



HAL
open science

Place de la baie de Goji (*Lycium barbarum* L. Solanaceae) parmi les superfruits actuels : ses bienfaits antioxydants

Manon Leroux

► To cite this version:

Manon Leroux. Place de la baie de Goji (*Lycium barbarum* L. Solanaceae) parmi les superfruits actuels : ses bienfaits antioxydants. Médecine humaine et pathologie. 2014. dumas-01113884

HAL Id: dumas-01113884

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01113884>

Submitted on 6 Feb 2015

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

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

UNIVERSITE DE ROUEN
UFR DE MEDECINE ET DE PHARMACIE

Année 2013/2014

N°

THESE

pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Présentée et soutenue publiquement le 3 juillet 2014

par

LEROUX Manon

Née le 6 avril 1989 à Harfleur

***Place de la baie de Goji (*Lycium barbarum* L. Solanaceae)
parmi les superfruits actuels : ses bienfaits antioxydants.***

Président du jury : *Mme Elisabeth SEGUIN, Professeur de Pharmacognosie*

Membres du jury : *Mme Marie-Laure GROULT, Maître de Conférences en
Botanique*

Mme Béatrice BLAMPIED, Pharmacien d'officine

L'Université de Rouen et l'UFR de Médecine et de Pharmacie de Rouen n'entendent donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions sont propres à leurs auteurs.

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012 - 2013
U.F.R. DE MEDECINE-PHARMACIE DE ROUEN

DOYEN :	Professeur Pierre FREGER
ASSESEURS :	Professeur Michel GUERBET Professeur Benoit VEBER Professeur Pascal JOLY Professeur Bernard PROUST
DOYENS HONORAIRES :	Professeurs J. BORDE - Ph. LAURET - H. PIGUET - C. THUILLEZ
PROFESSEURS HONORAIRES :	MM. M-P AUGUSTIN - J. ANDRIEU-GUITRANCOURT - M. BENOZIO - J. BORDE - Ph. BRASSEUR - R. COLIN - E. COMOY - J. DALION - DESHAYES - C. FESSARD - J.P. FILLASTRE - P. FRIGOT - J. GARNIER - J. HEMET - B. HILLEMAND - G. HUMBERT - J.M. JOUANY - R. LAUMONIER - Ph. LAURET - M. LE FUR - J.P. LEMERCIER - J.P. LEMOINE - Mlle MAGARD - MM. B. MAITROT - M. MAISONNET - F. MATRAY - P. MITROFANOFF - Mme A. M. ORECCHIONI - P. PASQUIS - H. PIGUET - M. SAMSON - Mme SAMSON- DOLLFUS - J.C. SCHRUB - R. SOYER - B. TARDIF - TESTART - J.M. THOMINE - C. THUILLEZ - P. TRON - C. WINCKLER - L.M. WOLF

I - MEDECINE

PROFESSEURS

M. Frédéric ANSELME	HCN	Cardiologie
Mme Isabelle AUQUIT AUCKBUR	HCN	Chirurgie Plastique
M. Bruno BACHY	HCN	Chirurgie pédiatrique
M. Fabrice BAUER	HCN	Cardiologie
Mme Soumeya BEKRI	HCN	Biochimie et Biologie Moléculaire
M. Jacques BENICHOV	HCN	Biostatistiques et informatique médicale
M. Jean-Paul BESSOU	HCN	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
Mme Françoise BEURET-BLANQUART	CRMPR	Médecine physique et de réadaptation
M. Guy BONMARCHAND	HCN	Réanimation médicale
M. Olivier BOYER	UFR	Immunologie
M. Jean-François CAILLARD (<i>Surnombre</i>)	HCN	Médecine et santé au Travail
M. François CARON	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
M. Philippe CHASSAGNE	HB	Médecine interne (Gériatrie)
M. Vincent COMPERE	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
M. Alain CRIBIER (<i>Surnombre</i>)	HCN	Cardiologie
M. Antoine CUVELIER	HB	Pneumologie
M. Pierre CZERNICHOV	HCH	Epidémiologie, économie de la santé
M. Jean - Nicolas DACHER	HCN	Radiologie et Imagerie Médicale

M. Joël LECHEVALLIER	HCN	Chirurgie infantile
M. Hervé LEFEBVRE	HB	Endocrinologie et maladies métaboliques
M. Thierry LEQUERRE	HB	Rhumatologie
M. Eric LEREBOURS	HCN	Nutrition
Mlle Anne-Marie LEROI	HCN	Physiologie
M. Hervé LEVESQUE	HB	Médecine interne
Mme Agnès LIARD-ZMUDA	HCN	Chirurgie Infantile
M. Pierre Yves LITZLER	HCN	Chirurgie Cardiaque
M. Bertrand MACE	HCN	Histologie, embryologie, cytogénétique
M. Eric MALLET (Surnombre)	HCN	Pédiatrie
M. Christophe MARGUET	HCN	Pédiatrie
Mlle Isabelle MARIE	HB	Médecine Interne
M. Jean-Paul MARIE	HCN	ORL
M. Loïc MARPEAU	HCN	Gynécologie - obstétrique
M. Stéphane MARRET	HCN	Pédiatrie
Mme Véronique MERLE	HCN	Epidémiologie
M. Pierre MICHEL	HCN	Hépatologie - Gastro - Entérologie
M. Francis MICHOT	HCN	Chirurgie digestive
M. Stéfan DARMONI	HCN	Informatique Médicale/Techniques de communication
M. Pierre DECHELOTTE	HCN	Nutrition
Mme Danièle DEHESDIN	HCN	Oto-Rhino-Laryngologie
M. Jean DOUCET	HB	Thérapeutique/Médecine – Interne - Gériatrie.
M. Bernard DUBRAY	CB	Radiothérapie
M. Philippe DUCROTTE	HCN	Hépatologie – Gastro - Entérologie
M. Frank DUJARDIN	HCN	Chirurgie Orthopédique - Traumatologique
M. Fabrice DUPARC	HCN	Anatomie - Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
M. Bertrand DUREUIL	HCN	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale
Mlle Hélène ELTCHANINOFF	HCN	Cardiologie
M. Thierry FREBOURG	UFR	Génétique
M. Pierre FREGER	HCN	Anatomie/Neurochirurgie
M. Jean François GEHANNO	HCN	Médecine et Santé au Travail
M. Emmanuel GERARDIN	HCN	Imagerie Médicale
Mme Priscille GERARDIN	HCN	Pédopsychiatrie
M. Michel GODIN	HB	Néphrologie
M. Philippe GRISE	HCN	Urologie
M. Didier HANNEQUIN	HCN	Neurologie
M. Fabrice JARDIN	CB	Hématologie
M. Luc-Marie JOLY	HCN	Médecine d'urgence
M. Pascal JOLY	HCN	Dermato - vénéréologie
M. Jean-Marc KUHN	HB	Endocrinologie et maladies métaboliques
Mme Annie LAQUERRIERE	HCN	Anatomie cytologie pathologiques
M. Vincent LAUDENBACH	HCN	Anesthésie et réanimation chirurgicale

M. Bruno MIHOUT (<i>Surnombre</i>)	HCN	Neurologie
M. Jean-François MUIR	HB	Pneumologie
M. Marc MURAINÉ	HCN	Ophthalmologie
M. Philippe MUSETTE	HCN	Dermatologie - Vénérologie
M. Christophe PEILLON	HCN	Chirurgie générale
M. Jean-Marc PERON	HCN	Stomatologie et chirurgie maxillo-faciale
M. Christian PFISTER	HCN	Urologie
M. Jean-Christophe PLANTIER	HCN	Bactériologie - Virologie
M. Didier PLISSONNIER	HCN	Chirurgie vasculaire
M. Bernard PROUST	HCN	Médecine légale
M. François PROUST	HCN	Neurochirurgie
Mme Nathalie RIVES	HCN	Biologie et méd. du dévelop. et de la reprod.
M. Jean-Christophe RICHARD (<i>Mise en dispo</i>)	HCN	Réanimation Médicale, Médecine d'urgence
M. Horace ROMAN	HCN	Gynécologie Obstétrique
M. Jean-Christophe SABOURIN	HCN	Anatomie – Pathologie
M. Guillaume SAVOYE	HCN	Hépat – Gastro
Mme Céline SAVOYE – COLLET	HCN	Imagerie Médicale
M. Michel SCOTTE	HCN	Chirurgie digestive
Mme Fabienne TAMION	HCN	Thérapeutique
Mlle Florence THIBAUT	HCN	Psychiatrie d'adultes
M. Luc THIBERVILLE	HCN	Pneumologie
M. Christian THUILLEZ	HB	Pharmacologie
M. Hervé TILLY	CB	Hématologie et transfusion
M. François TRON (<i>Sumombre</i>)	UFR	Immunologie
M. Jean-Jacques TUECH	HCN	Chirurgie digestive
M. Jean-Pierre VANNIER	HCN	Pédiatrie génétique
M. Benoît VEBER	HCN	Anesthésiologie Réanimation chirurgicale
M. Pierre VERA	C.B	Biophysique et traitement de l'image
M. Eric VERIN	CRMPR	Médecine physique et de réadaptation
M. Eric VERSPYCK	HCN	Gynécologie obstétrique
M. Olivier VITTECOQ	HB	Rhumatologie
M. Jacques WEBER	HCN	Physiologie

MAITRES DE CONFERENCES

Mme Noëlle BARBIER-FREBOURG	HCN	Bactériologie – Virologie
M. Jeremy BELLIEN	HCN	Pharmacologie
Mme Carole BRASSE LAGNEL	HCN	Biochimie
Mme Mireille CASTANET	HCN	Pédiatrie
M. Gérard BUCHONNET	HCN	Hématologie
Mme Nathalie CHASTAN	HCN	Physiologie
Mme Sophie CLAEYSSSENS	HCN	Biochimie et biologie moléculaire
M. Moïse COEFFIER	HCN	Nutrition

M. Manuel ETIENNE	HCN	Maladies infectieuses et tropicales
M. Guillaume GOURCEROL	HCN	Physiologie
Mme Catherine HAAS-HUBSCHER	HCN	Anesthésie - Réanimation chirurgicale
M. Serge JACQUOT	UFR	Immunologie
M. Joël LADNER	HCN	Epidémiologie, économie de la santé
M. Jean-Baptiste LATOUCHE	UFR	Biologie Cellulaire
Mme Lucie MARECHAL-GUYANT	HCN	Neurologie
M. Thomas MOUREZ	HCN	Bactériologie
M. Jean-François MENARD	HCN	Biophysique
Mme Muriel QUILLARD	HCN	Biochimie et Biologie moléculaire
M. Vincent RICHARD	UFR	Pharmacologie
M. Francis ROUSSEL	HCN	Histologie, embryologie, cytogénétique
Mme Pascale SAUGIER-VEBER	HCN	Génétique
Mme Anne-Claire TOBENAS-DUJARDIN	HCN	Anatomie

PROFESSEUR AGREGÉ OU CERTIFIÉ

Mme Dominique LANIEZ	UFR	Anglais
Mme Cristina BADULESCU	UFR	Communication

II - PHARMACIE

PROFESSEURS

M. Thierry BESSON	Chimie Thérapeutique
M. Jean-Jacques BONNET	Pharmacologie
M. Roland CAPRON (PU-PH)	Biophysique
M. Jean COSTENTIN (Professeur émérite)	Pharmacologie
Mme Isabelle DUBUS	Biochimie
M. Loïc FAVENNEC (PU-PH)	Parasitologie
M. Jean Pierre GOULLE	Toxicologie
M. Michel GUERBET	Toxicologie
M. Olivier LAFONT	Chimie organique
Mme Isabelle LEROUX	Physiologie
M. Paul MULDER	Sciences du médicament
Mme Martine PESTEL-CARON (PU-PH)	Microbiologie
Mme Elisabeth SEGUIN	Pharmacognosie
M Jean-Marie VAUGEOIS	Pharmacologie
M. Philippe VERITE	Chimie analytique

MAITRES DE CONFERENCES

Mlle Cécile BARBOT	Chimie Générale et Minérale
Mme Dominique BOUCHER	Pharmacologie
M. Frédéric BOUNOURE	Pharmacie Galénique
M. Abdeslam CHAGRAOUI	Physiologie
M. Jean CHASTANG	Biomathématiques
Mme Marie Catherine CONCE-CHEMTOB	Législation pharmaceutique et économie de la santé
Mme Elizabeth CHOSSON	Botanique
Mlle Cécile CORBIERE	Biochimie
M. Eric DITTMAR	Biophysique
Mme Nathalie DOURMAP	Pharmacologie
Mlle Isabelle DUBUC	Pharmacologie
Mme Roseline DUCLOS	Pharmacie Galénique
M. Abdelhakim ELOMRI	Pharmacognosie
M. François ESTOUR	Chimie Organique
M. Gilles GARGALA (MCU-PH)	Parasitologie
Mme Najla GHARBI	Chimie analytique
Mlle Marie-Laure GROULT	Botanique
M. Hervé HUE	Biophysique et Mathématiques
Mme Laetitia LE GOFF	Parasitologie Immunologie
Mme Hong LU	Biologie

