cancer de l'œsophage et de l'oropharynx à des expérimentations animales afin d'éliminer les facteurs de risque associés comme le tabac, l'alcool et la diététique.

5. Conclusion

A la vue de toutes ces études, il n'est plus possible de renier le fait que le Maté jouerait un rôle dans la survenue de cancers digestifs chez les gros consommateurs.

Pour les autres types de cancers il est encore trop tôt pour se prononcer et les études sont encore insuffisantes.

Il reste maintenant à élucider de façon précise le mécanisme de cancérogenèse car celui est encore très flou.

Le mécanisme par lésion thermique est certainement mis en jeu, mais tous les composants chimiques présents dans le Maté jouent probablement un rôle qui reste encore indéfini.

Une étude s'est intéressée à l'apport d'hydrocarbures polycycliques par la consommation de Maté. Le résultat de cette étude indique que le Maté apporte $0,70 \mu\text{g.kg}^{-1}$ d'hydrocarbures polycycliques parmi lesquels on retrouve du benzo-(a)-pyrène et ses dérivés (27).

L'apport de ces hydrocarbures par le Maté est faible mais ils sont fortement cancérigènes et peuvent être apportés par d'autres aliments.

Des expérimentations et études futures permettront très certainement d'établir avec précision les différents mécanismes entrant en jeu et provoquant ces cancers.

Toutes ces études sur un effet cancérigène du Maté sont pourtant contradictoires avec les résultats d'une étude réalisée en 2005. Cette étude met en évidence une inhibition de la topoisomérase II par le Maté (28).

Les topoisomérases sont des enzymes très importantes impliquées dans le métabolisme de l'ADN, la réplication, la transcription, l'assemblage de la chromatine, la réparation de l'ADN et la division cellulaire.

Trois topoisomérases (I, II α et II β) ont une importance capitale dans les cancers de par leur action anti-proliférative et de différenciation cellulaire.

Il a été démontré que les cellules différenciées expriment de très faibles niveaux de topoisomérase II alors que les cellules tumorales peuvent exprimer de 25 à 300 fois le niveau des cellules normales.

Cependant le rôle exact de ces topoisomérases n'a pas été démontré, mais de nombreux traitements disponibles sur le marché ont une activité anti-topoisomérase et cette propriété du Maté pourrait être utilisée dans le futur pour découvrir de nouveaux traitements.

Le degré d'inhibition de la topoisomérase II par le Maté est indépendant de la quantité de polyphénols contenue dans les différents types de Maté testés.

Ce résultat suggère que l'inhibition de la topoisomérase et de la prolifération cellulaire sont probablement dues à d'autres substances contenues dans le Maté et encore inconnues qui font du Maté une source potentielle de composants qui pourrait être utilisée dans le traitement des cancers.

Le Maté a également été testé *in vitro* sur des cellules hépatiques cancéreuses et a démontré une cytotoxicité importante vis-à-vis de ces cellules qui sont entrées en apoptose (88).

Ces résultats laissent à penser que la cytotoxicité du Maté lui conférerait une activité anti-tumorale hépatique mais les mécanismes exacts et les composants responsables de cette activité doivent encore être précisés en utilisant des modèles animaux.

Les résultats obtenus ici sont des résultats *in vitro* qui méritent d'être confirmés par des essais *in vivo*.

III. Action sur la formule sanguine

Les saponines sont habituellement hémolytiques.

Cette propriété est attribuée à leur interaction avec les stérols de la membrane érythrocytaire. L'interaction induit une augmentation de la perméabilité membranaire et un mouvement des ions : le sodium et l'eau entrent, le potassium fuit, la membrane éclate, permettant ainsi la fuite de l'hémoglobine.

Les monodesmosides sont beaucoup plus hémolytiques que les bidesmosides et l'activité décroît lorsque la chaîne osidique s'allonge.

Lors d'expériences sur les animaux, il a été mis en évidence que les extraits d'*Ilex dumosa* produisaient des effets hématologiques, principalement hémolytiques : ces extraits, administrés à des souris pendant 91 jours par voie

orale, à des doses de 200 à 400 mg/kg/jour, peuvent produire une hémolyse intravasculaire (71).

Cependant, ces effets n'ont pas été confirmés et ne se sont pas reproduits lors d'une étude qui voulait confirmer ces résultats.

Cette étude a conclu que la consommation d'*I. paraguariensis* ou *I. dumosa* chez les rats exposés ne générerait aucune altération hématologique, rénale ou hépatique.

Ils ne sont pas non plus observés cliniquement chez l'homme lors de la consommation chronique d'*Ilex dumosa* et/ou d'*Ilex paraguariensis*.

Dans ce cas également des études plus approfondies permettront d'en savoir d'avantage sur la toxicité hématologique des saponines extraites du Maté.

III. Maté et grossesse

Le Maté qui est une coutume locale est consommé également pendant la grossesse. C'est pour cette raison qu'une étude s'est intéressée aux effets de la consommation de Maté pendant la grossesse (95).

Du 1^{er} janvier au 31 décembre 1993 à l'hôpital de Pelotas dans le sud du Brésil, toutes les mères qui ont accouché ont été questionnées dans les 24 heures suivant l'accouchement.

Les 5189 naissances d'enfants uniques ont été étudiées par le poids à la naissance et l'âge gestationnel.

La prévalence d'enfants petits pour l'âge gestationnel et le nombre de naissances prématurées étaient respectivement de 8 et 9,1%.

La consommation hebdomadaire de Maté tout au long de la grossesse a été rapportée par 68% des mamans.

Les analyses ont montré une augmentation de 30% du risque d'enfants petits pour l'âge gestationnel chez les buveuses quotidiennes de Maté par rapport aux non consommatrices et aucune relation n'a été attribuée pour les enfants prématurés.

Après avoir éliminé tous les facteurs confondants, plus aucune relation entre la consommation de Maté et la naissance d'enfants petits n'a été retenue.

En conclusion, la prévalence de la consommation de Maté par les femmes enceintes est élevée et contrairement aux hypothèses, aucun effet sur la croissance intra-utérine ou la durée de la grossesse n'a été détecté.

IV. La toxicité inhérente à la culture

1. L'utilisation de pesticides

La culture du Maté comme beaucoup d'autres cultures fait appel à des pesticides afin d'éviter des maladies et de lutter contre les parasites.

En 2002, une étude s'est intéressée à l'un des pesticides utilisés lors de la culture du Maté pour connaître son devenir et sa dégradation après application. Ce pesticide est le diméthoate (100).

Il s'agit d'un organophosphoré utilisé en application directe sur le Maté par pulvérisation.

En règle générale, les taux de dégradation dépendent du type de plante, des conditions climatiques et des procédés de préparation de la plante après récolte.

Le Maté subit plusieurs traitements successifs après récolte :

- Une étape de blanchiment à 500-550°C pendant 3 minutes (sapecado).
- 2 étapes de séchage à 100-120°C pendant 4 à 5 heures (secado).
- Une étape en chambre à 40-60°C avec une humidité de 60% pendant 30 à 40 jours (stockage).

L'intérêt d'étudier les taux de dégradation du pesticide dans la plante et pendant les étapes de préparation est de déterminer avec précision un intervalle de sécurité entre la dernière application et la récolte.

Pour cette étude, 2 parcelles de Maté ont été vaporisées en mars 1998 et une troisième en juin 1998.

Seule une application a été effectuée aux concentrations habituelles soit 5 grammes pour 100 litres d'eau.

Des échantillons ont été prélevés de J1 à J41 après vaporisation pour déterminer la dégradation.

Les demi-vies trouvées pour les 3 parcelles sont comprises entre 9,8 et 11,8 jours.

Pour étudier la dégradation pendant la préparation de la plante, des échantillons ont été coupés 7 jours après vaporisation.

Les concentrations de diméthoate trouvées après blanchiment et 2 étapes de séchage sont analysées et le facteur de réduction trouvé est de 4,4.

L'échantillon est ensuite placé en chambre pendant 40 jours à 45°C avec une humidité de 60%.

Les concentrations sont établies à différentes périodes et la demi-vie trouvée est de 17,3 jours soit 68% plus élevé que celle trouvée dans les échantillons de plante.

Pour le Maté, la concentration maximale admise de diméthoate est de 0,5 mg.kg⁻¹.

Selon les taux de dégradation dans la plante et pendant sa préparation, l'intervalle de sécurité est de 7 jours. Avec cet intervalle le produit final est assuré de ne pas contenir plus de pesticide que le maximum autorisé.

Dans certaines régions le Maté est consommé sans étape de stockage. Dans ce cas, la période minimum entre la vaporisation et la récolte doit être de 22 jours.

2. La radioactivité

L'homme est exposé aux radiations ionisantes à partir de deux sources basiques : la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle.

La radioactivité naturelle est présente à la surface de la terre à des concentrations différentes qui varient d'un endroit à l'autre.

La contamination se fait principalement de 2 façons : l'inhalation et la digestion.

La nourriture est aujourd'hui considérée comme le principal vecteur des isotopes radioactifs.

C'est pour cette raison que des scientifiques et des organisations internationales ont collecté et analysé des échantillons de nourriture afin d'estimer l'ingestion annuelle et par la suite la dose interne de radioactivité.

Ce programme a été mis en œuvre en Syrie depuis 1996 avec comme objectifs la détermination des radionucléides naturels et artificiels présents dans la nourriture ainsi que leur ingestion annuelle par les Syriens (3).