Mme Sabine MENAGER	Chimie organique
Mme Christelle MONTEIL	Toxicologie
M. Mohamed SKIBA	Pharmacie Galénique
Mme Malika SKIBA	Pharmacie Galénique
Mme Christine THARASSE	Chimie thérapeutique
M. Rémi VARIN (MCU-PH)	Pharmacie Hospitalière
M. Frédéric ZIEGLER	Biochimie

PROFESSEUR ASSOCIE

Mme Sandrine PANCHOU	Pharmacie Officinale
-----------------------------	----------------------

PROFESSEUR CONTRACTUEL

Mme Elizabeth DE PAOLIS	Anglais
--------------------------------	---------

ATTACHE TEMPORAIRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE

M. Mazim MEKAOUI	Chimie Analytique
Mlle Virginie OXARAN	Microbiologie
M. Romy RAZAKANDRAINIBE	Parasitologie

LISTE DES RESPONSABLES DE DISCIPLINE

Melle Cécile BARBOT	Chimie Générale et Minérale
M. Thierry BESSON	Chimie thérapeutique
M. Roland CAPRON	Biophysique
M Jean CHASTANG	Mathématiques
Mme Marie-Catherine CONCE-CHEMTOB	Législation, Economie de la Santé
Mlle Elisabeth CHOSSON	Botanique
M. Jean-Jacques BONNET	Pharmacodynamie
Mme Isabelle DUBUS	Biochimie
M. Loïc FAVENNEC	Parasitologie
M. Michel GUERBET	Toxicologie
M. Olivier LAFONT	Chimie organique
Mme Isabelle LEROUX-NICOLLET	Physiologie
Mme Martine PESTEL-CARON	Microbiologie
Mme Elisabeth SEGUIN	Pharmacognosie
M. Mohamed SKIBA	Pharmacie Galénique
M. Philippe VERITE	Chimie analytique

III - MEDECINE GENERALE

PROFESSEURS

M. Jean-Loup HERMIL	UFR	Médecine générale
---------------------	-----	-------------------

PROFESSEURS ASSOCIES A MI-TEMPS :

M. Pierre FAINILBER	UFR	Médecine générale
---------------------	-----	-------------------

M. Alain MERCIER	UFR	Médecine générale
------------------	-----	-------------------

M. Philippe NGUYEN THANH	UFR	Médecine générale
--------------------------	-----	-------------------

MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE A MI-TEMPS :

M Emmanuel LEFEBVRE	UFR	Médecine générale
---------------------	-----	-------------------

Mme Elisabeth MAUVIARD	UFR	Médecine générale
------------------------	-----	-------------------

Mme Marie Thérèse THUEUX	UFR	Médecine générale
--------------------------	-----	-------------------

ENSEIGNANTS MONO-APPARTENANTS

MAITRES DE CONFERENCES

M. Sahil ADRIOUCH	Biochimie et biologie moléculaire (Unité Inserm 905)
Mme Gaëlle BOUGEARD-DENOYELLE	Biochimie et biologie moléculaire (UMR 1079)
Mme Carine CLEREN	Neurosciences (Néovasc)
Mme Pascaline GAILDRAT	Génétique moléculaire humaine (UMR 1079)
M. Antoine OUVRARD-PASCAUD	Physiologie (Unité Inserm 1076)
Mme Isabelle TOURNIER	Biochimie (UMR 1079)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

M. Serguei FETISSOV	Physiologie (Groupe ADEN)
Mme Su RUAN	Génie Informatique

CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS : Mme Véronique DELAFONTAINE

HCN - Hôpital Charles Nicolle

CB - Centre HENRI BECQUEREL

Rouvray

CRMPR - Centre Régional de Médecine Physique et de Réadaptation

HB - Hôpital de BOIS GUILLAUME

CHS - Centre Hospitalier Spécialisé du

REMERCIEMENTS

A Mme Marie-Laure GROULT, ma directrice de thèse, pour m'avoir épaulée et conseillée tout au long de mon travail. Merci pour votre patience et pour tous vos précieux conseils qui m'ont permis d'achever cette thèse.

A Mme Elisabeth SEGUIN, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury.

A Mme Béatrice BLAMPIED, Pharmacien de la Pharmacie centrale de Darnétal, avec qui j'ai apprécié travailler durant mon stage de 6^{ème} année. Je suis ravie de vous voir parmi les membres de mon jury aujourd'hui.

A M. et Mme VANDERMERSCH qui ont contribué à ma motivation pour aboutir ce travail, ainsi que toute leur équipe de la Pharmacie de l'Espace Coty au Havre, pour leur soutien et leurs encouragements. Je remercie particulièrement Nicolas pour ce qui concerne la partie informatique.

Je remercie bien sûr mes ami(e)s et ma famille pour leur présence et leurs encouragements. Merci à mes parents de m'avoir soutenue durant toutes mes études.

Enfin, je remercie infiniment celui qui m'accompagne tous les jours. Merci Brice, pour ta compréhension et ta complicité, qui m'ont été indispensables.

TABLES DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	1
LISTE DES ABREVIATIONS	5
GLOSSAIRE.....	6
INTRODUCTION	7
PREMIERE PARTIE	8
PRINCIPAUX SUPERFRUITS : DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES	8
I DEFINITION	8
II PRINCIPAUX CONSTITUANTS	8
1. Macronutriments	9
1.1. Glucides	9
1.2. Lipides.....	17
1.3. Protéines.....	20
2. Micronutriments	22
2.1. Vitamines.....	22
2.1.1. Vitamines liposolubles	23
2.1.2. Vitamines hydrosolubles.....	26
2.2. Principaux sels minéraux	38
3. Oligoéléments principaux	41
4. Composés phytochimiques (=phytom micronutriments)	46
4.1. Composés phénoliques	48
4.2. Terpénoïdes.....	60
4.3. Alcaloïdes.....	64
III PRESENTATION DES PRINCIPAUX SUPERFRUITS	65
1. Fruits européens	66
1.1. Cassis	66
1.2. Myrtille	68
1.3. Epine-vinette	71
2. Fruits importés (exotiques)	75
2.1. Açaï	75
2.2. Acérola.....	77
2.3. Canneberge	79
2.4. Grenade	82
2.5. Mûre (du mûrier).....	85
2.6. Noni	88
2.7. Papaye	91

DEUXIEME PARTIE 94

PLACE DE LA BAIE DE GOJI (<i>Lycium barbarum</i> L.), AU SEIN DES SUPERFRUITS.....	94
I ORIGINE ET HISTORIQUE DE LA PLANTE	94
II HABITAT	96
1. Habitat naturel	96
2. Plantations et cultures	96
2.1. Plantations en Chine.....	96
2.2. Plantations dans le monde	98
2.3. Présence en France à l'Etat spontané	98
2.4. Culture.....	99
III ETUDE BOTANIQUE DE <i>Lycium barbarum</i> L.	100
1. Nomenclature	100
2. Systématique.....	102
2.1. Caractéristiques de la famille des Solanacées	102
2.2. Caractéristiques du genre <i>Lycium</i>	102
3. Description de la plante : <i>Lycium barbarum</i> L.....	105
IV COMPOSITION CHIMIQUE DE LA PLANTE	109
1. Baie.....	109
1.1. Principaux constituants de la baie de Goji	109
1.2. Composés particuliers au <i>Lycium barbarum</i> L. : polysaccharides	110
2. Autres organes de <i>Lycium barbarum</i> L.....	121
V ANALYSE COMPAREE DU GOJI ET AUTRES SUPERFRUITS	121

TROISIEME PARTIE 122

<i>Lycium barbarum</i> L. : POUVOIR ANTIOXYDANT- LIMITES D'UTILISATION	122
I RAPPEL SUR LE STRESS OXYDATIF	122
1. Molécules mises en jeu	123
2. Localisation des espèces réactives de l'oxygène.....	126
3. Stress oxydatif et désordres moléculaires	127
3.1. Peroxydation lipidique.....	127
3.2. Restructurations de l'ADN	129
3.3. Oxydation protéique	129
II ANTIOXYDANTS	130
1. Systèmes naturels de défense antioxydante.....	130
2. Antioxydants d'origine nutritionnelle	133
III MESURE DU POUVOIR ANTIOXYDANT	138
1. Méthode ORAC : capacité d'absorption des radicaux oxygénés.....	138
2. Méthode TEAC : capacité antioxydante en Equivalent Trolox	139

IV	MISE EN EVIDENCE DE L'ACTIVITE ANTIRADICALAIRE DU GOJI	141
1.	Antioxydants du Goji	141
2.	Etude comparative de <i>Lycium barbarum</i> L. et des autres superfruits	145
3.	Prévention des dommages liés au stress oxydatif	147
3.1.	Prévention de la lipoperoxydation	147
3.2.	Prévention de l'oxydation protéique.....	149
3.3.	Prévention des dommages causés sur l'ADN	150
V	INTERETS THERAPEUTIQUES DE L'ACTION ANTIOXYDANTE DU GOJI	151
1.	Action anti-âge	151
2.	Prévention des complications du diabète de type II	153
3.	Protection hépatique	156
4.	Prévention de l'infertilité masculine	159
5.	Protection vis-à-vis de la cardiotoxicité de la doxorubicine	161
6.	Préventions des pathologies oculaires : DMLA, cataracte	163
7.	Photoprotection cutanée	163
8.	Autres	164
VI	LIMITES DE L'UTILISATION DU GOJI	166
1.	Qualité du fruit	166
2.	Interactions	169
3.	Effets indésirables	171
4.	Conseils d'utilisation	173
	CONCLUSION	175
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	176
	REFERENCES SITOGRAPHIQUES	186
	ANNEXE 1 - COMPOSITION EN MACRONUTRIMENTS DES SUPERFRUITS.....	192
	ANNEXE 2 - COMPOSITION EN MICRONUTRIMENTS DES SUPERFRUITS.....	193
	ANNEXE 3 - COMPOSITION EN OLIGOELEMENTS DES SUPERFRUITS	194
	ANNEXE 4 - PRINCIPALES SOURCES ALIMENTAIRES DE VITAMINES ET DE MINERAUX .	195

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Classification des glucides	10
Figure 2 : Structure cyclique du ribose et du désoxy-ribose	12
Figure 3 : Formules linéaires des d'oxydation du D-glucose et du D-galactose ; l'acide D-glucuronique et l'acide D-galacturonique	13
Figure 4 : Formule cyclique du saccharose, formé de l'union d'une molécule de glucose et d'une molécule de fructose par une liaison osidique : disaccharide	13
Figure 5 : Formules linéaires des dérivés d'oxydation du D-glucose et du D-galactose ; l'acide D-glucuronique et l'acide D-galacturonique	14
Figure 6 : Dérivé d'oxydation du glucose, l'acide D-gluconique (VOET D. et VOET J. G., 2005)	14
Figure 7 : Formule linéaire du D-sorbitol.....	14
Figure 8 : Structure de l'amidon	15
Figure 9 : Structure moléculaire de la cellulose	15
Figure 10 : Fibres alimentaires solubles et insolubles, mécanismes d'actions et principales sources alimentaires.....	16
Figure 11 : Les triglycérides sont formés de trois acides gras liés par leur groupe carboxyle –COOH aux groupes hydroxyles –OH d'une molécule de glycérol	18
Figure 12 : Structure chimique de l'acide linoléique, (18 : 2 ω6)	18
Figure 13 : Structure chimique de l'acide arachidonique, (20 : 4 ω6).....	19
Figure 14 : Structure chimique de l'acide linoléique (18 : 3 ω3)	19
Figure 15 : Principaux acides gras alimentaires	19
Figure 16 : Structure primaire des protéines	20
Figure 17 : Pourcentages d'acides aminés essentiels recommandés dans l'apport protéique	21
Figure 18 : Structure de base de la vitamine A, le rétinol	23
Figure 19 : Structures chimiques des tocophérols et des tocotriénols	24
Figure 20 : Principales sources alimentaires de vitamine E.....	25
Figure 21 : Structure moléculaire de la thiamine et ses principales sources alimentaires	26
Figure 22 : Structure moléculaire de la riboflavine et ses principales sources alimentaires	27
Figure 23 : Structures moléculaires de l'acide nicotinique (niacine) et de ses dérivés	29
Figure 24 : Principales sources alimentaires de vitamine B ₃	29
Figure 25 : Structure moléculaire de l'acide pantothénique.....	30
Figure 26 : Principales sources alimentaires de vitamine B ₅	31
Figure 27 : Structure de base : la 3-hydroxy-2méthylpyridine	32
Figure 28 : Structures moléculaires des différentes formes de vitamine B ₆	32
Figure 29 : Principales sources alimentaires en vitamines B ₆	33
Figure 30 : Structure moléculaire de l'acide folique	34
Figure 31 : Principales sources alimentaires de vitamine B ₉	35
Figure 32 : Structure moléculaire de la vitamine C (forme oxydée)	36
Figure 33 : Principales sources alimentaires de vitamine C	36