Les radionucléides ont alors été identifiés et parmi eux, le polonium 210 qui est artificiel et qui est considéré comme le plus toxique.

Il est produit par la dégradation du gaz radon 232 dans l'air qui retombe ensuite sur les cultures. La contamination des plantes avec une grande surface de feuille est donc plus importante que les autres.

La plupart du Maté vendu en Syrie est importé d'Argentine alors que le thé provient de différents pays asiatiques, de Chine et du Vietnam.

Les concentrations de polonium ont donc été déterminées dans les différentes marques de Maté disponibles sur le marché local ainsi que dans les infusions préparées à partir de ces produits.

Les échantillons de Maté et de thé analysés ont donc été traités avec de l'eau et différentes conditions d'infusion ont été opérées conformément aux habitudes locales.

Les variables sont les suivantes :

- Quantité infusée : différentes quantités (2, 4, 6, 8 et 10 grammes) ont été infusées dans 500 ml d'eau bouillante pendant 10 minutes. Les infusions sont ensuite filtrées et la quantité de polonium est analysée.

- Température d'infusion : 5 grammes d'échantillon sont infusés dans 500 ml d'eau à différentes températures (25, 40, 60, 80 et 98 °C) pendant 10 minutes. Les concentrations de polonium sont ensuite déterminées comme précédemment.

- Durée d'infusion : 5 grammes sont infusés dans 500 ml d'eau à 98°C pendant des périodes différentes (2, 5, 10, 15, 30 et 60 minutes) et le polonium est analysé.

Le polonium est présent en quantité plus importante dans le Maté que dans tous les autres types de nourriture consommés en Syrie pour lesquels les concentrations varient de 0,4 à 16 Bq.Kg⁻¹.

De plus, des différences de concentration significatives sont trouvées entre le thé et le Maté même si ils proviennent du même pays.

Cela s'explique par les différences de préparation de la plante après récolte, les conditions de conservation et la durée de stockage. Les concentrations du gaz radon (source du polonium) dans la zone d'agriculture sont également une source majeure de ces différences.

Les fortes concentrations trouvées dans le Maté sont surtout dues à l'utilisation d'engrais à base de phosphates qui contiennent un fort taux d'uranium.

En Syrie, le Maté est consommé différemment du thé. Il est infusé beaucoup plus longtemps et il est lavé plusieurs fois avec de l'eau bouillante qui est ensuite bue directement.

Le premier consommateur obtient donc la plus forte dose des composants du Maté alors que ces derniers diminuent dans les infusions suivantes.

De façon similaire, les concentrations de Po dans l'extrait aqueux diminuent quand les quantités de Maté utilisées augmentent. Ce phénomène s'explique par une réabsorption du Po dans les feuilles de Maté.

Pour la température d'infusion, les concentrations de Po les plus élevées sont obtenues à 40°C puis diminuent quand la température augmente.

De plus, la plus haute concentration de Po trouvée dans l'extrait aqueux est obtenue à 4 minutes puis diminue rapidement jusqu'à un point d'équilibre.

En conclusion, la plus grande partie du Po transféré à la phase aqueuse se fait lors de la première infusion comme on peut le constater sur la figure suivante.

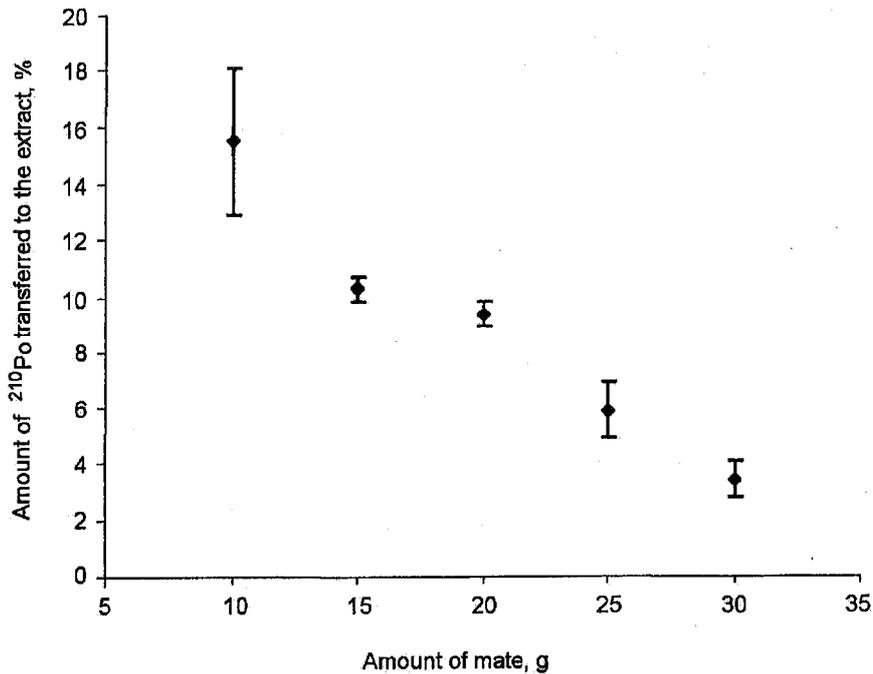


Figure 43 : Quantité de Po^{210} (en %) transférée à la phase aqueuse en fonction de la quantité de Maté utilisée (en grammes) (3).

Afin de déterminer avec précision l'ingestion annuelle de polonium par la consommation de thé ou de Maté, un processus statistique a été réalisé sur 120 personnes vivant à Damas.

L'ingestion annuelle de polonium due à la consommation de thé a été déterminée à 9 Bq par personne en utilisant les thés contenant le plus de polonium et dans les conditions suivantes :

- 2 minutes d'infusion à température d'ébullition.
- Consommation de 600 ml par jour.
- Utilisation de 2 grammes de thé.

Pour le Maté l'ingestion trouvée est de 151 Bq par personne dans les conditions suivantes :

- 2 minutes d'infusion à température d'ébullition
- 75 ml d'extrait aqueux et 10 grammes de Maté infusés 11 fois de suite.

Cette quantité de 151 Bq est supérieure à celle obtenue par la consommation de n'importe quel type de nourriture.

En conclusion, la consommation de Maté contribue très largement à la dose interne de radioactivité et c'est pourquoi il est recommandé de laver plusieurs fois les feuilles de Maté à 40°C avant infusion (3).

Dans une autre étude datant de 2004, 50 échantillons de produits destinés à la consommation et disponibles dans les magasins de Buenos Aires ont été analysés (38).

Des concentrations de ^{137}Cs supérieures à 10 Bq/Kg ont été trouvées dans du thé et du Maté cultivés à Apostoles en Argentine.

Les résultats de cette étude suggèrent que les sols ont été fertilisés avec un produit originaire d'une région affectée par les retombées radioactives de Tchernobyl.

Les échantillons ont été prélevés en 2002. Les feuilles de thé et de Maté ont été prélevées directement sur les arbres et un échantillon de terre juste en dessous de chaque arbre a également été analysé.

Les valeurs trouvées pour le ^{137}Cs , comprises entre 7 et 10 Bq/Kg, ne représentent pas de risques de santé publique puisque le maximum autorisé fixé par les organisations internationales est de 100 Bq/Kg.

L'hypothèse de l'utilisation d'engrais contaminés par du césium 137 n'a pas pu être confirmée puisque le produit utilisé aujourd'hui n'en contient pas.

Cependant une utilisation passée de produits contaminés pourrait expliquer la présence de césium 137 dans les sols et les feuilles analysées par un transfert du sol aux cultures.

Ce transfert est plus important dans les feuilles de Maté que dans le thé. Des analyses dans d'autres régions de l'Argentine n'ont pas montré de contamination.

En conclusion, les produits vendus sur le marché de Buenos Aires ne sont pas contaminés par le césium 137 à l'exception des produits provenant d'une région particulière (Apostoles), et que cette contamination n'est pas néfaste en terme de santé publique puisqu'elle est bien en dessous du seuil autorisé.

V. Conclusion

Les principaux points qui ressortent de cette étude toxicologique sont :

- le très probable risque cancérigène digestif à long terme pour les gros consommateurs de Maté (consommation supérieure à un litre par jour) à une température très chaude.

- Une absence de toxicité hématologique.

- L'innocuité de la consommation pendant la grossesse sur le développement foetal même si une seule étude a été réalisée et devra être confirmée.

En ce qui concerne les risques liés à la culture, on peut seulement en tirer des recommandations comme le nettoyage des feuilles de Maté avant leur consommation afin de limiter l'ingestion de radionucléides.

L'utilisation des pesticides a fait l'objet d'une seule étude permettant de fixer les moments de vaporisation avant récolte mais elle n'est valable que pour un seul pesticide. Il est donc indispensable de renouveler ce genre d'études pour tous les pesticides ou engrais utiles à la culture du Maté.

Cinquième partie :

Utilisations

I. Introduction

Le Maté ou *Ilex paraguariensis* est inscrit à la pharmacopée Française Xème édition qui définit que le Maté contient au minimum 1% de caféine par rapport à la drogue desséchée (64) (84) (111).

Les indications de son utilisation sont les suivantes :

- en France (cahiers de l'agence, 1998) : traditionnellement utilisé par voie orale dans le traitement des asthénies fonctionnelles et pour faciliter l'élimination rénale d'eau.

Par voie orale, comme adjuvant des régimes amaigrissants.

- En Allemagne (commission E) : fatigue physique ou mentale.
- En Grande Bretagne (British herbal pharmacopoeia) : treatment of fatigue, weight loss, headache.

II. Utilisation en officine

1. Tisane simple

On le trouve en vrac destiné à être infusé.

Quatre laboratoires commercialisent du maté sous forme pure (24).

On trouve ainsi :

- le Maté Iphym en vrac (250 grammes ou 1 Kg) du laboratoires Iphym pharma et plantes (ACL : 7286672).

- Le Maté Pampero en vrac également (250 ou 500 grammes) du laboratoire Lebreton (6019549).

- Le Maté vert les bons producteurs (200 grammes) du laboratoire Merck médication familiale (6257094).

- Le Maté vert marque verte (120 grammes) du laboratoire semes (7737815).

2. Tisane composée

Merck médication familiale commercialise une tisane composée renfermant du maté sous le nom de tisane médiflor n°1 minceur (boîte de 24 sachets) (24) (36).

Sa composition est la suivante :

- Fucus vesiculosus 0,36 g
 - Feuille de frêne 0,36 g
 - Maté vert 0,36 g
 - Piloselle 0,36 g
 - Romarin
- } QSP un sachet de 1,8 grammes.

Comme son nom l'indique, cette tisane est utilisée pour faciliter la perte de poids chez l'adulte en complément de mesures diététiques à la dose de 1 sachet par jour pendant 3 semaines (CIP : 3132819).

Le laboratoire délices et minceur commercialise également une tisane composée dans laquelle on trouve du Maté dénommé thé minceur l'authentique® (7818531).

Sa composition est la suivante : extrait de thé vert, feuille de cassis, queue de cerise, feuille de Maté, feuille d'oranger, inuline de chicorée, extrait de chicorée, extrait de guarana, extrait d'artichaut, maltodextrine, excipients QSP un sachet.

Elle est commercialisée en boîte de 20 sachets avec pour propriété d'augmenter les dépenses énergétiques de l'organisme, limiter les envies sucrées et les fringales, préserver la vitalité et le tonus et favoriser l'équilibre de la flore intestinale (ACL : 7818531).

3. Les gélules

Seuls les laboratoires Arkopharma et Elusanes commercialisent du Maté sous forme de gélules (24).

Les gélules de Maté Elusanes contiennent 200 mg de feuilles de maté et excipient QSP une gélule (CIP : 3296136).

On retrouve dans les indications : médicament de phytothérapie traditionnellement utilisé dans les asthénies fonctionnelles et comme adjuvant des régimes amaigrissants.

La posologie usuelle est de 1 gélule matin et soir à prendre avec un grand verre d'eau.

Les gélules de Maté Arkopharma contiennent 220 mg de poudre de feuilles de Maté pour une gélule de 476 mg.

Il est présenté par le laboratoire comme un actif capable de stimuler le métabolisme et la combustion des graisses responsables de petites rondeurs et d'augmenter le sentiment de satiété.

La posologie recommandée est de 2 gélules matin et midi pendant les repas avec un grand verre d'eau en complément d'une alimentation équilibrée.

Il est commercialisé en boîtes de 60 (7924701) ou 180 gélules (7924718).

4. Les formes orales composées

Il s'agit de boissons ou de gélules contenant du Maté mais également d'autres plantes avec des indications diverses.

Le tableau suivant donne tous les produits disponibles contenant du Maté, leurs indications, conseils d'utilisation et composition.

Tableau XV : formes orales composées contenant du Maté (24).

Nom	Forme	Indications	Utilisations	Composition
Vitanatura®	Concentré pour boisson.	Fatigue, stress, mémoire en période d'activité intellectuelle intense.	1 à 2 cuillères à café dans un verre d'eau 3 fois par jour.	Angélique, artichaut, cynnorhodon, eleuterocoque, germe de blé, gingembre, Ginkgo biloba, ginseng, kola, Maté vert , pissenlit, sarriette, sauge, spiruline, méthionine, Ca, Fe, Mg, Zn, vitamine B6, vitamine C, acide glutamique, ATP, extrait de levure de bière, gelée royale lyophilisée, lécithine de soja, phospholipides, pollen, poudre de clou de girofle, sorbitol, citron, fruits de la passion, mangue, papaye, pomme et radis noir, HE de cannelle, de girofle, de mandarine, de sarriette et de thym (ACL : 6290855)
Virnat®	Gélule.	Prévention des défaillances physiologiques chez l'homme.	2 gélules à midi pendant 1 mois.	Extrait d'acérola 100 mg, poudre de Maté 80 mg , guarana 40 mg, gingembre 40 mg, shii také 40 mg, ginseng 12 mg, silice hydratée 6 mg, stéarate de magnésium 6 mg, maltodextrine (7991844).
Vie et santé sève royale®	Ampoule.	Vitalité.	1 ampoule par jour le matin.	Extrait aqueux de Maté vert 200 mg , miel d'acacia 225 mg, ginseng rouge 558 mg, argousier, propolis 150 mg, pollen 75 mg, guarana 210 mg, orange, hibiscus 50 mg (7988641).

Vie et santé ginseng B®	Solution buvable	Tonus, vitalité	1 Cuillère à soupe le matin	Maté vert 330 mg , gingembre 90 mg, sucre de canne, panax ginseng, guarana, propolis, citron, HE d'eucalyptus (7777074).
Thé ligne®	Poudre de thé instantanée.	Minceur.	4 grammes de poudre par tasse de thé. Ne pas dépasser 3 tasses par jour.	Thé noir 15 g, thé vert 1,667 g, Maté vert 0,417 g , rose d'Abyssinie 0,417 g, polypeptides de blé liés à la niacine et au Cr 0,833 g, inuline GR extrait de chicorée 1,94 g, maltodextrines 4,851 g, fructose 32,5g (7742986).
Superdiet ginseng boisson tonique®	Solution buvable.	Tonus, vitalité.	1 cuillère à soupe diluée dans un demi verre d'eau par jour.	Maté vert , gingembre, sucre de canne, panax ginseng, guarana, citron, propolis, HE d'eucalyptus (7685892).
Mincissim®	Solution buvable.	Minceur.	Pendant 10 jours 3 mesures dans un litre d'eau à boire dans la journée. A renouveler pour atteindre le poids souhaité à raison de 2 bouteilles par mois.	Concentré d'ananas et de jus de kiwi 237 ml, extrait de reine des prés, cassis, Maté , Fucus vesiculosus, thé vert, fibres et pectine de pomme, sorbate de potassium, benzoate de sodium (7832347).

<p>4321 minceur®</p>	<p>Solution buvable.</p>	<p>Minceur.</p>	<p>Cure minceur complète : 10 jours : 4 premiers jours, 4 bouchons dans un litre d'eau à boire dans la journée, 3 jours suivants 3 bouchons, 2 jours 2 bouchons et dernier jour un bouchon Cure de stabilisation : 2 bouchons par jour pendant 15 jours.</p>	<p>Extrait de feuille de thé vert, extrait de graine de guarana, extrait de feuille de Maté, extrait de racine d'orge, extrait de graine de kola, extrait de racine de chicorée, extrait de feuille de thé puerh, extrait de fruit de fenouil, extrait d'écorce d'orange amère, extrait de feuille de céleri (7822082).</p>
<p>Oligobrul®</p>	<p>Gélule.</p>	<p>Surcharges pondérales.</p>	<p>4 gélules par jour à distance des repas.</p>	<p>Extrait de citrus aurantium riche en polyamines 150 mg, extrait de guarana 100 mg, extrait de Maté 50 mg, vitamine B1 0,3 mg, vitamine B6 0,3 mg, vitamine B9 0,04 mg, vitamine B12 0,2 mcg, chlorure de chrome 6 mcg (7554687).</p>

Minci pill®	Comprimé.	Adjuvant des régimes minceur.	Programme d'attaque : 1 comprimé matin et midi pendant 15 jours Période de stabilisation : 1 comprimé après le repas.	Extrait de thé vert dosé à 30% en épigallocatechine gallate 250 mg, extrait de Maté soit 8% de caféine 42,5 mg, extrait de guarana soit 12% de caféine 70 mg (7826341).
Minceur 24®	Comprimé.	Amincissement.	1 comprimé jour le matin avant le petit déjeuner et 1 comprimé nuit le soir avant le repas avec un verre d'eau.	Comprimé jour : extrait sec de queue de cerise 100 mg, extrait sec de reine des prés 100 mg, extrait sec de goyave 100 mg, extrait sec de Citrus aurantium 75 mg, extrait sec de Maté 75 mg , extrait sec de radis noir 50 mg. Comprimé nuit : Extrait de romarin, d'olivier, de phaseolus 500 mg, extrait de soja 10 mg (7938436).
Lipofluid drainage minceur®	Ampoule.	Adjuvant des régimes hypocaloriques.	1 ampoule par jour à diluer dans un demi litre d'eau.	Eau, fructooligosaccharides, extrait de grenade, extrait de papaye, extrait de kiwi, extrait de kinkéliba, jus de citron, extrait sec de Maté , extrait sec de thé vert, poudre de myrtille.