Figure 34 : Aliments riches en vitamine C	37
Figure 35 : Classification des phytomicronutriments	47
Figure 36 : Structure phénolique commune aux polyphénols	48
Figure 37 : Classification des composés phénoliques.....	49
Figure 38 : Biogenèse de l'acide cinnamique et de ses dérivés en C ₆ -C ₃ , à partir de l'acide shikimique	50
Figure 39 : Formation des acides hydroxybenzoïques en C ₆ -C ₁ par oxydation des cinnamates.....	51
Figure 40 : Formation des phénols simples en C ₆	51
Figure 41 : Formation des coumarines par lactonisation des cinnamates	52
Figure 42 : Structure moléculaire de la coumarine	52
Figure 43 : Structures chimiques de coumarines simples	52
Figure 44 : Formation des lignanes à partir des cinnamates.....	53
Figure 45 : Squelette de base des flavonoïdes	54
Figure 46 : Biogenèse des polyphénols de type stilbène.....	59
Figure 47 : Classification des terpénoïdes	61
Figure 48 : Structure chimique des principaux caroténoïdes	63
Figure 49 : Planche botanique de <i>Ribes nigrum</i> L.	66
Figure 50 : Planche botanique de <i>Vaccinium myrtillus</i> , L.	69
Figure 51 : Rameau florifère de <i>Berberis vulgaris</i> L. et fleur de type 3 de <i>Berberis vulgaris</i> L.	71
Figure 52 : Baie de <i>Berberis vulgaris</i> L.	72
Figure 53 : Fruit, graine, et coupe longitudinale du fruit de <i>Berberis vulgaris</i> L.	72
Figure 54 : Fruit d' <i>Euterpe oleracea</i> Mart.	75
Figure 55 : Rameau fleuri d'acérola avec fruit	77
Figure 56 : Planche botanique de <i>Vaccinium macrocarpon</i> Ait.....	79
Figure 57 : Baie de <i>Vaccinium macrocarpon</i> Ait.....	80
Figure 58 : Le grenadier	82
Figure 59 : La « couronne » de la grenade, constituée des dents du calice	83
Figure 60 : Fruit et coupe longitudinale du fruit de <i>Punica granatum</i> L.	83
Figure 61 : Arbre de mûrier blanc	86
Figure 62 : Infrutescences de <i>Morus alba</i> L. à fruits blancs	86
Figure 63 : Fleur de <i>Morinda citrifolia</i> L.	88
Figure 64 : Fruit de <i>Morinda citrifolia</i> à différents stades de maturation.....	89
Figure 65 : Planche botanique de <i>Carica papaya</i> L.	91
Figure 66 : Fruit du papayer	92
Figure 67 : Aperçu général de la localisation des principales plantations de Goji	96
Figure 68 : Principale zone de production de la baie de Goji en Chine	97
Figure 69 : Localisation de la région du Cachemire	97
Figure 70 : Répartition du Goji en France à l'état spontané.....	98
Figure 71 : Culture et récolte du Goji	99

Figure 72 : Distribution du genre <i>Lycium</i> dans le monde	103
Figure 73 : Rameau fleuri de <i>Lycium afrum</i> L.	104
Figure 74 : Fruit de <i>Lycium afrum</i> L.	104
Figure 75 : Rameau fleuri de <i>Lycium europaeum</i> L.	104
Figure 76 : Fruit de <i>Lycium europaeum</i> L.	104
Figure 77 : Planche botanique de <i>Lycium barbarum</i> L.	105
Figure 78 : Rameau feuillu et buisson de <i>Lycium barbarum</i> L.	106
Figure 79 : Fruit de <i>Lycium barbarum</i> L.	107
Figure 80 : Distinction des espèces <i>Lycium chinense</i> Mill. et <i>Lycium barbarum</i> L.	107
Figure 81 : Rameau fleuri et fruit de <i>Lycium barbarum</i> L.	108
Figure 82 : Principaux constituants de la baie de Goji.....	109
Figure 83 : Composition de la partie glucidique des polysaccharides de <i>Lycium barbarum</i> L.	111
Figure 84 : Composition chimique des polysaccharides de <i>Lycium barbarum</i> L.	112
Figure 85 : Structure des polysaccharides de <i>Lycium barbarum</i> L. : le Lb Gp ₂	113
Figure 86 : Composition en acides aminés d'un polysaccharide isolé de <i>Lycium barbarum</i> L.	113
Figure 87 : Les caroténoïdes du Goji	115
Figure 88 : Structure chimique de l'acide 2-O-β-D-Glucopyranosyl-L-ascorbique	115
Figure 89 : Mise en évidence des composés phénoliques de <i>Lycium barbarum</i> L. : chromatogramme HPLC.....	117
Figure 90 : Acides phénoliques de <i>Lycium barbarum</i> L.	117
Figure 91 : Composés phénoliques de <i>Lycium barbarum</i> L.	117
Figure 92 : Chromatogrammes HPLC des acides phénoliques (A) et des flavonoïdes (B) isolés à partir de fruits de <i>Lycium barbarum</i> L.	118
Figure 93 : Principaux minéraux et oligo-éléments présents dans le Goji	119
Figure 94 : Glycérogallactolipides de la baie de <i>Lycium barbarum</i> L.	120
Figure 95 : L'oxygène moléculaire dans la phosphorylation oxydative	123
Figure 96 : L'oxygène à l'état triplet	123
Figure 97 : Configurations électroniques de l'oxygène et de ses différentes formes activées	124
Figure 98 : Formation des radicaux hydroxyles.....	126
Figure 99 : Origine des espèces réactives de l'oxygène	126
Figure 100 : Peroxydation lipidique.....	128
Figure 101 : Addition sur les doubles liaisons d'une base de l'ADN, la guanine, par les radicaux hydroxyles : deux radicaux libres R1 et R2 sont formés, ce dernier donnant naissance à la 8-oxo-guanine, un des principaux marqueurs du stress oxydant de l'ADN.	129
Figure 102 : Systèmes antioxydants enzymatiques : Superoxyde dismutase et Glutathion peroxydase.....	132
Figure 103 : Place des antioxydants d'origine nutritionnelle dans l'équilibre pro/antioxydants	134
Figure 104 : Réduction d'un radical peroxyde au sein d'un acide gras par l'α-tocophérol	135
Figure 105 : Stabilisation des radicaux des caroténoïdes.....	136
Figure 106 : Structure chimique de l'acide caféique et de la quercétine	137
Figure 107 : Sites d'action des systèmes antioxydants endogènes et exogènes	137

Figure 108 : Réaction du radical libre AAPH lors de la méthode ORAC.....	138
Figure 109 : Courbes de décroissance de la fluorescence au cours d'un test ORAC	139
Figure 110 : Piégeage du radical DPPH· par les antioxydants du Goji	141
Figure 111 : Piégeage du radical superoxydes O ₂ ⁻ par les antioxydants du Goji.....	142
Figure 112 : Piégeage des radicaux hydroxyles OH· par les antioxydants du Goji	142
Figure 113 : Pouvoir chélateur des antioxydants du Goji.....	143
Figure 114 : Pouvoir réducteur des composés du Goji.....	144
Figure 115 : Valeurs ORAC de certains superfruits	145
Figure 116 : Capacités antioxydantes TEAC/ORAC de différents extraits/fractions issus du fruit de <i>Lycium barbarum</i> L.	146
Figure 117 : Effet des polysaccharides de <i>Lycium barbarum</i> L. sur les marqueurs TBARS et LOOH induits par irradiation, dans les cellules hépatiques de rats	148
Figure 118 : Diminution de l'oxydation protéique par les polysaccharides de <i>Lycium barbarum</i> L.....	149
Figure 119 : Diminution de l'apoptose des cellules soumises à l'H ₂ O ₂ en présence d'un extrait de Goji	150
Figure 120 : Effet des polysaccharides de <i>Lycium barbarum</i> L. sur l'activité des enzymes antioxydantes de souris âgées	152
Figure 121 : Effet des LBP sur l'activité de la SOD et autres indices biochimiques sanguins chez les rats diabétiques.....	154
Figure 122 : Effet des LBP sur la glycémie et niveau d'insuline plasmatique des rats diabétiques	154
Figure 123 : Taux de MDA et potentiel antioxydant (sérum) en fonction de l'apport en polysaccharides de <i>Lycium barbarum</i> L., (groupes supplémentés en polysaccharides à faibles : a, moyennes : b et fortes doses : c).....	155
Figure 124 : Effets des LBP sur les paramètres du stress oxydatif dans le foie de rats	156
Figure 125 : Effet des LBP sur les cellules hépatiques	158
Figure 126 : Effets protecteurs des LBP sur des cellules de rats endommagées par l'hyperthermie	159
Figure 127 : Structure et morphologie des tubules séminifères de testicules de rats, A : contrôle normal B : exposés à la chaleur C : administration de 10 mg/kg/jour de LBP après exposition à la chaleur	160
Figure 128 : Effet des LBP sur la fonction reproductive de rats hémicastrés.....	161
Figure 129 : Effet de <i>Lycium barbarum</i> L. et/ou doxorubicine sur le MDA et la SOD cardiaques.....	162
Figure 130 : Caractéristiques du sol pour la croissance optimale de <i>Lycium barbarum</i> L.....	166
Figure 131 : Conditions climatiques influençant le développement de <i>Lycium barbarum</i> L.	167
Figure 132 : Variation de l'INR en fonction du dosage de la warfarine et de la prise de <i>Lycium barbarum</i> L.	170
Figure 133 : Erythème diffus induit par photosensibilisation après consommation de baies de Goji	172
Figure 134 : Baie de Goji séchée.....	173
Figure 135 : Jus de Goji.....	173
Figure 136 : Extrait sec de baie de Goji en gélules	174

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : Acide désoxyribonucléique

ADP : Adénosine di-phosphate

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

ANSM : Agence nationale de sécurité du médicament

DMLA : Dégénérescence maculaire liée à l'âge

ERO : Espèces réactives de l'oxygène

LDL : (low density lipoprotein, en anglais) Lipoprotéines de basse densité

MDA : Malondialdéhyde

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ORAC : Oxygen radical absorbance capacity

PAC : Proanthocyanidols

PPAR : Peroxysome proliferator-activated receptors

SOD : Superoxyde-dismutase

TBARs : substances réagissant avec l'acide thio-barbiturique

TE : Trolox équivalent

GLOSSAIRE

Albumen : Tissu de réserve embryonnaire, contenu dans les graines des Angiospermes.

Apoptose : ou mort cellulaire programmée. Processus génétiquement établi, par lequel les cellules s'autodétruisent.

Calice : Ensemble des sépales (pièces stériles les plus externes du périanthe).

Cardiomyocyte : Cellules contractiles du muscle cardiaque.

Corolle : Ensemble des pétales de la fleur.

Druse : Dépôt de matériel amorphe dans la rétine, souvent lié à l'âge et pouvant entraîner la formation de néo-vaisseaux.

Etamine « irritable » : Etamine dont une partie est sensible au moindre contact, entraînant des mouvements propices à la dispersion du pollen.

Intercalant : Qualifie une classe des médicaments utilisés en chimiothérapie. Caractérisé par sa capacité à se fixer par liaison covalente sur les brins de l'ADN, pouvant entraîner des modifications dans sa réplication et dans sa transcription.

INR : Index Normalized Ratio. Chiffre qui permet de vérifier l'efficacité du traitement anticoagulant antivitaminique K, généralement compris entre 2 et 3 dans la majorité des pathologies.

Métallothionéines : Protéines de faible poids moléculaire, caractérisées par leur haute affinité pour les ions métalliques. Interviennent dans le contrôle de la biodisponibilité des métaux essentiels (cuivre, zinc) et la détoxification des métaux lourds (plomb, mercure, cadmium).

Mésocarpe : Partie moyenne d'un fruit charnu, entre l'épicarpe et l'endocarpe.

Polysperme : Qui possède un grand nombre de graines.

Pyranose : Ose dont la structure chimique est composée d'un cycle à 6 atomes (5 atomes carbone et 1 atome d'oxygène).

Sarmenteux : Plante dont la tige est longue, flexible et grimpante.

Xénobiotique : Molécule de faible poids moléculaire, étrangère à l'organisme et considérée comme toxique (ex : fumée de cigarettes, polluants atmosphériques, additifs alimentaires, etc...).

INTRODUCTION

La plupart des enquêtes épidémiologiques portant sur les relations entre l'alimentation et la prévention de nombreuses pathologies, met en évidence l'importance de la consommation de fruits et légumes. Malgré les recommandations à ce sujet, seulement 18% des habitants des pays industrialisés européens suivraient les campagnes de consommation de « 5 fruits et légumes par jour », et moins de 43 % de la population française.

L'agriculture intensive, ainsi que l'utilisation des pesticides sont aujourd'hui responsables de l'appauvrissement des sols avec en conséquence une diminution des teneurs en nutriments essentiels et composés phytochimiques des fruits.

Les «superfruits», réputés pour leurs concentrations importantes en nutriments et métabolites chimiques, tels que les antioxydants, sont de plus en plus en valorisés. C'est le cas de superfruits exotiques tels que la baie de Goji ou *Lycium barbarum* L., utilisée depuis plus de 2000 dans la médecine traditionnelle chinoise.

Il est aujourd'hui difficile de parvenir à une information scientifiquement fiable concernant les compléments alimentaires et les superfruits. Parmi ces derniers, le Gogi occupe une place tout à fait particulière que nous avons choisi d'analyser et présenter à travers notre travail.

Dans la première partie, nous rappellerons les caractéristiques générales des fruits. Nous aborderons d'un point de vue nutritionnel et thérapeutique les principaux superfruits européens comme le cassis, la myrtille et l'épine-vinette et d'autres superfruits exotiques, notamment la canneberge, l'acérola, la papaye, la grenade et le noni.

La seconde partie sera entièrement consacrée à la présentation de *Lycium barbarum* L. et de son fruit, la baie de Goji, en passant par son origine, son étude botanique et sa composition chimique.

Dans la troisième partie, nous rappellerons la notion de stress oxydatif, ainsi que ses conséquences sur l'organisme. Ce qui nous amènera à mettre en avant l'intérêt des antioxydants d'origine naturelle de la baie de Goji. Nous soulignerons enfin, ses limites, en termes de qualité, de toxicité et de conditions d'utilisation.

PREMIERE PARTIE

PRINCIPAUX SUPERFRUITS : DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES

I DEFINITION

Le terme de « superfruit », attribué à certains fruits, vient des Etats unis. Depuis 2005, les industries alimentaires et des boissons, emploient ce terme dans un but de développement commercial. Le fabricant lui-même, décide de qualifier son produit de « superfood », autrement dit, aliment « haut de gamme ».

Cette appellation s'appuie sur les valeurs nutritionnelles des fruits et sur des études scientifiques, mettant en avant les preuves de leurs activités biologiques. Bien que les superfruits renferment des teneurs en nutriments supérieures à la moyenne, il convient de rester prudent sur l'utilisation parfois abusive du terme « superfruit », et de s'intéresser aux valeurs nutritionnelles réelles de leurs composants.

Dans cette première partie, nous étudierons de manière générale, les constituants des fruits, puis nous nous intéresserons plus particulièrement, aux divers superfruits cités en introduction. Nous aborderons leur composition chimique et leurs principales activités biologiques qui en découlent.

II PRINCIPAUX CONSTITUANTS

Tous les superfruits sont connus pour leur teneur élevée en nutriments organiques, appelés macronutriments, tels que les glucides, les lipides et les protides. Les protides regroupent sous ce terme, les acides aminés (monomères), les peptides (≤ 10 acides aminés) et les protéines (assemblage complexe d'acides aminés). Nous traiterons dans cet ouvrage des protéines en particulier. Les superfruits sont également une source en vitamines et en sels minéraux.

Les composés organiques des plantes, peuvent d'une manière générale être répartis en deux catégories. D'une part, les composés du métabolisme primaire, permettant la reproduction cellulaire et la croissance de la plante (cette catégorie inclue tous les macronutriments) (BRUNETON J., 2009), et d'autre part, les métabolites secondaires, biosynthétisés par les plantes et mis en jeu dans les relations entre les végétaux et leur environnement.

Ces composés phytochimiques n'ont pas d'action directe sur les fonctions vitales de la plante, mais sont utilisés pour assurer sa survie et lutter contre ses prédateurs. Nous verrons dans le chapitre 4 de cette partie I, les intérêts thérapeutiques de ces molécules pour l'organisme humain. (BRUNETON J., 2009 ; AMIOT M.- J. *et al.*, 2012) (réf.14)

1. Macronutriments

Les macronutriments, apportent l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'organisme. Les glucides et les lipides en particulier, fournissent respectivement de 50 à 55 % et de 30 à 40 % de notre énergie. Celle-ci, calculée selon différentes méthodes, est exprimée en calories (1 Cal = 1000 cal = 1 kcal). Ainsi, 1 g de glucides apporte 4 kcal, 1 g de lipides 9 kcal et 1 g de protides 4 kcal. Comme l'explique le terme « macronutriment », ces composés doivent être disponibles en grande quantité pour couvrir les besoins de l'organisme (du grec *makros* qui signifie grand) et sont contenus dans les aliments (du latin *nutrimentum* pour nourriture). (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005) (réf.4.d)

1.1. Glucides

- Généralités

Les glucides, anciennement appelés hydrates de carbone, sont des composants organiques carbonylés (aldéhydiques ou cétoniques), polyhydroxylés (nombreux groupements –OH). Ce groupe englobe les glucides et leurs dérivés d'oxydation (acides uroniques) ou de réduction (polyols), leurs esters, leurs éthers et leurs dérivés aminés (osamines). Ils constituent la source majoritaire d'énergie pour l'organisme. (BRUNETON J., 2009)

Les glucides sont à la base de tous les autres composés organiques du monde vivant. Chez les végétaux, ils participent à la structure de la paroi cellulaire (cellulose) et sont les premiers maillons issus du processus de photosynthèse. Ils seront ensuite transformés et mis en réserve par les plantes, majoritairement sous forme d'amidon. (BRUNETON J., 2009)

- Structure

La formule brute des glucides est $C_n(H_2O)_m$, d'où le nom d'hydrates de carbone. Les différents glucides sont classés selon leur structure chimique. (Figure 1)

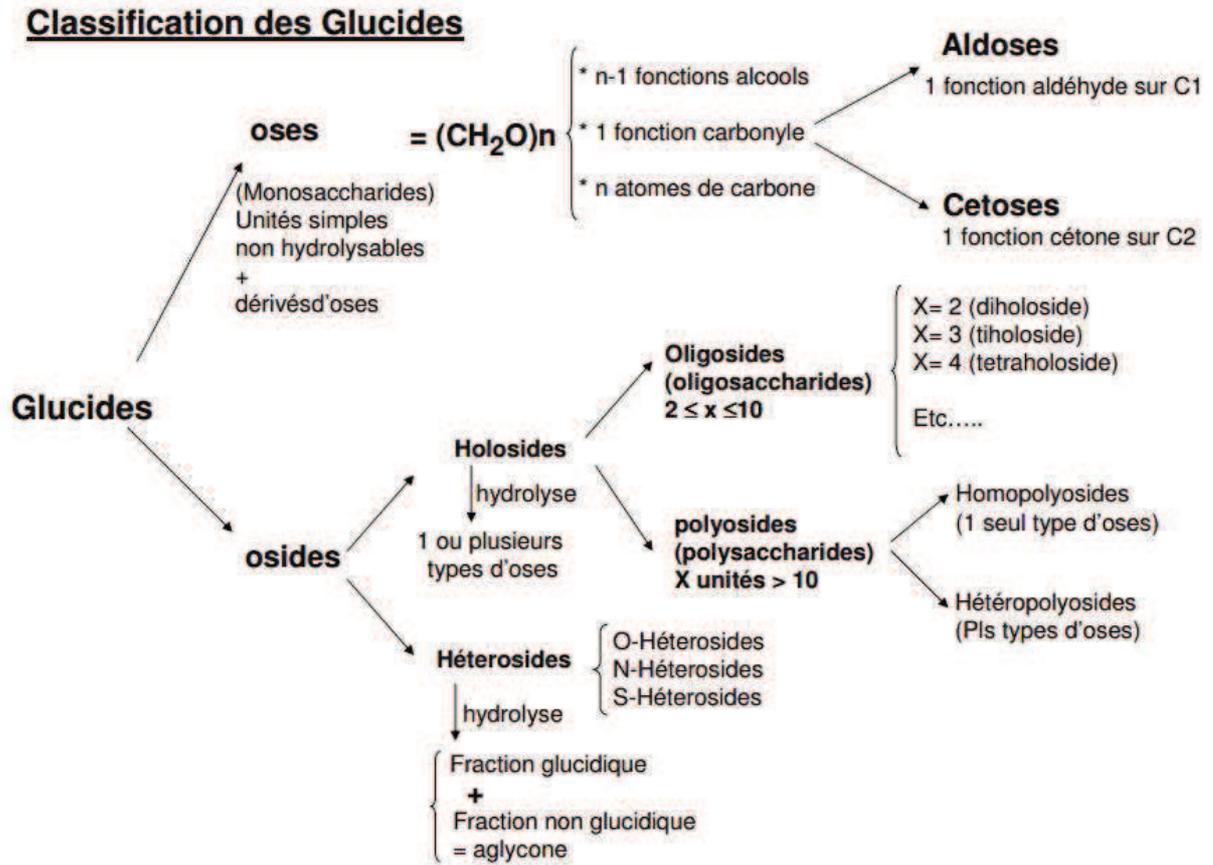


Figure 1 : Classification des glucides (réf.19)

On distingue les oses et les osides :

→ **Les oses** comportent une fonction carbonylée aldéhydique (aldoses) ou cétonique (cétoses), et (n-1) fonctions alcool. Le nombre d'atomes de carbones varie de 3 à 9 (le plus souvent de 5 ou 6).

→ **Les osides** sont des composés dont l'hydrolyse fournit deux ou plusieurs molécules d'oses identiques ou différents. On distingue dans les osides, deux grands groupes : les holosides et les hétérosides.

→ **Les holosides** résultent de la combinaison de plusieurs molécules d'oses, reliées entre elles par des liaisons glycosidiques. Selon le nombre d'oses constitutifs (degré de polymérisation), on distingue les sous-groupes suivants :

- Les diholosides ou disaccharides (2 unités), qui forment avec les monosaccharides (monomères), les glucides simples
- Les oligosides ou oligosaccharides (3 à 9 unités)
- Les polysaccharides (≥ 10 voire à milliers d'unités)

Les oligosides et les polysaccharides sont regroupés sous le nom de glucides complexes.

→ **Les hétérosides** donnent par hydrolyse, des oses et une partie non glucidique (aglycone ou génine). Ces composés peuvent différer selon la liaison établie entre le sucre et la génine. Dans la grande majorité des hétérosides du règne végétal, la liaison implique un hydroxyle alcoolique ou phénolique de la génine, on parle de O-hétéroside. Lorsque la liaison implique un groupe azoté de la génine, on parle de N-hétéroside, tels que les nucléosides. On trouve également les C-hétérosides pour lesquels la liaison osidique s'établit directement entre 2 carbones. Enfin, les S-hétérosides, connus sous le nom de glucosinolates, sont les analogues soufrés des O-hétérosides. (MARTIN A., 2007 ; BRUNETON J., 2009) (réf.29)

- Principaux glucides simples et leurs dérivés des végétaux

Les oses végétaux sont synthétisés massivement lors de la photosynthèse et sont caractérisés par leur grande diversité. Ces sucres peuvent être présents à l'état libre, engagés dans une combinaison hétérosidique ou bien inclus dans des polymères. Nous citerons dans ce paragraphe, les oses et leurs dérivés, les plus fréquemment rencontrés dans le règne végétal.

- Monosaccharides

Parmi les pentoses (5 carbones), le D-ribose et ses esters phosphoriques universels, sont d'une importance métabolique fondamentale, tout comme ceux du cétose correspondant, le D-ribulose.

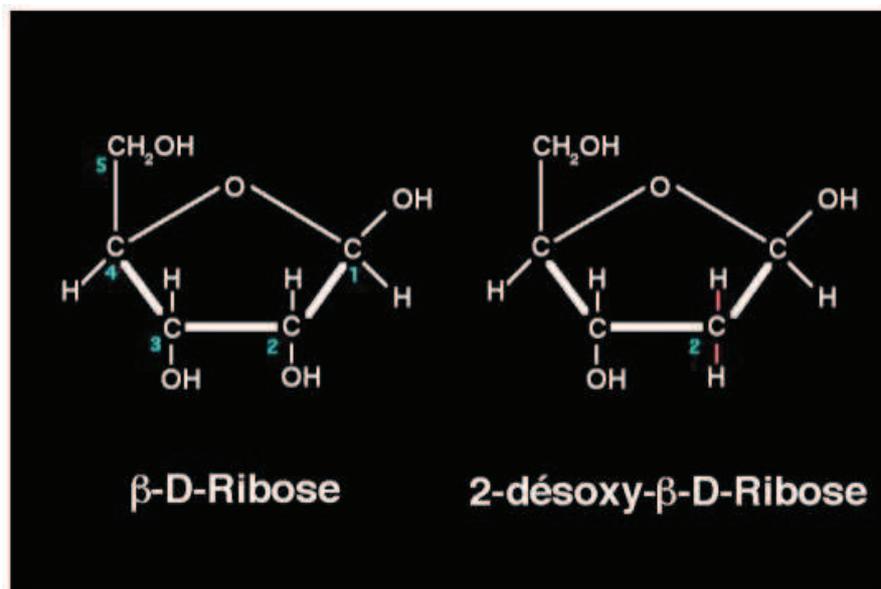


Figure 2 : Structure cyclique du ribose et du désoxy-ribose (réf.13.b)

Le ribose est un pentose qui entre dans la constitution de l'acide ribonucléique (ARN) mais également dans celle de l'adénosine triphosphate (ATP). Le désoxyribose est retrouvé dans l'acide désoxyribonucléique (ADN). (Figure 2)

La plupart des hexoses (6 carbones), tels que le D-glucose et ses épimères en C-2, le D-mannose et en C-4, le D-galactose, ont une distribution quasi universelle. Le glucose est présent à l'état libre ou combiné à des structures polysaccharidiques, alors que ses épimères sont majoritairement connus à l'état de polymères.