Extra tonic®	Comprimé.	Tonus, vitalité, résistance de l'organisme, surmenage physique, surmenage intellectuel.	2 comprimés par jour le matin ou à midi.	Phosphate tricalcique soit Ca 70 mg, extrait aromatique de ginseng 100 mg, guarana 100 mg, kola 100 mg, Maté 50 mg , lécithine de soja 15 mg, bioflavonoïdes de pampleousse 50 mg, oxyde de magnésium 30 mg, vitamine C 60 mg, acérola 40 mg, sulfate de fer 7 mg, chrome 0,025 mg, sélénium 0,025 mg, vitamine E 5 mg, vitamine B3 9 mg, vitamine B6 1 mg, vitamine B2 0,8 mg, vitamine B1 0,7 mg, vitamine B9 0,1 mg, vitamine B8 0,075 mg, vitamine B12 0,0005 mg (7776755).
Celluceane®	Sachet.	Jambes lourdes, troubles de la circulation veineuse.	1 sachet par jour à diluer dans un verre d'eau une bouteille d'eau en cure de 20 jours.	Maltodextrines, extrait de feuille de vigne rouge 520 mg, extrait de criste marine 273 mg, extrait de baie de sureau 200 mg, extrait de fleur de reine des prés 260 mg, extrait de fruit de papaye 195 mg, extrait d'Ascophyllum nodosum 78 mg, extrait de feuille de Maté 78 mg (7922636).
Brûleur minceur®	Comprimé.	Minceur.	3 comprimés par jour.	Extrait de thé vert, de guarana, d'orange amère et de Maté (7915292).

Baoban®	Gélule.	Libido, tonus.	Tonus : 3 gélules le matin. Libido : 5 gélules par jour réparties dans la journée 2 semaines puis 3 par jour 2 semaines.	Extrait de kola, de gingembre, de Maté , de ginseng, de guarana (7106279).
Avriline starter®	Solution buvable.	Adjuvant des régimes hypocaloriques, ventre plat.	1 cuillère à café 15 minutes avant les repas.	Extrait de thé vert, de guarana, de bigaradier, de fucus, de Maté vert , fenouil, boldo, artichaut, papaye, radis noir, konjac, guar, ginkgo, pissenlit, mélilot, bouleau, kola et gingembre (7649229).
Avriline silhouette®	Solution buvable.	Cellulite, rétention d'eau.	1 à 2 cuillères à soupe avant les repas.	Extrait de thé vert 85%, eau 10%, glycérine 3%, extrait de cresson, radis noir, fenouil doux, maïs, carvi jaune, bardane grande racine, chiendent, millefeuille, sauge, Maté , persil, bourrache, cynorrhodon, buchu, genêt, lierre, gaïac, cyprès, chélidoine, sassafras, aspérule, ortie, pensée sauvage, frêne, salsepareille, konjac, guar (7717072).
Avriline minceur solution®	Solution buvable.	Minceur.	1 à 2 cuillères à soupe 15 minutes avant les repas.	Extrait de thé vert, eau, extrait de boldo, radis noir, Maté vert , bigaradier, fenouil, fucus, artichaut, gingembre, ginkgo, guarana, noix de kola, papaye, bouleau, mélilot jaune et pissenlit (7802174).

Avriline minceur fort comprimé®	Comprimé.	Minceur.	1 comprimé à midi et 1 comprimé le soir.	Poudre de plantes dont thé vert, guarana, bigaradier, fucus, Maté vert , fenouil, boldo, artichaut, papaye, radis noir, ananas, reine des prés, ginkgo, pissenlit, mélilot, bouleau, kola, gingembre (7834659).
Avriline coupe faim®	Barre hyperprotéinée.	Fringale, adjuvant des régimes hypocaloriques.	1 barre dès que l'envie de grignoter se fait sentir.	Abricot 31,6%, fibres de germe de blé 21,31%, thé vert, guarana, bigaradier, fucus, Maté vert , fenouil, boldo, artichaut, boldo, papaye, radis noir, konjac guar, ginkgo, pissenlit, mélilot, bouleau, kola et gingembre (7732137).
Phytofluide starter minceur®	Ampoule buvable.	Minceur.	1 ampoule par jour diluée dans un verre d'eau.	Extrait aqueux de marc de raisin 742 mg, extrait aqueux de feuille de Maté 742 mg , de racine de fenouil 742 mg, jus de pomme 10%, jus d'ananas 10% (4312914).
Symbiligne saveurs salées®	Sachet.	Amincissement, ventre plat.	Substitut de repas.	Sachet plantes : guarana, damiana, Maté , citrus aurantium, thé vert, ananas, probiotiques, queue de cerise, reine des prés (4316065).
Efficia minceur ampoule®	Ampoule.	Amincissement.	1 ampoule jour le matin et 1 ampoule nuit le soir avec un verre d'eau.	Ampoule jour : extrait de thé vert, nopal, fenouil, anis vert, Maté , reine des prés, chicorée, pissenlit, passiflore. Ampoule nuit : extrait de phaseolus vulgaris, de citrus aurantium, de persil, laminaire, palmaria palmata, maïs, basilic (4327985).

<p>Perfoptim energie®</p>	<p>Solution buvable.</p>	<p>Fatigue intellectuelle, physique, endurance, résistance de l'organisme.</p>	<p>3 cuillères à soupe le matin dans un verre d'eau.</p>	<p>Extrait de baie d'acérola, de baie de cynorhodon, de noix de kola, de feuille de Maté, de ginseng, de gingembre (4282248).</p>
<p>IMC>25®</p>	<p>Sachet.</p>	<p>Perte de poids.</p>	<p>1 sachet dans une bouteille d'eau à boire dans la journée.</p>	<p>Pectine de citrus 200 mg, gomme de guar 200 mg, vinaigre de cidre 100 mg, extrait d'ananas 50 mg, de papaye 50 mg, de café vert 25 mg, de Maté 25 mg, d'écorces d'orange 25 mg, d'orthosiphon 25 mg, de marc de raisin 25 mg, de reine des prés 25 mg, de thé vert 25 mg, vitamine E 10 mg, vitamine C 60 mg, vitamine B1 1,4 mg, vitamine B2 1,6 mg, vitamine B3 18 mg, vitamine B6 2 mg, vitamine B9 200 mcg, vitamine B12 1 mcg, vitamine B8 0,15 mg, vitamine B5 6 mg, chrome 25 mcg (4271718).</p>
<p>Inergysvelt drink®</p>	<p>Solution buvable.</p>	<p>Minceur et vitalité.</p>	<p>20 ml dans une bouteille d'eau d'un litre à boire dans la journée.</p>	<p>Extrait de guarana, de Maté, de thé vert, de Citrus aurantium, de ginseng, de kola, vitamine C, extrait de chiendent, de pissenlit, de cassis (4317604).</p>

Killokiller®	Comprimé effervescent.	Surcharges pondérales.	1 comprimé matin au petit déjeuner, 1 comprimé midi avant le déjeuner et 1 comprimé soir au début du dîner.	Comprimé matin : vitamine C, vitamine E, vitamine B3, extrait de café vert, d'olivier, de frêne, de kola, de Maté , d'orthosiphon, de pensée sauvage, de queue de cerise, de reine des prés, de thé vert. Comprimé midi : pectine de pomme, pectine de citrus, gomme guar, vinaigre de cidre, maltodextrine. Comprimé soir : extrait d'ananas, de cacao, de papaye, écorce d'orange, extrait de marc de raisin (4320500).
Lifeplus energie®	Pastille.	Fortifiant et énergétique.	1 à 2 pastilles au moment souhaité.	Vitamine B2, vitamine E, extrait de guarana, de ginseng, de Maté , de kola (7842073).
Oenobiol minceur express®	Solution buvable.	Minceur.	3 à 4 verres doseurs par jour en cure de 10 jours.	Thé vert, Maté , Citrus aurantium, reine des prés, olivier, orthosiphon (4301773).
Oligocaps flash minceur®	Solution buvable.	Minceur.	4 pressions mesure avant les 2 ppaux repas diluées dans un verre d'eau.	Extrait de thé vert, de reine des prés, de Citrus aurantium, de Maté , de guarana (4325070).

5. Les produits à usage local

On trouve dans cette catégorie essentiellement des produits cosmétiques.

Le tableau qui suit donne la liste de ces produits.

Tableau XVI: Produits à usage local (24).

Nom	Forme	Indications	Utilisation	Composition
Biofreeze®	Gel en sachet	Cryothérapie, chocs, traumatismes, foulures, entorses, lésions articulaires, musculaires, mal de dos	Appliquer en couche fine 3 à 4 fois par jour, masser jusqu'à pénétration complète	Alcool isopropylique, excipients eau, menthol, glycérine, propylène glycol, carbomère, triéthanolamine, dioxyde de silicium, méthylparaben, camphre, extrait <i>d'Ilex paraguariensis</i> , colorants E 102 et E 133 QSP 100% (7900362).
Biofreeze®	Gel en tube	Cryothérapie, chocs, traumatismes, foulures, entorses, lésions articulaires, musculaires, mal de dos	Appliquer en couche fine 3 à 4 fois par jour, masser jusqu'à pénétration complète	Alcool isopropylique, excipients eau, menthol, glycérine, propylène glycol, carbomère, triéthanolamine, dioxyde de silicium, méthylparaben, camphre, extrait <i>d'Ilex paraguariensis</i> , colorants E 102 et E 133 QSP 100% (7900356).
Phytocurl shampooing®	Shampooing	Cheveux bouclés	Shampooing fréquence	Feuilles de Maté , excipients QSP 100% (7869310).