Le glucose représente la principale source d'énergie des cellules. Le galactose est retrouvé fréquemment dans les structures hétérosidiques. La forme cétonique du glucose et du mannose, est le fructose. (Figure 3)

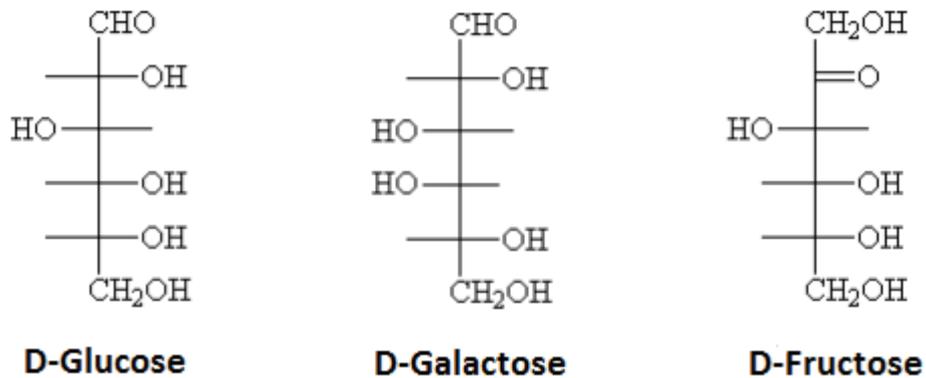


Figure 3 : Formules linéaires des d'oxydation du D-glucose et du D-galactose ; l'acide D-glucuronique et l'acide D-galacturonique (VOET D. et VOET J. G., 2005) (réf. 45)

- Disaccharides

Les fruits renferment en abondance du fructose, aussi bien à l'état libre qu'à l'état de disaccharide (saccharose) ou d'oligosaccharide. (BRUNETON J., 2009) (Figure 4)

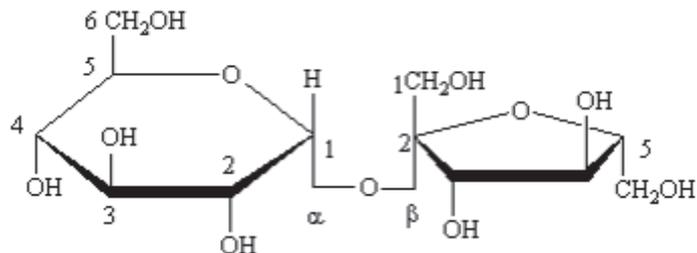


Figure 4 : Formule cyclique du saccharose, formé de l'union d'une molécule de glucose et d'une molécule de fructose par une liaison osidique : disaccharide (réf.45)

Le saccharose (glucose + fructose) et le lactose (glucose + galactose) constituent les principaux diholosides de l'alimentation.

- Dérivés des glucides simples

→ Les acides D-glucuronique et D-galacturonique sont des dérivés d'oxydation des hexoses, obtenus après déshydratation spécifique (déshydrogénases). Ces acides sont fréquemment rencontrés dans les polysaccharides pariétaux, en particulier dans la pectine des fruits. D'autres acides -oniques sont également obtenus par oxydation douce des hexoses, tels que l'acide gluconique. (BRUNETON J., 2009)

La nomenclature est faite de suffixes (-uroniques, -oniques) qui dépendent de la fonction oxydée. Les hexoses oxydés sur la fonction aldéhyde du carbone 1 sont les acides -oniques alors que les hexoses oxydés sur la fonction primaire alcool du carbone 6 sont les acides -uroniques. (VOET D. et VOET J. G., 2005)

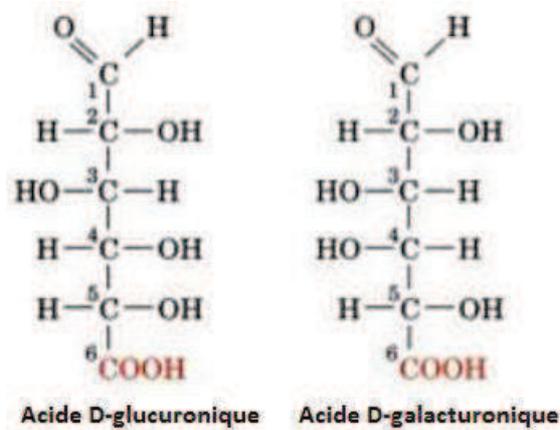


Figure 5 : Formules linéaires des dérivés d’oxydation du D-glucose et du D-galactose ; l’acide D-glucuronique et l’acide D-galacturonique (VOET D. et VOET J. G., 2005)

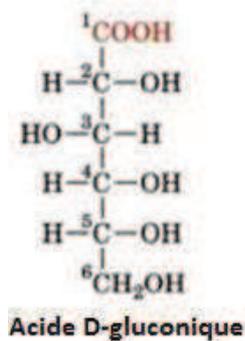


Figure 6 : Dérivé d’oxydation du glucose, l’acide D-gluconique (VOET D. et VOET J. G., 2005)

→ Les polyols sont des produits issus de la réduction de la fonction carbonylée des oses. On retrouve notamment le D-sorbitol dans certains fruits.

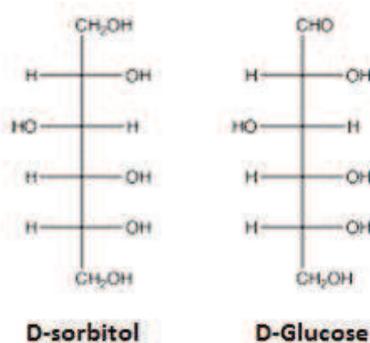


Figure 7 : Formule linéaire du D-sorbitol (réf.11)

- Polysaccharides des végétaux supérieurs

L'origine du mot « polysaccharides » provient des termes grecs *poly-* et *-sakkaro*, signifiant respectivement « plusieurs » et « sucre ». Ces chaînes de sucres simples sont liées à des protéines. Les polysaccharides les plus fréquemment rencontrés dans le règne végétal, sont l'amidon et la cellulose. Ces composés sont issus de la polymérisation de plusieurs sous-unités identiques.

L'amidon représente une source énergétique indispensable dans l'alimentation de l'Homme et forme la réserve énergétique principale des végétaux. Il est formé de deux types de polymères de glucose, ramifiés et linéaires, à savoir l'amylopectine et l'amylose. On le trouve particulièrement concentré dans les racines, dans les caryopses de céréales (avoine, blé ou maïs), mais également dans certains fruits tels que le fruit de l'arbre à pain (*Artocarpus communis* Forst., Moraceae) et la banane plantain (*Musa x paradisiaca* L., Musaceae). La formule de ce composé est illustrée dans la Figure 8. (MARTIN A., 2007 ; BRUNETON J., 2009) (réf.29)

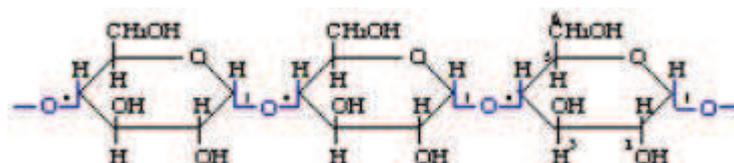


Figure 8 : Structure de l'amidon (réf.45)

La cellulose est un polymère végétal, formé de chaînes linéaires de glucoses reliés entre eux, par des liaisons spécifiques de type beta1-4. (ARNAUD P. *et al.*, 2006)

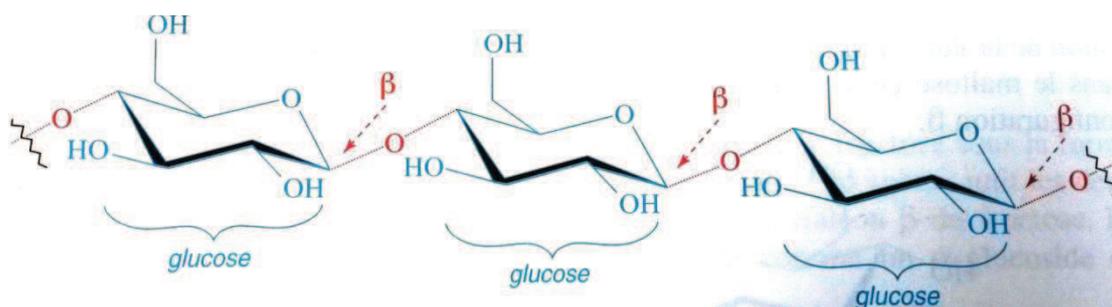


Figure 9 : Structure moléculaire de la cellulose (ARNAUD P. *et al.*, 2006)

Ces liaisons ont pour particularité de ne pas être brisées par les sucs digestifs de la plupart des animaux. Les molécules de cellulose s'assemblent entre elles, pour former les fibres. Ces dernières se superposent pour former la paroi des cellules végétales. Les fibres alimentaires, non digestibles, favorisent le transit intestinal et sont conseillées chez les personnes souffrant de constipation.

Il existe deux types de fibres ; solubles et insolubles, chacune jouant un rôle différent dans l'organisme selon leur mécanisme. Ce thème ne sera pas détaillé au cours de cette étude. Les principales sources alimentaires en fibres solubles et insolubles sont répertoriées dans la Figure 10. (ARNAUD P. *et al.*, 2006 ; SPILLER G. et SPILLER M., 2007)

	FIBRES INSOLUBLES (cellulose, hémicelluloses)	FIBRES SOLUBLES (pectines, mucilages, gommés)
Mécanisme	Par absorption, augmentent le volume du contenu digestif, régulent la fonction intestinale, ralentit la digestion et favorise la satiété	Forment un gel avec le contenu du bol alimentaire, ralentit l'absorption des glucides et diminuent la cholestérolémie
Principales sources	Céréales et son de céréales (couches périphériques) Riz complet Varech (<i>Fucus vesiculosus</i> L.)	Céréales : avoine, seigle, orge, blé Chicorée, topinambour Légumineuses Fruits : pommes, oranges, fraises, poires

Figure 10 : Fibres alimentaires solubles et insolubles, mécanismes d'actions et principales sources alimentaires (SPILLER G. et SPILLER M., 2007)

- Source et apport énergétique

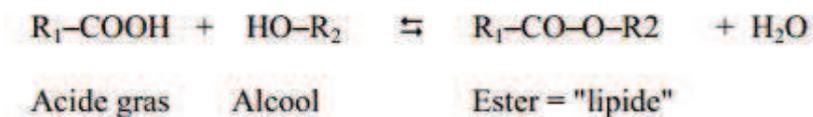
Les glucides sont essentiellement apportés par les végétaux : céréales, fruits et légumes. Les fruits crus apportent des glucides simples, à assimilation rapide, principalement sous forme de mono- et disaccharides (fructose, glucose et saccharose), et également sous forme de sorbitol. Les mono- et di- saccharides sont sucrants, à la différence des polysaccharides qui sont insipides. L'amidon est en revanche absent ou à l'état de trace.

La teneur glucidique est variable selon l'espèce et la maturation du fruit. Elle est plus faible dans les baies comme les groseilles ou les framboises (5 à 7 g pour 100 g de fruit frais) que dans les agrumes (6 à 9 g pour 100 g). Enfin, la teneur glucidique est plus élevée dans les fruits à noyau (prunes ou pêches), ou à pépins comme les pommes (jusqu'à 12 g pour 100 g de fruits frais). (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; MARTIN A., 2007 ; PELT J.- M., 2009,)

1.2. Lipides

- Généralités

Les lipides, également regroupés sous le nom de « graisses » ou « corps gras », sont constitués d'acides gras, leurs unités de base, et apportés par l'alimentation ou pour certains synthétisés par l'Homme. Ce sont des esters, issus de l'association d'un acide gras avec un alcool ou polyol. Ils sont obtenus par la réaction suivante :



Les lipides peuvent être des constituants des structures cellulaires, comme les phospholipides et les glycolipides membranaires des organismes vivants. Ils peuvent également former des substances de réserve et des sources d'énergie cellulaire. D'autres acides gras sont des précurseurs de molécules telles que les prostaglandines ou les leucotriènes, qui régulent les fonctions cellulaires. (BRUNETON J., 2009 ; MEDART J., 2009)

- Structure

Les lipides sont des substances hydrophobes, parfois amphiphiles, solubles dans les solvants organiques apolaires ou peu polaires, tels que le benzène et le chloroforme. Ces composés, non volatils, sont également retrouvés sous le nom d'« huiles fixes », en opposition aux huiles dites « essentielles », volatiles.

On distingue les lipides simples, des lipides complexes. Les premiers sont des esters d'acides gras avec un alcool comme le glycérol (triglycérides) ou un alcool aliphatique de masse moléculaire plus élevée (ex : les cérides). Les phospholipides et les glycolipides représentent la catégorie des lipides complexes. (BRUNETON J., 2009)

- Triglycérides ou triacylglycérols

Les triacylglycérols ou triglycérides sont des triesters du glycérol (HOCH₂-CHOH-CH₂OH) et d'acides gras (R-COOH) :

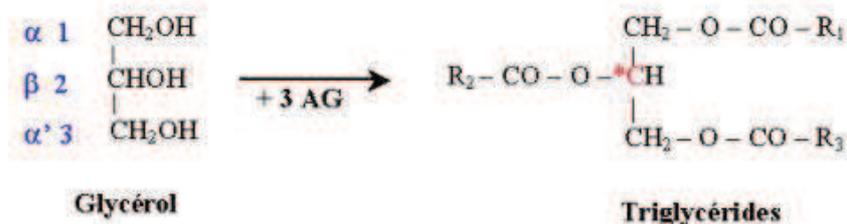


Figure 11 : Les triglycérides sont formés de trois acides gras liés par leur groupe carboxyle –COOH aux groupes hydroxyles –OH d'une molécule de glycérol (réf.13.a)

Les triglycérides sont pratiquement inexistantes dans les organes végétatifs tels que les feuilles, mais sont stockés dans les cellules des tissus de réserve des végétaux (parenchymes). Les lipides peuvent représenter plus de 50 % de la masse sèche des graines. Certains fruits, comme l'avocat, l'olive, ou encore la baie de laurier, concentrent les triglycérides dans leur péricarpe. (MEDART J., 2009)

- Acides gras des végétaux

La majorité des acides gras végétaux appartient à 2 groupes : les acides gras saturés (sans doubles liaisons) et les acides gras insaturés ; mono- et poly- insaturés, à une et au moins deux doubles liaisons. Dans les désignations abrégées des acides gras, on peut lire dans l'ordre, le nombre de carbones, le nombre de doubles liaisons, suivis de la position de ces doubles liaisons en partant de l'extrémité méthyle.

Certains acides gras, non synthétisables par l'Homme, mais indispensables au bon fonctionnement de l'organisme sont dit « essentiels ». C'est le cas des acides gras polyinsaturés (AGPI) essentiels, regroupant deux familles : les acides gras oméga 3 (ω3) et les acides gras oméga 6 (ω6), dont les précurseurs sont synthétisables par l'Homme.

Il s'agit respectivement de l'acide α-linolénique (18 : 3 ω-3) et de l'acide linoléique (18 : 2 ω-6). L'acide linoléique par réaction enzymatique conduit à l'acide arachidonique, le constituant essentiel des membranes cellulaires.

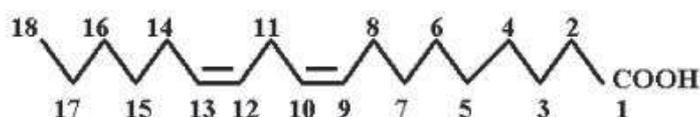


Figure 12 : Structure chimique de l'acide linoléique, (18 : 2 ω6) (réf.13.a)

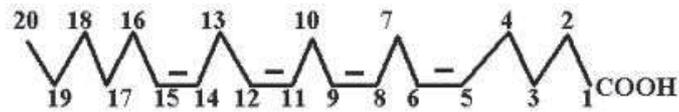


Figure 13 : Structure chimique de l'acide arachidonique, (20 : 4 ω6) (réf.13.a)

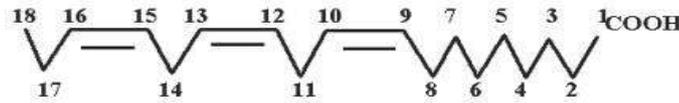


Figure 14 : Structure chimique de l'acide linoléique (18 : 3 ω3) (réf.13.a)

- Source et apport énergétique

Dans l'alimentation, les acides gras rencontrés les plus fréquemment sont listés ci-dessous, Figure 15:

Acides gras saturés (AGS)		
	Butyrique	C4 : 0
	Caproïque	C6 : 0
	Caprylique	C8 : 0
	Caprique	C10 : 0
	Laurique	C12 : 0
	Myristique	C14 : 0
	Palmitique	C16 : 0
	Stéarique	C18 : 0
	Arachidique	C20 : 0
Acides gras mono-insaturés (AGMI)		
Oméga 9	Palmitoléique	C16 : 1n-9
	Oléique	C18 : 1n-9
Acides gras polyinsaturés (AGPI)		
Oméga 6	Linoléique	C18 : 2n-6
	Arachidonique	C20 : 4n-6
Oméga 3	Alpha-linolénique	C18 : 3n-3
	Eicosapentaénoïque (EPA)	C20 : 5n-3
	Docosapentaénoïque	C22 : 5n-3
	Docosahexaénoïque (DHA)	C22 : 6n-3

Figure 15 : Principaux acides gras alimentaires (MEDART J., 2009)

L'apport en lipides doit être modéré à raison de 30 à 35 % de l'apport énergétique par jour. La teneur en lipides des fruits crus est inférieure à 1 g pour 100 g. A ce groupe, sont rattachées d'autres molécules telles que le cholestérol, la vitamine D, les stéroïdes, présentant certains apparentements au niveau de leur biogénèse. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; ARNAUD P. *et al.*, 2006 ; MARTIN A., 2007) (réf.13.a)

1.3. Protéines

- Généralités

Dans l'organisme, les protéines représentent environ 15 % du poids corporel. Elles fournissent avec les glucides et les lipides, l'énergie à notre organisme et représentent la principale source d'azote. Les protéines sont des constituants essentiels du fait de leurs nombreuses fonctions :

- De transport de molécules dans le courant circulatoire et dans les cellules (métabolites, nutriments, médicaments)
- De catalyse enzymatique de la plupart des réactions chimiques de l'organisme
- De structure de toutes les cellules de l'organisme (stabilité mécanique des organes et des tissus)
- De contraction : muscles striés squelettiques et muscles lisses (tube digestif)
- De défense de l'organisme (immunoglobulines, protéines du système du complément)
- D'information et de régulation (hormones, cytokines, récepteurs membranaires) (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005)

- Structure

Les protéines sont des polymères composés d'un enchaînement d'acides aminés, reliés par des liaisons peptidiques formées par réaction entre le radical amine $-NH_2$ et le radical carboxyle $-COOH$, de 2 acides aminés. (Figure 16)

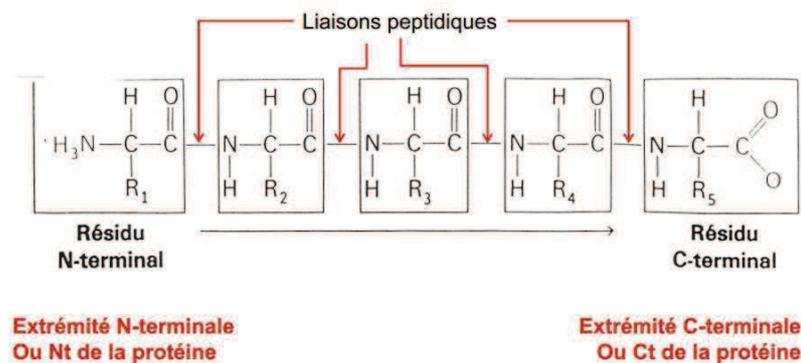


Figure 16 : Structure primaire des protéines (réf.53)

La masse moléculaire des protéines peut aller de 10000 daltons (unité de masse atomique) à plusieurs millions pour les plus gros complexes multimériques. Après digestion par les protéases gastriques (pepsine) et pancréatiques, les protéines sont transformées en acides aminés, eux-mêmes réutilisés dans la synthèse protéique endogène. Ces derniers sont environ une centaine chez l'Homme, chez les animaux et chez les végétaux. Seuls 20 sont utilisés dans la synthèse des protéines, dont 9 sont dits « indispensables », car non synthétisables et donc nécessairement apportés par l'alimentation. En voici la liste : le tryptophane, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, la valine, l'histidine, la leucine et l'isoleucine. Il n'existe pas de forme de stockage des protéines, tout excès d'apport est catabolisé. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005)

- Source et apport énergétique

Les protéines d'origine végétale sont essentiellement retrouvées dans les céréales (le blé, le riz et le maïs), mais également dans les légumes secs de la famille des Fabacées tels que les pois, le soja et les haricots (MEDART J., 2009).

Un apport journalier de 0,8 g par kg de poids corporel de protéines de bonne qualité biologique, aux proportions optimales en acides aminés essentiels, couvre les besoins protéiques d'un adulte (Figure 17). La teneur en protéines dans les fruits reste faible, allant de 0,2 à 0,3g pour 100g de fruits crus. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; MARTIN A., 2007; MEDART J., 2009)

Acide aminé essentiel	Proportions requises des besoins protéiques de sécurité
Histidine	16 ‰
Isoleucine	13 ‰
Leucine	19 ‰
Lysine	16 ‰
Méthionine (+ cystéine)	17 ‰
Phénylalanine (+ tyrosine)	19 ‰
Thréonine	9 ‰
Tryptophane	6 ‰
Valine	13 ‰

Figure 17 : Pourcentages d'acides aminés essentiels recommandés dans l'apport protéique (MEDART J., 2009)

2. Micronutriments

2.1. Vitamines

Les vitamines sont des substances organiques, sans valeur énergétique propre, que l'Homme ne peut produire en quantité suffisante. Elles sont nécessaires à l'organisme, pour leur contribution à de nombreuses fonctions biologiques et doivent être fournies par l'alimentation.

C'est en 1911, que le chercheur américain Casimir Funk, attribue le nom de « vitamine » à ces molécules. Ce terme est issu de la contraction latine d'« amine vitale » ou « vitale amine », avec « vita » pour « la vie » et « amine », terme chimique utilisé pour désigner les produits azotés. Ce nom rappelle le caractère indispensable de ces molécules azotées pour l'organisme. En réalité, on sait aujourd'hui que les vitamines sont des structures variées et qu'elles ne contiennent pas toutes le radical amine.

Contrairement aux macronutriments vus précédemment, les vitamines font partie des micronutriments, dont les besoins quotidiens ne sont que de l'ordre du microgramme ou du milligramme. A la différence des micronutriments et des oligoéléments d'origine minérale (*cf.* 2.2), les vitamines sont d'origine organique.

Seules les vitamines K et D sont synthétisables par l'homme, les autres sont fournies par l'alimentation. On distingue les vitamines liposolubles (A, E, D, K), des vitamines hydrosolubles (C, vitamines du groupe B).

De manière générale, les vitamines liposolubles sont absorbées en même temps que les graisses et seront stockées, alors que les vitamines hydrosolubles ne seront pas stockées et verront leurs apports excédentaires excrétés dans les urines.

Nous traiterons dans ce paragraphe, des vitamines principalement présentes dans les fruits. (GUILLAND J.- C. et LEQUEU B., 2009 ; MEDART J., 2009) (réf.4.b)

2.1.1. Vitamines liposolubles

- Vitamine A

La vitamine A proprement dite, également appelée vitamine A préformée, se trouve dans les produits d'origine animale. Par ailleurs, certains pigments d'origine végétale, les caroténoïdes, peuvent être transformés en vitamine A par l'organisme. Ces composés phytochimiques, sont dits pro-vitaminiques.

Le terme « vitamine A » est utilisé pour tous les dérivés (à l'exception des caroténoïdes) possédant une structure ou une activité biologique comparable à celles de la molécule de base, le rétinol,(Figure 18). (réf.38.b)

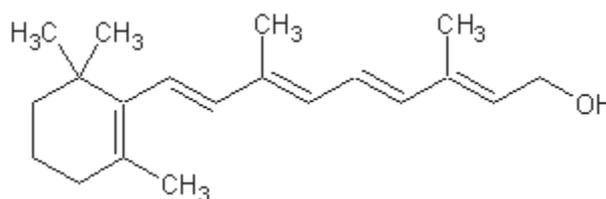


Figure 18 : Structure de base de la vitamine A, le rétinol (réf.48)

Dans cette étude consacrée aux fruits, nous porterons notre attention sur les provitamines A végétales (les caroténoïdes), abordées dans le chapitre 4(Composés phytochimiques) de cette partie.

La vitamine A exerce de multiples effets biologiques. Elle est responsable de la formation d'un pigment photosensible, la rhodopsine, qui permet la vision crépusculaire (*cf.cassis*). La vitamine A intervient également dans la différenciation cellulaire, au cours des phénomènes d'embryogenèse, de croissance et de renouvellement tissulaire. Elle joue un rôle dans l'immunité mais aussi sous forme d'acide rétinoïque dans le contrôle de l'expression génomique e. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

Nous retiendrons que la vitamine A d'origine animale, est présente essentiellement dans les aliments comme le foie, le lait, le beurre, le fromage, l'œuf, mais également dans le poisson.