Lipozone essentiel lait corporel®	Lait corporel	Soin corporel, relâchement cutané, cuisses, bras	Appliquer après la douche	Huile d'amande d'abricots riche en acides gras, septilift, glycérine, Maté , extrait de mangue riche en vitamine A, vitamine B et vitamine C, excipients QSP 100% (7751330).
Darphin tonique purifiant®	Lotion tonique purifiant	Peaux grasses		Acide lactique, cyprès, Maté , excipients QSP 100%
Caudalie fleur de vigne voile parfumée®	Lait corporel hydratant à la fleur de vigne	Dessèchement cutané	Appliquer sur l'ensemble du corps après la toilette	Huile de pépins de raisin, hyaluronate de sodium, bourgeon de cassis, Maté vert , eau végétale de raisin, citron , orange, excipients QSP 100% (7954381).
Adi pill gel®	Gel amincissant et hydratant	Peau d'orange, capitons, cellulite.	Appliquer matin et soir sur l'ensemble des parties concernées.	Association d'extraits de café vert et de Yerba Maté et de silicium organique (7916630).

<p>Skinrenu intensive serum-P®</p>	<p>Sérum spécifique antipoche du contour des yeux</p>	<p>Diminution du volume des poches palpébrales. Congestion périorbitaire, relâchement des paupières inférieures, cernes.</p>	<p>Appliquer matin et soir une goutte de sérum sur le contour des yeux en massant légèrement</p>	<p>Deionized water, methylsilanol mannuronate, <i>Cola nitida</i>, guarana, <i>Ilex paraguariensis</i>, oligomeric proantocyanidin esters, glycine, methyl gluceth, glycosaminoglycans, squalen, carbomère (7834576).</p>
---	---	--	--	---

III. Utilisation des composants du Maté

1. Le Maté : matière première pour l'extraction de la caféine

Comme nous l'avons déjà vu le Maté contient de la caféine et de la théobromine.

La caféine est très utilisée dans l'alimentation pour la préparation de boissons ou dans l'industrie pharmaceutique pour la réalisation de médicaments ou compléments alimentaires.

L'extraction de ces composants et surtout de la caféine présente donc un intérêt tout particulier d'un point de vue économique.

Tout comme pour la décaféination du café, l'extraction de la caféine du Maté peut faire appel à des solvants organiques ou à de l'eau.

Cependant, l'utilisation de solvant chimique entraîne le risque non négligeable de résidus toxiques dans les produits extraits.

L'eau quand à elle qui est un excellent solvant des bases xanthiques n'est nullement sélective et son utilisation peut entraîner l'élimination d'autres composants des feuilles de Maté avec éventuellement la perte de ceux responsables du goût du maté.

La présence de résidus toxiques dans de la caféine destinée à l'industrie pharmaceutique n'est pas acceptable et des produits décaféinés n'ayant pas le même goût que les produits d'origine n'est pas possible non plus.

C'est pour cette raison que l'extraction de la caféine du Maté pour l'industrie agro-alimentaire ou pharmaceutique fait appel au CO₂ supercritique.

La température critique basse, la non toxicité et le faible coût de cette technique font du CO₂ supercritique un excellent solvant pour les produits alimentaires.

L'intérêt de cette méthode est donc uniquement économique et n'est pas utilisé classiquement (93).

Les données de température, de pression et de quantité de CO₂ utilisées sont très importantes.

Une étude sur l'extraction des méthylxanthines par l'utilisation du CO₂ supercritique comme solvant a été réalisée et rapporte les résultats suivants :

- la solubilité de la caféine diminue lorsque la température augmente pour des pressions inférieures à 19 MPa. Trois températures ont été testées : 313, 323 et 343°K.

- Pour des pressions supérieures à 19 MPa, la solubilité augmente lorsque la température augmente.

- Les solubilités de la théobromine et de la théophylline augmentent parallèlement avec la pression et la température mais sont moins importantes que celle de la caféine ;

- A température et pression constantes la quantité de caféine extraite en fonction de la quantité de dioxyde de carbone utilisée montre que le taux d'extraction le plus élevé est obtenu en début d'extraction puis diminue rapidement. Il en est de même pour la théobromine et la théophylline.

En conclusion, les paramètres les plus intéressants pour l'extraction des méthylxanthines par le CO₂ supercritique sont les suivants : 7 heures d'extraction à 343,2°K et une pression de 25,5 MPa et un débit de CO₂ compris entre 0,9 et 1,2 g.min⁻¹ (94).

Une autre étude a montré que l'adjonction de cosolvant comme l'éthanol permet d'améliorer l'extraction et de réduire la pression utilisée.

Les résultats de cette étude montrent une meilleure extraction des méthylxanthines en utilisant 10% éthanol et 90% de CO₂.

Une quantité deux fois plus importante de caféine a pu être extraite par l'adjonction d'éthanol en petite quantité et à une pression plus faible (400 bar et 70°C pour du CO₂ supercritique pur contre 200 bar et 70°C pour le mélange éthanol/CO₂).

Le but de cette étude était de réduire les coûts d'extraction des méthylxanthines par du CO₂ supercritique seul par une diminution de l'énergie utilisée (93).

2. Les composés volatils

Comme nous l'avons déjà vu, les composés volatils et plus particulièrement le géraniol et le nérolidol présentent une activité antibactérienne sur différents microorganismes.

L'activité antibactérienne la plus intéressante est celle vis-à-vis de *Streptococcus mutans*. Cette bactérie est en effet cariogène chez l'homme.

Les principaux efforts faits en matière de prophylaxie dentaire ont consisté en l'élimination des bactéries cariogènes de la flore buccale. Des antibiotiques peuvent être utilisés mais cela entraîne un déséquilibre de la flore intestinale et des effets indésirables trop nombreux.

C'est pourquoi l' α -ionone, la β -ionone, l' α -terpinéol, le nérolidol, l'eugénol et le linalol identifiés dans la Maté sont utilisés comme ingrédients entrant dans la composition de certaines sucreries comme les bonbons, les glaces et les chewing-gums afin de prévenir les caries (69).

IV. Conclusion

Comme on peut le constater, le Maté est principalement exploité pour sa teneur en caféine dont découlent les propriétés toniques et amincissantes et aucun des autres composants (à part les composés volatils) n'est actuellement utilisé en thérapeutique ou en complémentation nutritionnelle.

Cependant la composition chimique des feuilles et l'étude pharmacologique laissent entrevoir de nombreuses perspectives d'avenir en thérapeutique.

CONCLUSION

THESE SOUTENUE PAR : Partouche Michael et Gerbaka Philippe

TITRE : Le Maté : du mythe à la réalité.

CONCLUSION

Le Maté (*Ilex paraguariensis*) est un arbre que l'on trouve à l'état naturel au Paraguay, en Uruguay, dans le Sud du Brésil et le Nord-Est de l'Argentine.

Les feuilles desséchées, puis légèrement torrifiées et brisées constituent la drogue que l'on nomme « Yerba Mate » et qui est utilisée pour la préparation d'une boisson consommée depuis les temps les plus anciens par les indiens Guaraní du Paraguay. Aujourd'hui, c'est la boisson nationale de plusieurs pays d'Amérique du Sud et plus particulièrement en Argentine où la culture de Maté a un réel impact économique.

En plus d'être une boisson quotidienne dont l'usage est profondément ancré dans la culture de ces pays, le Maté possède d'étonnantes vertus médicinales prouvées ou non et qui ont fait l'objet de plusieurs études scientifiques. En effet, qualifié de « remède naturel et de boisson magique », il est traditionnellement utilisé dans le traitement de la fatigue mentale et physique, la constipation, les troubles de la digestion, l'obésité et l'hypertension.

D'un point de vue chimique, les feuilles d'*Ilex paraguariensis* contiennent des bases xanthiques à savoir de la caféine (0,3 à 1,7%), de la théobromine (0,1 à 0,5%) et des traces de théophylline expliquant ses propriétés toniques stimulantes et amaigrissantes reconnues depuis longtemps.

On trouve également des saponines (6 à 10%) de découverte plus récente dont découlent des propriétés hypocholestérolémiantes et cardioprotectrices reconnues mais pas encore exploitées en thérapeutique. Ces saponines sont également capitales d'un point de vue gustatif car elles confèrent au Maté son amertume particulière. Elles sont également présentes dans les fruits dont l'incorporation dans des préparations commerciales permettrait la vente de Maté avec des saveurs différentes, de développer l'économie des pays producteurs et de conquérir de nouveaux marchés (En Europe, le Maté est faiblement apprécié et n'a jamais été en mesure de concurrencer le thé ou le café).

Les feuilles sont également riches en polyphénols (environ 10%) qui lui confèrent des propriétés antioxydantes, cholérétiques et préventives vis-à-vis des pathologies secondaires au diabète.

Même si la culture du Maté est de plus en plus industrialisée et contrôlée, il arrive fréquemment que d'autres espèces d'*Ilex* appelées espèces falsifiantes (*I. dumosa*, *I. brevicuspis*, *I. theezans*...) entrent dans la composition de Maté commerciaux ce qui en modifie les activités biologiques et le goût. Cependant,

la connaissance de la composition chimique des feuilles permet de détecter ces falsifications puisque les saponines d'*I. paraguariensis* lui sont propres, qu'il contient plus de polyphénols que les falsifiants et que la présence simultanée de caféine et de théobromine le caractérise.

En France, le Maté est dispensé dans les officines sous forme de gélules ou d'infusions à des fins stimulantes, toniques et comme adjuvant des régimes amaigrissants.

La véritable controverse sur le Maté concerne les nombreuses publications le mettant en cause directement dans des cancers de la cavité orale, de l'oropharynx et de l'œsophage.

Même si le mécanisme de carcinogenèse est toujours inconnu (lésion thermique ou activation de composés cancérigènes), ces études sont en contradiction avec l'action inhibitrice du Maté sur la topoisomérase II grâce à des composants encore inconnus. En effet, cette inhibition a une action préventive vis-à-vis des cancers. Il ne fait aucun doute que dans un futur proche, de nouvelles études permettront d'élucider cette controverse, d'encadrer son utilisation pour limiter les risques de cancers digestifs, et pourquoi pas d'utiliser les composants du Maté dans des traitements anticancéreux.

Considérer le Maté uniquement comme une plante à caféine relève bien du mythe puisque la réalité est toute autre : ses constituants majeurs étant des saponines et des polyphénols ouvrant de nouvelles voies dans le traitement de différentes pathologies comme l'athérosclérose et le diabète.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le 21/11/05

LE DOYEN

P. DEMENGE



LE PRESIDENT DE LA THESE

A.M. MARIOTTE

Mariotte

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

1. Acheson K.J : Obesity and thermogenesis in man.
Diabete and metabolism, 1987,**13** : 549-543
2. Anesini C., Ferraro G., Filip R. Peroxydase-like activity of *Ilex paraguariensis*.
Food Chemistry, 2005 : article in press
3. Al-Masri M.S., Nashawati A., Amin Y., Al-Akel B. Determination of ^{210}Po in tea, Mate and their infusions and its annual intake by Syrians.
Journal of radio analytical and nuclear chemistry, 2004, **260**: 27-34.
4. Andersen T., Fogh J. Weight loss and delayed gastric emptying following a South American herbal preparation in overweight patients.
J Hum Nutr Dietet, 2001, **14**: 243-250.
5. Andrade F.D.P., Piacente S., Pizza C., Vilegas W. Arbutin-2'-sulphonyl from the infusion of *Ilex theezans* leaves.
Fitoterapia, 2004, **75**: 782-784.
6. Arbisier J.L. et al. Naturally occurring proteasome inhibitors from Mate tea (*Ilex paraguariensis*) serve as models for topical proteasome inhibitors.
J Invest Dermatol, 2005, **125**: 207-212.
7. Athayde M.L., Coelo G.C., Schenkel E.P. Caffeine and theobromine in epicuticular wax of *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.
Phytochemistry. 2000, **55**: 853-857.
8. Baltassat F., Darbour N., Ferry S. Study on the purine levels in caffeine drugs.
I. Mate: *Ilex paraguariensis* Lamb.
Plantes médicinales et phytothérapie. 1984, **18** : 195-203.
9. Bixby M., Spieler L., Menini T., Gugliucci A. *Ilex paraguariensis* extracts are potent inhibitors of nitrosative stress : a comparative study with green tea and wines using a protein nitration model as mammalian cell cytotoxicity.
Life Sciences, 2005, **77** : 345-358.
10. Boffetta P., Parkin Maxwell D. Cancer In developing countries.
Ca Cancer J. Clin., 1994, **44**: 81-90.

11. Bourinet Christophe. Contribution à l'étude du Maté (*Ilex paraguariensis* A. Saint Hilaire). Thèse de doctorat en pharmacie, 1994.
12. Bracesco N. et al. Antioxydant activity of a botanical extract preparation of *Ilex paraguariensis*: prevention of DNA double-strand breaks in *Saccharomyces cerevisiae* and human low-density lipoprotein oxidation. *Journal of alternative and complementary medicine*, 2003, **9** : 379-387.
13. Brook G., Descartes de Garcia P.R. Biochemistry of mat.acte.e. II. Distribution and localization of choline in different parts of yerba mat.acte.e (*Ilex paraguariensis*), 1953, **12**: 193-196.
14. Bruneton J. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3ème édition, éditions tec et doc, Paris, 1999 : 310-311, 318, 671-681, 239-241, 1071-1073.
15. Candreva E.C., Keszenman D.J., Barrios E., Gelos U., Nunes E. Mutagenicity induced by hyperthermia, hot Mate infusion and hot caffeine in *Saccharomyces cerevisiae*. *Cancer research*, 1993, **53**: 5750-5753.
16. Carini M., Maffei Facino R., Aldini G., Calloni M, Colombo L. Characterization of phenolic antioxydants from Mate (*Ilex paraguariensis*) by liquid chromatography/mass spectrometry and liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Rapid Commun Mass Spectrom.*, 1998, **12** : 1813-1819.
17. Cascon S.C. Amino acids in *Ilex paraguariensis*. *Bol. Inst. Quim. Agr.*, 1955, **38**: 7-15.
18. Castelletto R., Castellsague X., Munoz N., Iscovich J., Chopita N., Jmelnitsky A. Alcohol, Tobacco, diet, Mate drinking, and oesophageal cancer in Argentina. *Cancer epidemiol Biomarkers prevent*, 1994, **3**: 557-564.
19. Castellsague X., Munoz N., De Stefani E., Victoria C., Castelletto R., Rolon P. Influence of Mate drinking, hot beverages and diet on oesophageal cancer risk in south America. *Int. J. Cancer*, 2000, **88**: 658-664.
20. Chaves J.M. Vitamins B1, B2, and C in different varieties of Yerba Mate. *Rev. Alimentar*. 1944, **8** : 5-7.

21. Chaves M.G., Maiocchi M.G., Sgroppo S.C., Avanza J.R. Antioxidant activity of Yerba Mate infusions (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) Argent. Informacion Tecnologica, 2002, **13**: 03-07
22. Chlamtac E.B. Sugars in *Ilex paraguariensis*. Bol. Inst. Quim. Agr. 1955, **38**: 17-24.
23. Choi Y. H., Sertic S., Hye Kyong K. et al. Classification of *Ilex* species based on Metabolomic Fingerprinting using Nuclear Magnetic Resonance and Multivariate Data Analysis. J. Agric. Food Chem., 2005, **53** : 1237-1245.
24. Clickadoc OCP, 2005.
25. Correia D. Existence of trigonelline in yerba mat.acte.e. Arquiv. Biol. E tecnol., Inst. Biol. E pesquisas tecnol., Curitiba, Brasil, 1947, **2** : 265-290.
26. De Bernardi L.A., Prat Kricun S.D. Cadena alimentaria de Yerba Mate. Diagnostico de la region yerbatera. Secretaria de agricultura, ganaderia, pesca y alimentacion, 2001 : 1-71.
27. De Camargo M.C.R., Toledo M.C.F. Cha-Mate e café como fontes de hidrocarbonetos policiclicos aromaticos (HPAS) na dieta da populacao de Campinas. Cienc Tecnol Aliment., 2002, **22** : 49-53.
28. De Mejia G.E., Soo Song Y., Vinicio Ramirez-Mares M., Kobayashi H. Effect of Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) tea on topoisomerase inhibition and oral carcinoma cell proliferation. J. Agric. Food Chem., 2005, **53**: 1966-1973.
29. Descartes de Garcia P.R. Alkaloids in Brazilian mat.acte.e (*Ilex paraguariensis*). Bol. Inst. Nacl. Tecnol., 1956, **7** : 3-7.
30. De Stefani E., Correa P., Fierro L., Fonham E., Chen V., Zavala D. Black tobacco, Mate and bladder cancer. A case control study from Uruguay. Cancer, 1991, **67**: 536-540.
31. De Stefani E, Correa P, Oreggia F et al. Black tobacco, wine and Mate in oropharyngeal cancer. A case control study from Uruguay. Rev. epidemiol. santé publique, 1988, **36**: 389-394.

32. De Stefani E., Fierro L., Correa P., Fontham E., Ronco A., Larrinaga M., Balbi J., Mendilaharsu M. Mate drinking and risk of lung cancer in males : a case control study from Uruguay.
Cancer epidemiology, biomarkers and prevention, 1996, **5**: 515-519.
33. De Stefani E., Fierro L., Mendilaharsu M. et al. Meat intake, Mate drinking and renal cell cancer in Uruguay : a case control study.
British journal of cancer, 1998, **78**: 1239-1243.
34. De Stefani E., Munoz N., Esteve J., Vassallo A., Victoria C.G., Teuchmann S. Mate drinking, alcohol, tobacco, diet and oesophageal cancer in Uruguay.
Cancer res., 1990, **50**: 426-431.
35. Dictionnaire de la Botanique, Encyclopédie Universalis, Albin Michel, 1999 : 211-214.
36. Dictionnaire Vidal 2005, OVP Editions du Vidal, Paris 2005.
37. Dietz J., Diehl A.S., Prolla J.C., Furtado C.D., Furtado A.D. Micronuclei research the oesophageal mucosa and its relationship with risk factors with cancer of the oesophagus.
Rev. Assoc. Med. Bras., 2000, **46**: 207-211.
38. Di Gregorio D.E., Huck H., Aristegui R., De Lazzari G., Jech A. ¹³⁷Cs contamination in tea and Yerba Mate in South America.
Journal of environmental radioactivity, 2004, **76**: 273-281.
39. Dorosz P., guide pratique des médicaments, 16^{ème} édition, Maloine, Paris, 1999 : p1153.
40. Dorvault F., L'Officine, 12ème édition, Vigot, Paris, 1987, p 1747.
41. Esmelindro M.C., Toniazzo G., Waczuck A., Dariva C., De Oliveira D. Caracterizacao fisico-quimica da erva-mate : influencia das etapas do processamento industrial.
Cienc Tecnol Aliment., 2002, **22** : 193-204.
42. Ferreira F., Vázquez A., Güntner C., Moyna P. Inhibition of the passive diffusion of cholic acid by the *Ilex paraguariensis* St Hil. Saponins.
Phytotherapy research, 1997, **11** : 79-81.