L'apport nutritionnel conseillé est de 800 ER/j, avec une répartition idéale de 60% de caroténoïdes et de 40% de vitamine A préformée.

L'unité utilisée est exprimée en équivalent rétinol (ER), qui permet de simplifier le calcul de la teneur vitaminique globale (rétinol + caroténoïdes) grâce aux équivalences suivantes :

1 ER = 1 µg de rétinol = 6 µg de β-carotène = 12 µg de mélange de carotènes = 3,3 UI* de vitamine A (*L'unité internationale UI est égale à 0,3 µg de rétinol) (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

- Vitamine E

Le terme " vitamine E " recouvre un ensemble de 8 formes organiques liposolubles, d'origine végétale. Ces molécules sont des dérivés prénylés du benzodihydropyrane, apparentés aux lipides. Ils renferment un noyau chromane (cerclé sur la Figure 19) associé à une chaîne hydrocarbonée. On distingue les tocophérols des tocotriénols, en fonction du caractère insaturé (tocophérols) ou saturé (tocotriénols) de la chaîne latérale. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; BRUNETON J., 2009)

Leurs structures chimiques sont illustrées ci-dessous :

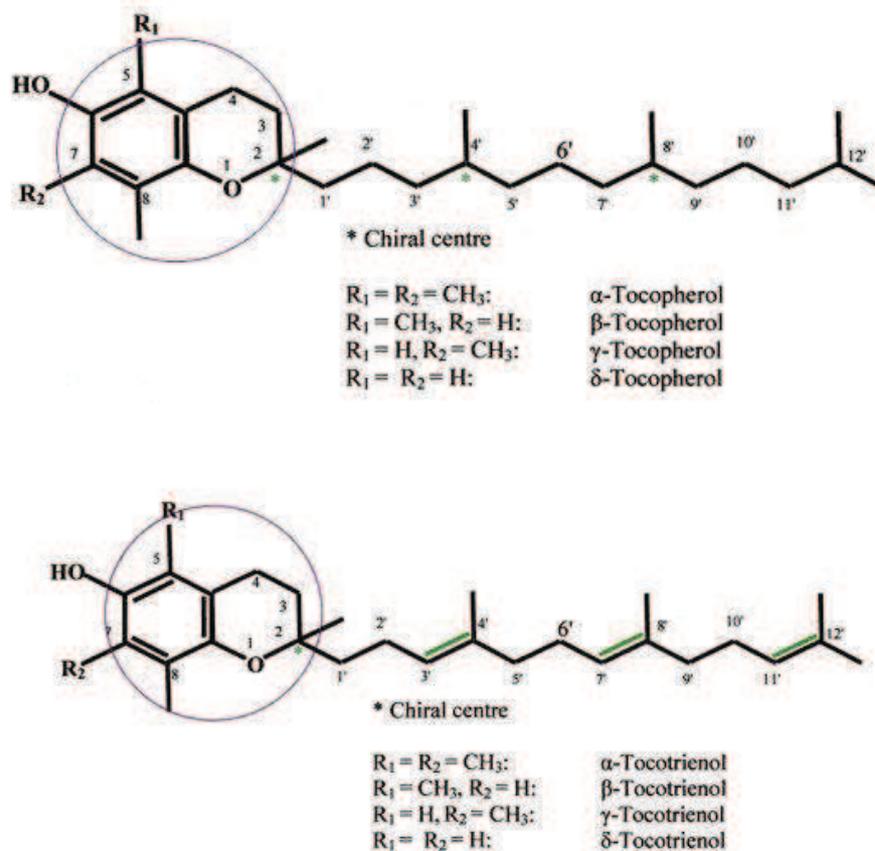


Figure 19 : Structures chimiques des tocophérols et des tocotriénols (réf.36)

Les tocophérols sont essentiellement synthétisés dans les tissus chlorophylliens alors que les graines renferment des tocotriénols. (BRUNETON J., 2009)

Les huiles végétales fournissent 70 à 80 % des apports en vitamine E (ex : huile de tournesol : 50/70 mg de tocophérols pour 100 g d'huile). L'huile de tournesol, les margarines, les céréales, les fruits secs (ex : amandes, noisettes) et certains légumes à feuilles vertes (épinards, choux, brocolis), ou encore l'avocat, en renferment également. (Figure 20) (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

Remarque : Le terme « légume » utilisé par les nutritionnistes, renferme plusieurs types d'aliments. En effet, les Fabacées, ex-légumineuses, sont des graines (haricots blancs, soja, lentilles, petits pois, pois chiches), les courges sont des fruits et l'artichaut est une inflorescence. Les légumes au sens botanique, regroupent des racines, des tiges et des feuilles (haricots verts, épinards, laitue).



Figure 20 : Principales sources alimentaires de vitamine E (réf.38)

La forme naturelle, prépondérante dans la plupart des espèces végétales, est le D- α -tocophérol. Cette vitamine est stockée dans le foie, le tissu adipeux et les surrénales de l'organisme humain. Les α -tocophérols sont les principaux composés responsables de l'activité vitaminique E. L'importance de la vitamine E s'explique par son rôle antioxydant et de piègeur de radicaux libres (*cf.* PARTIE 3 II. 2.). (VASSON M.- P. *et al.*, 2007).

Les apports nutritionnels conseillés en vitamine E chez l'adulte, sont estimés à 12 mg par jour. Ces besoins sont généralement couverts par une alimentation équilibrée comprenant des fruits et des légumes. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005; MARTIN A., 2007; GUILLAND J.- C. et LEQUEU B., 2009 ; MEDART J., 2009; PELT J.- M., 2009) (réf.52.a)

2.1.2. Vitamines hydrosolubles

- Vitamine B₁ : thiamine

La thiamine, ou vitamine B₁, est formée par un cycle pyrimidique, relié par un pont méthylène à un noyau thiazole.

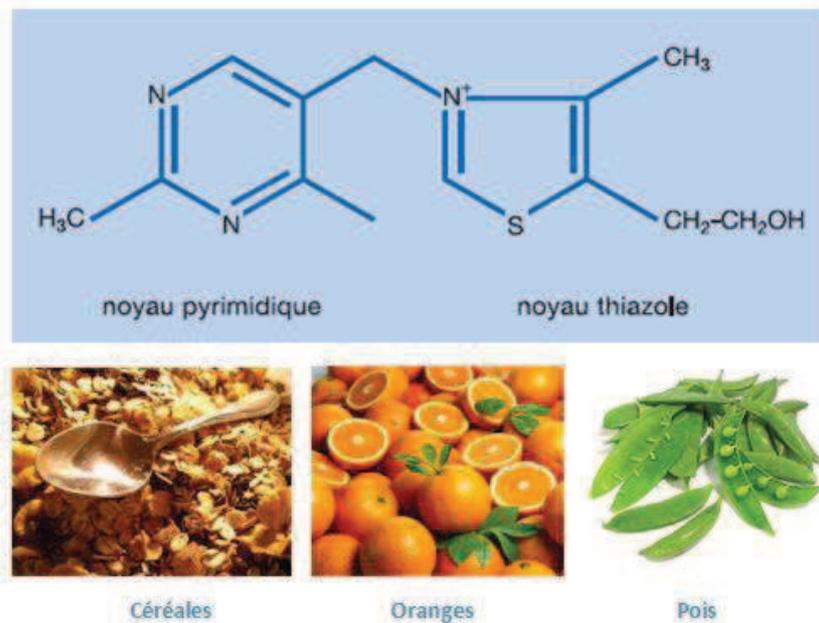


Figure 21 : Structure moléculaire de la thiamine et ses principales sources alimentaires (DAUVERGNE A. et GALINIER A., 2007) (réf.38, 44)

La vitamine B₁ n'est pas stockée dans l'organisme, ce qui nécessite un apport alimentaire, sous forme de thiamine libre ou de triphosphate de thiamine, TPP (= pyrophosphate de thiamine). Dans l'organisme, les trois quarts de la thiamine sont sous forme phosphorylée (globules rouges, leucocytes, organes tels que le foie, le rein, le cœur, et le cerveau), contre un quart sous forme libre dans le plasma. (DAUVERGNE A. et GALINIER A., 2007)

Cette vitamine est synthétisée dans de nombreuses plantes. Les meilleures sources en vitamines B₁ d'origine végétale (thiamine libre), sont les produits céréaliers (grains entiers (tournesol, lin), son d'avoine, germes de blé), la levure de bière et la levure alimentaire (*Saccharomyces cerevisiae*), les fruits secs, mais aussi les fruits frais comme l'orange, et certaines Fabacées comme le pois. Les viandes (porc cuit) et les poissons (thon, saumon) renferment également de la vitamine B₁ (thiamine phosphorylée). La plupart de ces aliments seront consommés crus de préférence, en raison du caractère thermolabile de cette vitamine. (DAUVERGNE A. et GALINIER A., 2007 ; MEDART J., 2009) (réf.3)

Le pyrophosphate de thiamine, TPP, est un groupement retrouvé dans de nombreuses protéines à activité enzymatique. En plus d'un rôle structural, la thiamine (TPP) participe au métabolisme du glucose et au cycle de Krebs, par son intervention dans les réactions de décarboxylation des acides α -cétoniques et de transcétoylation. Cette vitamine participe également au fonctionnement du système nerveux et aux mécanismes de la mémorisation en stimulant la neurotransmission et la synthèse d'acétylcholine. Elle est également nécessaire au bon fonctionnement des muscles, en particulier au niveau myocardique.

L'apport en thiamine est jugé insuffisant chez 50 % des adultes. L'apport nutritionnel conseillé en vitamine B₁ est de 1 à 1,3 mg par jour. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005; DAUVERGNE A. et GALINIER A., 2007 ; GUILLAND J.- C. et LEQUEU B., 2009 ; MEDART J., 2009)

- Vitamine B₂ : lactoflavine, riboflavine

Cette vitamine thermostable et photosensible, est formée par une structure hétérosidique comportant un aglycone tricyclique, azoté et polyinsaturé, appelée flavine. Cette dernière est couplée à une molécule de ribose, comme l'indique l'appellation « riboflavine ».

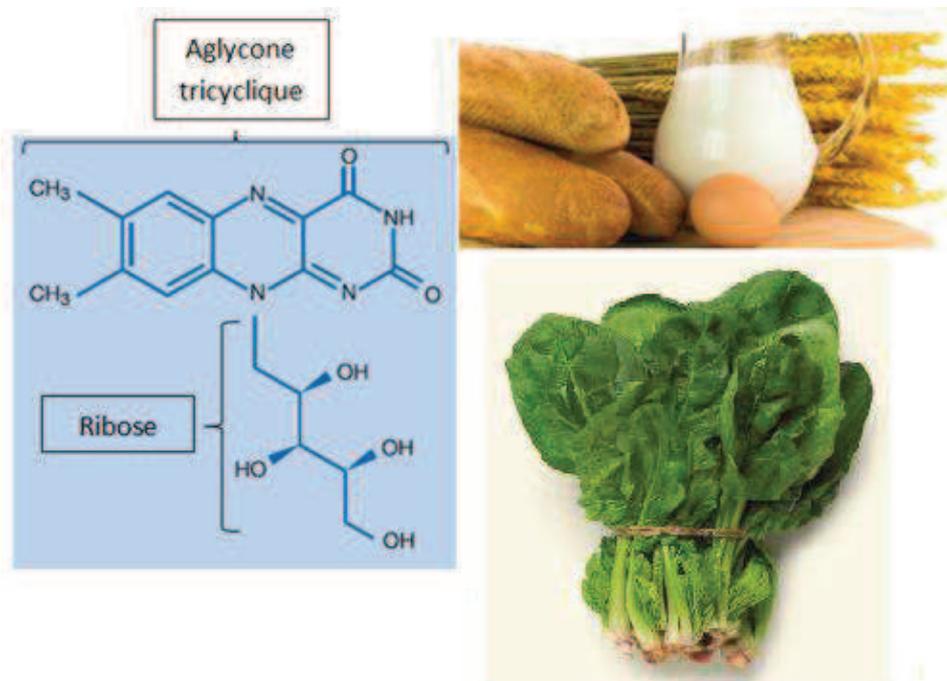


Figure 22 : Structure moléculaire de la riboflavine et ses principales sources alimentaires (BONNEFONT-ROUSSELOT D. et GALINIER A., 2007) (réf.38)

La vitamine B₂ fut initialement isolée du lait, d'où son autre dénomination « lactoflavine ». Les aliments riches en vitamine B₂ sont diversifiés. On la retrouve dans le foie de veau ou de bœuf (jusqu'à 5mg pour 100g), dans les produits laitiers et dans les œufs (de 0,3 à 0,45mg pour 100g) ainsi que dans les fruits secs (amandes), dans les légumes verts (brocolis, épinards) en quantités variables et dans les levures (levure de bière et levure de boulanger : *Saccharomyces cerevisiae*). (réf.51)

Cette vitamine est stockée dans le cœur et le foie, et distribuée vers les tissus et dans la circulation sanguine, sous deux formes biologiques actives : la flavine mononucléotide, (FMN) et la flavine adénine dinucléotide (FAD). Ces deux molécules interviennent en tant que coenzymes d'oxydoréduction et transporteurs d'électrons dans la chaîne respiratoire mitochondriale. La vitamine B₂ participe également à la défense antioxydante naturelle de l'organisme, comme cofacteur de la glutathion réductase (GR). (cf. PARTIE 3.II.1). Enfin, la FMN et la FAD participent avec divers métaux comme le fer, le soufre et le cuivre, à la formation d'hétéroprotéines, dites flavoprotéines (les oxygénases et les déshydrogénases).