43. Filip R., Lopez P., Coussio J., Ferraro G. Mate substitutes or adulterants : study of xanthine content.
Phytotherapy research, 1998, **12**: 129-131.
44. Filip R., Lopez P., Giberti G., Coussio J., Ferraro G. Phenolic compounds in seven south american *Ilex* species.
Fitoterapia, 2001, **72**: 774-778.
45. Filip R., Lotito S.B., Ferraro G., Fraga C.G. Antioxidant activity of *Ilex paraguariensis* and related species.
Nutrition research, 2000, **20**: 1437-1446.
46. Fonseca C.A., Otto S.S., Paungarten F.J., Leitao A.C. Nontoxic, mutagenic and clastogenic activities of Mate-chimarrao (*I. paraguariensis*).
J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol., 2000, **19**: 333-46.
47. Franco E.L., Kowalski L.P., Oliveira B.V. Risk factors for oral cancer in Brazil: a case control study.
Int. J. Cancer, 1989, **41**: 992-1000.
48. Gnoatto S.C.B., Schenkel E.P., Bassani V.L. HPLC method to assay total saponins in *Ilex paraguariensis* aqueous extract.
J. Braz. Chem. Soc., 2005, **16**: 723-726.
49. Goldenberg D. Mate : a risk factor for oral and oropharyngeal cancer.
Oral oncology, 2002, **38**: 646-649.
50. Goldenberg D. et al. Habitual risk factors for head and neck cancer.
Otolaryngol Head Neck Surg., 2004, **131**: 986-993.
51. Gorgen M., Turatti K., Medeiros A.R. Aqueous extract of *Ilex paraguariensis* decreases nucleotide hydrolysis in rat blood serum.
Journal of Ethnopharmacology, 2005, **97**: 73-77.
52. Gorzalczany S., Filip R., Rosario Alonso M., Miño J., Ferraro G., Acevedo C. Choloretic effect and intestinal propulsion of Mate (*Ilex paraguariensis*) and its substitutes or adulterants.
Journal of Ethnopharmacology, 2001, **75**: 291-294
53. Gosman G., Guillaume D., Taketa A., Toshirrico C., Schenkel E.P. Triterpenoids saponins from *Ilex paraguariensis*.
Journal of natural products, 1995, **58**:438-441.

54. Gosmann G., Schenkel E.P., Seligmann O. A new saponin from Mate, *Ilex paraguariensis*.
Journal of natural products, 1989, **52**: 1367-1370.
55. Grigioni G., Carduza F., Irurueta M., Pensel N. Flavour characteristics of *Ilex paraguariensis* infusion, a typical Argentine product, assessed by sensory evaluation and electronic nose.
J. Sci. Food Agric, 2004, **84**: 427-432.
56. Guglielmelli L., Palet L.P.J. The caffeine content of yerba mate (Paraguay tea, *Ilex paraguariensis*).
Anales soc. Cientifica Argentina, 1915, **80** : 246-259.
57. Gugliucci A. Antioxidant effects of *Ilex paraguariensis*: induction of decreased oxidability of human LDL *in vivo*.
Biochemical and biophysical research communication, 1996, **224**: 338-344.
58. Gugliucci A., Menini T. The botanical extracts of *Achyrocline satureoides* and *Ilex paraguariensis* prevent methylglyoxal-induced inhibition of plasminogen and antithrombin III.
Life science, 2002, **72**: 279-292
59. Gugliucci A. ; Stahl A.J.C. Low density lipoprotein oxidation is inhibited by extracts of *Ilex paraguariensis*.
Biochemistry and Molecular Biology International, 1995, **35** : 47-56.
60. Guignard J.L. Abrégé de botanique, Masson, Paris, Milan, Barcelone, Bonn, 8ème edition, 1993 : 158, 163.
61. Heinrichs R., Malavolta E.. Composição mineral do produto comercial da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.).
Ciencia rural, Santa Maria, 2001, **31**: 781-785.
62. Heywood V.H. Les plantes à fleurs, 306 familles de la flore mondiale, Nathan, Paris, 1999 : 182.
63. Hongpattarakere T., Johnson E.A. Natural antimicrobial components isolated from Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*).
Multiple Pathogens Control, Annual Report.,1999: 39.
64. Hostettmann K. Le Maté, un adjuvant dans les régimes amaigrissants.
La Phytothérapie Européenne, Mars/Avril 2004, 26-27.

65. Jequier E, Schutz Y : New evidence for a thermogenic defect in human obesity.
International journal of obesity, 1985, **9** : 1-7.
66. Judd, Campbell, Kellogg, Stevens. Botanique systématique, une perspective phylogénétique. 2002, De Boeck Université, 1ère édition : 238, 268, 299, 385,386.
67. Kawakami M., Kobayashi A. Volatile constituents of green Mate and roasted Mate.
J. Agric. Food chem., 1991, **39**: 1275-1279.
68. Kraemer K.H., Taketa A., Schenkel E.P., Gosmann G., Guillaume D. Matesaponin 5, a highly polar saponin from *Ilex paraguariensis*.
Phytochemistry, 1996, **42**: 1119-1122.
69. Kubo I., Muroi H., Himejima M. Antibacterial activity against *Streptococcus mutans* of Mate tea flavor components.
J. Agric. Food Chem, 1993, **41** : 107-111.
70. Leitao A.C., Braga R.S. Mutagenic and genotoxic effects of Mate (*Ilex paraguariensis*) in prokaryotic organisms.
Braz J Med Biol Res., 1994, **27**: 1517-1525.
71. Lopez Campanher Adolfo G., Malgor Luis A., Valsecia Mabel, Markowsky E., Mendoza Luis. Estudio de las acciones farmacologicas de una especie de Yerba Mate : *Ilex dumosa* reiss.
Universidad nacional del nordeste, comunicaciones cientificas y tecnologicas 2000.
72. Lunceford N., Gugliucci A. *Ilex paraguariensis* extract inhibit AGE formation more efficiently than green tea.
Fitoterapia, 2005, **76** : 419-427.
73. Martinet A., Hostettmann K., Schutz Y. Thermogenic effect of commercially available plant preparations aimed at treating human obesity.
Phytomedicine, 1999, **6**: 231-238.
74. Martinet A., Ndjoko K., Terreaux C., Marston A., Hostettmann K., Schutz Y. NMR and LC-MSn characterisation of two minor saponins from *Ilex paraguariensis*.
Phytochemical analysis, 2001, **12** : 48-52.

75. Mazzafera P. Caffeine, theobromine and theophylline distribution in *Ilex paraguariensis*.

R. Bras. Fisiol. Veg., 1994, **6**: 149-151.

76. Mazzafera P. Mate drinking : caffeine and phenolic acid intake.

Food chemistry, 1997, **60**: 67-71.

77. Mello L.D., Taboada Sotomayor M.P., Kubota L.T. HPR-based amperometric biosensor for the polyphenols determination in vegetables extract.

Sensors and acutors, 2003, **96**: 636-645.

78. Milgate J., Roberts D.C.K. The nutritional and biological significance of saponins.

Nutrition research, 1995, **15**: 1223-1249.

79. Muccillo Baisch A.L., Johnston K.B., Paganini Stein F.L. Endothelium-dependent vasorelaxing activity of aqueous extracts of *Ilex paraguariensis* on mesenteric arterial bed of rats.

Journal of Ethnopharmacology, 1998, **60** : 133-139.

80. Munoz N., Victoria C.G., Crespi M., Saul C., Braga N.M., Correa P. Hot mate drinking and precancerous lesions of the oesophagus: and endoscopic survey in southern Brazil.

Int. J. Cancer, 1987, **39**: 710-716.

81. Murray R.K., Granner D.K., Mayes P.A., Rodwell V.W. Précis de biochimie de Harper, Les presses de l'Université Laval, 8ème édition, 1995 : 752.

82. Negishi O., Negishi Y., Yamaguchi F., Sugahara T.. Deorization with kuding-cha containing a large amount of caffeoyl quinic acid derivatives.

J. Agric. Food. Chem., 2004, **52** : 5513-5518.

83. Oreggia F, De Stefani E, Fierro L. risk factors for cancer of the tongue in Uruguay.

Cancer, 1991, **67**: 180-183.

84. Pharmacopée Française, X^{ème} édition, Maisonneuve S.A., 1996.

85. Pintos J., Franco E.L., Oliveira B.V., Kowalski L.P., Curado M.P., Dewar R. Mate, coffee and tea consumption and risk of cancers of the upper aerodigestive tract in southern Brazil.

Epidemiology, 1994, **5**: 583-590.

86. Pires V.S., Guillaume D., Gosmann G., Schenkel E.P. Saponins from *Ilex dumosa*, an Erva-Mate (*Ilex paraguariensis*) adulterating plant. *J. Agric. Food Chem.*, 1997, **45** : 1027-1031.
87. Pomilio A.B., Trajtemberg S., Vitale A.A. High-performance capillary electrophoresis analysis of mate infusions prepared from stems and leaves of *Ilex paraguariensis* using automated micellar electrokinetic capillary chromatography. *Phytochem. Anal.*, 2002, **13**: 235-241.
88. Ramirez-Mares M.V., Chandra S., De Mejia E.G. In vitro chemopreventive activity of *Camellia sinensis*, *Ilex paraguariensis*, and *Ardisia compressa* tea extracts and selected polyphenols. *Mutation research*, 2004, **554** : 53-65.
89. Reginatto F., Athayde M.L., Gosmann G., Schenkel E.P. Methylxanthines accumulation in *Ilex* species-Caffeine and theobromine in Erva-Mate (*Ilex paraguariensis*) and other *Ilex* species. *Journal of the brazilian chemical society*, 1999, **10**: 443-446.
90. Rolon P.A, Castellsague X., Benz M., Munoz N. Hot and cold Mate drinking and oesophageal cancer in Paraguay. *Cancer epidemiol biomarkers prevent*, 1995, **4**: 595-605.
91. Rombi M. 100 Plantes Médicinales, composition, mode d'action et intérêt thérapeutique, Romart, Nice, 1991.
92. Ronco A., Barrios E., Fierro L., Balbi J., Larrinaga M., De Stefani E. Risk factors for oesophageal cancer in non smokers and non drinkers: a case control study in Uruguay. *Rev. Bras. Epidemiol.*, 2004, **7** : 383-391.
93. Saldana M.D.A., Zetzl C., Mohamed R.S., Brunner G. Extraction of methylxanthines from guarana seed, Mate leaves, and cocoa beans using supercritical carbon dioxide and ethanol. *J. Agric. Food Chem.*, 2002, **50** : 4820-4826.
94. Saldana M.D.A., Mohamed R.S., Baer M.G., Mazzafera P. Extraction of purine alkaloids from Mate (*Ilex paraguariensis*) using supercritical CO₂. *J. Agric. Food Chem.*, 1999, **47**: 3804-3808.

95. Santos I. S., Matijasevich A., Valle Neiva C.J. Mate drinking during pregnancy and risk of preterm and small for gestational age birth. *Journal of nutrition*, 2005, **135**: 1120-1123.
96. Schaller A., Klaushofer H. M. Spectroscopic method for determining the total methylxanthine contents of caffeine containing beverages. *Versuchsta Garungsgewerbe*, 1955, **9**: 105-11.
97. Schenkel E.P., Gosmann G., Monthana J.A., Heizmann B.M., Athayde M.L., Taketa A., Pires V.S., Guillaume D. Saponins from Mate (*Ilex paraguariensis*) and other south american *Ilex* species : ten years research on *Ilex* saponins. *Ciencia e cultura*, 1997, **49** : 359-363.
98. Schinella G., Fantineli J. C., Mosca S. M. Cardioprotective effects of *Ilex paraguariensis* extract : evidence for a nitric oxide-dependent mechanism. *Clinical Nutrition*, 2005, **24**: 360-366.
99. Schinella G.R., Troiani G., Davila P., de Buschiazzo P.M., Tournier H.A. Antioxydant effects of an aqueous extract of *Ilex paraguariensis*. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2000, **269** : 357-360.
100. Schmalko M., Ramallo L., Ferreira D., Berlingheri R. Dimethoate degradation in plants and during processing of Yerba Mate leaves. *Brazilian archives of biology and technology*, 2002, **45**: 419-422.
101. Sewram V., De Stefani E., Brennan P., Boffetta P. Mate consumption and the risk of squamous cell esophageal cancer in Uruguay. *Cancer epidemiology, biomarkers and prevention*, 2003, **12** : 508-513.
102. Silva L.B., Santos S.S.S., Azevedo C.R. and al. The leaves of green plants as well as a cyanobacterium, a red alga, and fungi contain insulin-like antigens. *Brazilian journal of Medical and Biological Research*, 2002, **35**: 297-303.
103. Spichiger R.E., Savolainen V.V., Figeat M. Botanique systématique des plantes à fleurs, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2000 : 306, 307.
104. Taketa A., Breitmaier E., Schenkel E.P. Triterpenes and triterpenoidal glycosides from the fruits of *Ilex paraguariensis* (Mate). *Journal of the Brazilian chemical society*, 2004, **15**: 205-211.

105. Tenorio S.M.D., Torija I.M.E. Mineral elements in Mate (*Ilex paraguariensis* St Hil.).
Archivos latinoamericanos de nutricion 1991, 41: 441-454.
106. Teramoto S., Oki N., Kusano S. Mate leaf inhibits the activity of saccharide hydrolyzing enzymes and suppresses the increase in blood glucose levels after sugar loading in rats.
Nippon Eiyo, Shokuryo Gakkaishi, 2005, 58 : 17-21.
107. Thevenard M. Recherches histologiques sur les Ilicacées. Thèse de doctorat en pharmacie, 1906.
108. Vera Garcia R., Basualdo I., Peralta I., De Herebia M., Caballero S. Mineral content of paraguayan Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*, S.H.).
Archivos latinoamericanos de nutricion, 1997, 47 : 77-80.
109. Victoria C.G., Munoz N., Day N.E., Barcelos L.B., Peccin D.A., Braga N.M. Hot beverages and oesophageal cancer in southern Brazil : a case control study. Int. J. Cancer, 1987, 39: 710-716.
110. Wasicky M., Teston A. J. The biological effect of chimarrao (unsweetened mate) as this is customarily used in Rio Grande do Sul compared with that of coffee or of tea, based on the quantities of caffeine available to the human organism from these beverages.
Tribuna Farm, 1964: 31-43.
111. Wichtl M., Anton R., Plantes Thérapeutiques, 2^{ème} édition, Merck, 2004 : p366-368
112. Wisen O., Johansson C. Gastrointestinal function in obesity : motility secretion and absorption following a liquid test meal.
Metabolism, 1992, 41: 747-751.
113. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ilex>
114. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9>.
115. <http://familleautourdumonde.free.fr/amsu2002/pages/mate.html>
116. <http://www.fndc.govt.nz/misc/SoilClimate/yerbamate.pdf>
117. http://www.nature.jardin.free.fr/1103/nmauric_ilex_paraguariensis.html

118. <http://www.misiones.gov.ar/comercio/RelevamientoYerbatero/Comercializacion.htm>
119. <http://www.passeportsante.net/fr> page 1
120. http://www.passeportsante.net/fr/SolutionsSupplements/Fiche.aspx?doc=yerba_mate_ps
121. <http://www.plantasmedicinales.org/trabep/may2001/trabep3.htm>
122. <http://www.rain-tree.com/yerbamate.htm>
123. <http://www.redargentina.com/Faunayflora/plantas/yerbamate/canchado.asp>
124. <http://www.redargentina.com/faunayflora/plantas/yerbamate/cultivo.asp>
125. <http://www.redargentina.com/Faunayflora/plantas/yerbamate/historiaelmate.asp>
126. <http://www.redargentina.com/Faunayflora/plantas/yerbamate/laplanta.asp>
127. <http://www.redargentina.com/Faunayflora/plantas/yerbamate/sapecado.asp>
128. <http://www.redargentina.com/Faunayflora/plantas/yerbamate/secado.asp>
129. <http://www.reseauproteus.com>
130. http://www.reseauproteus.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=yerba_mate_ps#P33_1818
131. <http://www.saudiaramcoworld.com/issue/199506/the.south.american.leaf.htm>
132. http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-3/infusion/yerba_99/Yerba_02.htm
133. <http://www.tierradegauchos.com/Costumbres/Elmate.htm>





Serment des Apothicaire

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

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

Et 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.

Et 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.



Titre :

Le Maté : du mythe à la réalité.

Mots-clé :

Ilex paraguariensis, Maté, caféine, polyphénols, saponines, amincissant, anti-oxydant, hypocholestérolémiant.

Résumé :

Le Maté (Yerba Maté ou thé des Jésuites) est la boisson traditionnelle sud-Américaine préparée à partir des feuilles d' *Ilex paraguariensis*, un arbuste originaire du Paraguay mesurant 4 à 8 mètres de haut et appartenant à la famille des Aquifoliacées. Les feuilles fraîches de couleur vert-sombre à limbe ovale et bord dentelé vont subir, après récolte, différentes étapes de préparation (séchage, torréfaction, mouture et stockage) avant de devenir le Yerba Maté. Il est actuellement cultivé au Brésil, en Argentine, au Paraguay et sa consommation en Amérique du sud est semblable à celle du thé en Asie. A l'origine, les indiens Guaraní lui attribuaient des vertus toniques et excitantes d'origine quasi-divines. Il est aujourd'hui utilisé en Europe pour son effet tonique, stimulant et amincissant lié à la présence de caféine dans les feuilles. Cependant, les bases xanthiques sont loin d'être les composants majoritaires du Maté. En effet les feuilles d'*Ilex paraguariensis* renferment des saponines (10%) et des polyphénols (10%) qui, au regard de différentes études récentes, lui confèreraient des propriétés anti-oxydantes, hypocholestérolémiantes, cardioprotectrices, cholérétiques qui laissent envisager des utilisations futures dans le traitement des complications du diabète et l'athérosclérose.

Malgré toutes ces propriétés, certaines études mettent en cause le Maté dans la survenue de cancers digestifs par des mécanismes encore inconnus (lésion thermique ou activation de composés cancérigènes) chez les gros buveurs (consommation supérieure à un litre par jour). Il n'en demeure pas moins que ces résultats doivent être confirmés dans des conditions expérimentales adaptées.

Jury :

Mme le professeur Anne-Marie Mariotte, président du jury.

Mr Serge Krivobok, maître de conférence.

Mr Pierre Zakar, pharmacien d'officine.

Date de soutenance : 13 décembre 2005.