Les besoins journaliers en vitamine B₂ sont généralement couverts et apportés par une alimentation diversifiée, sous forme de vitamine libre ou liée à des protéines alimentaires. Les apports nutritionnels conseillés en riboflavine sont de l'ordre de 1,5 mg par jour. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005; BONNEFONT-ROUSSELOT D. et GALINIER A., 2007 ; MARTIN A., 2007 ; GUILLAND J.- C. et LEQUEU B., 2009 ; MEDART J., 2009)

- Vitamine B₃ : vitamine PP ou niacine

Le terme générique « niacine » englobe l'acide nicotinique, son amide (nicotinamide) et ses métabolites actifs. Le terme « vitamine PP » pour « Pellagre Préventive », fut déterminé par des chercheurs italiens, suite à la découverte de l'activité prophylactique et thérapeutique de la vitamine B₃, vis-à-vis de la pellagre. Cet état est dû à une insuffisance d'apport en tryptophane ou en niacine (d'origine métabolique ou idiopathique) et entraîne des désordres neuromoteurs, une exagération des réflexes tendineux, des brûlures aux extrémités, accompagnées d'une asthénie. (GARCIA I. et DRAI J., 2007)

L'ensemble de ces molécules est distribué dans l'organisme, en particulier dans le foie, dans les muscles et dans le sang, sous deux formes actives essentiellement : le nicotinamide adénine-dinucléotide, NAD (mitochondrial), et le nicotinamide adénine-dinucléotide phosphate, NADP, (cytoplasmique). La vitamine B₃ est également retrouvée dans des quantités moindres, sous forme d'acide nicotinique libre. (Figure 23)

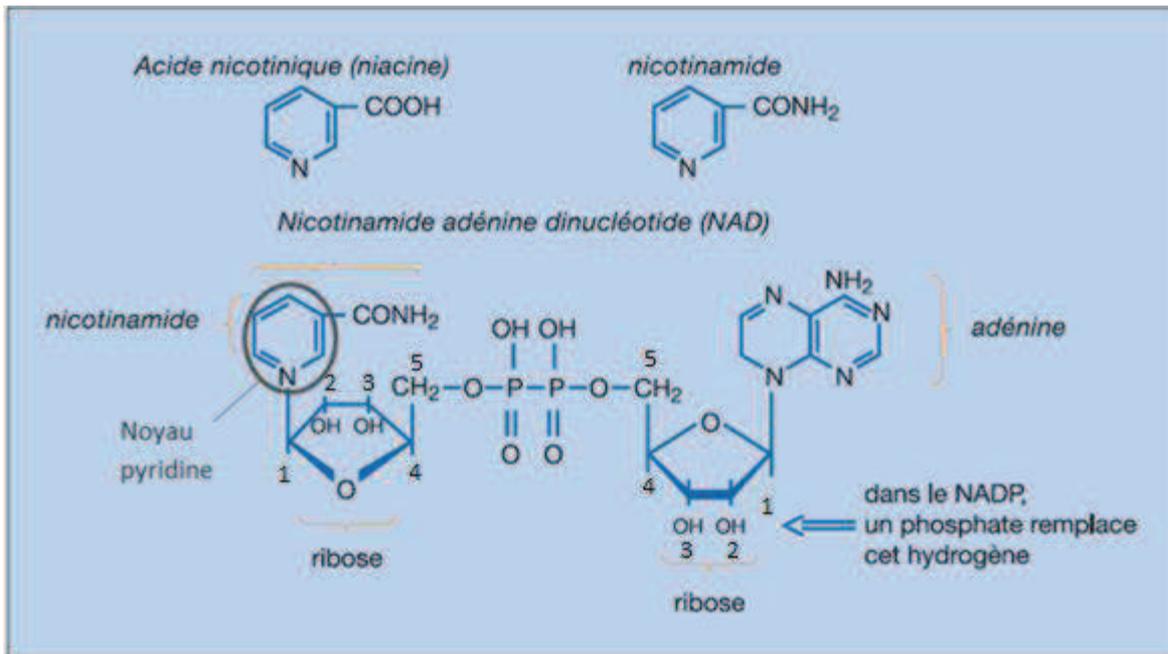


Figure 23 : Structures moléculaires de l'acide nicotinique (niacine) et de ses dérivés (GARCIA I. et DRAI J., 2007)

Ces deux molécules (NAD et NADP) sont issues du nicotinamide. Le NAD, est formé de nucléotides combinés par leur résidu phosphorylé, l'un portant comme base l'adénine, l'autre le nicotinamide. Le NADP comporte un radical phosphoryle qui se fixe sur le carbone 2 du ribose associé à l'adénine.

La vitamine B₃ est présente dans tous les aliments. Elle est particulièrement abondante dans les viandes (poulet), les poissons (thon, saumon), les levures (de bière et de boulanger : *Saccharomyces cerevisiae*), les arachides (cacahuètes), les Fabacées et les champignons. (GARCIA I. et DRAI J., 2007)

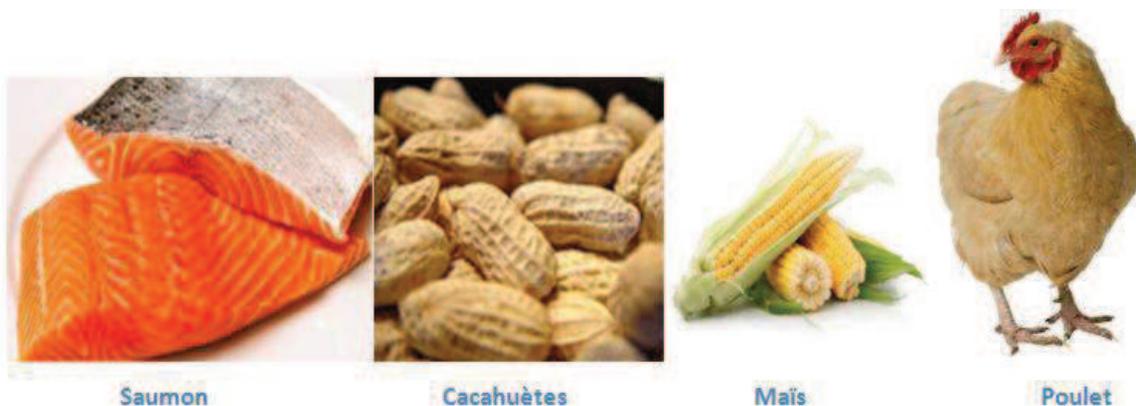


Figure 24 : Principales sources alimentaires de vitamine B₃ (réf.38)

Les céréales sont également riches en niacine, notamment le maïs (niacytine). Cette vitamine peut être synthétisée de manière endogène par les bactéries intestinales à partir d'un acide aminé, le tryptophane. (Environ 60 mg de tryptophane permettent de former 1 mg de niacine) (GARCIA I. et DRAI J., 2007)

Les formes actives de la niacine, le NAD et le NADP, interviennent comme couples oxydo-réducteurs NAD/NADH et NADP/NADPH, dans de nombreuses réactions d'oxydo-réduction grâce à l'azote de leur noyau pyridine (accepteur ou transporteur d'hydrogène d'un substrat à un autre). Le nicotinamide adénine-dinucléotide (NAD) et le nicotinamide adénine-dinucléotide phosphate (NADP), sont des coenzymes de nombreuses déshydrogénases et oxygénases, intervenant dans le métabolisme oxydoréducteur de tous les macronutriments. Ces molécules forment également une source de ribose-Adénosine diphosphate, ribose-ADP, impliqué dans la réplication et dans la réparation de l'Acide désoxyribonucléique, ADN, entre autres.

Les apports nutritionnels recommandés en vitamine PP, sont compris entre 11 et 14 mg par jour et sont en général couverts par la synthèse endogène. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005; GUILLAND J.- C. et LEQUEU B., 2009 ; MEDART J., 2009)

- Vitamine B₅ : acide pantothénique

La structure de la vitamine B₅ (ou acide pantothénique), résulte de la condensation d'une molécule d'acide pantoïque avec une molécule de β-alanine. Cette vitamine dérive d'une provitamine, le panthénol, forme alcool de l'acide panthoténique.

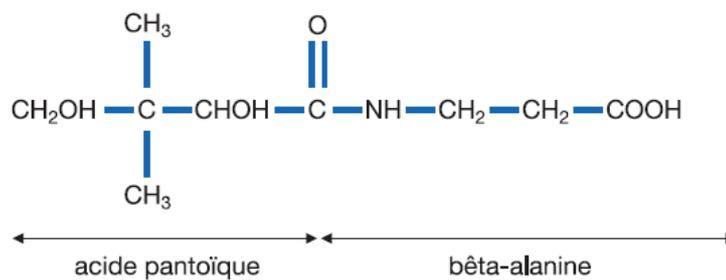


Figure 25 : Structure moléculaire de l'acide pantothénique (CUVELIER I., 2007)

Bien qu'elle ne soit synthétisée que par les plantes et par les microorganismes, son nom « pantothénique » issu du grec *Pantos*, signifiant « de partout », souligne son caractère ubiquitaire. L'acide pantothénique circule dans le plasma sous sa forme libre, mais la grande majorité de cette vitamine est située dans les globules rouges, sous la forme de coenzyme A.

Cette vitamine est largement répandue dans l'alimentation. On la retrouve dans des produits d'origine végétale, animale, et dans les levures (levure de bière et levure de boulanger : *Saccharomyces cerevisiae*), avec des teneurs de l'ordre du microgramme par gramme de produit.(Figure 26)

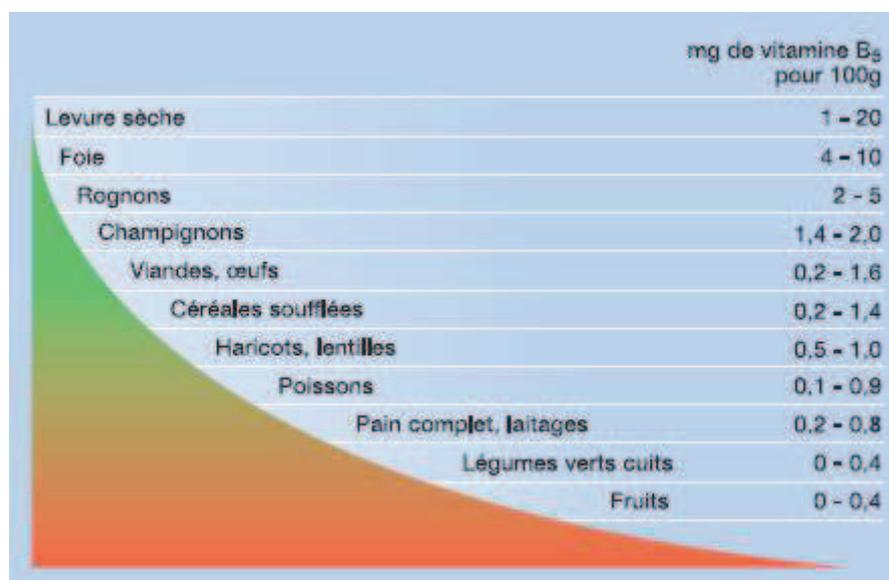


Figure 26 : Principales sources alimentaires de vitamine B₅ (CUVELIER I., 2007)

Les abats (foie de veau), les poissons (ormeau, saumon, thon), les œufs mais également les champignons (Shiitaké) fourniraient l'essentiel de cette vitamine. (CUVELIER I., 2007) (réf.34)

L'acide pantothénique entre dans la composition de deux dérivés : le coenzyme A, CoA, majoritaire, et l'*Acyl Carrier Protein*, ACP. Le coenzyme A, participe à de nombreuses voies métaboliques en activant énergétiquement le groupement acétyle issu du métabolisme des sucres, des acides aminés, ou des acides gras. L'*Acyl Carrier Protein* fait partie d'un complexe enzymatique, l'acide gras synthase. Il est mis en jeu dans la synthèse d'acides gras à longue chaîne ou de stéroïdes, dont le cholestérol. Les deux dérivés de la vitamine B₅, interviennent en synergie avec la vitamine B₂ et la vitamine B₃, au cours de la décarboxylation d'oses ou d'acides aminés.

Les apports nutritionnels recommandés en vitamine B₅ sont compris entre 5 et 10 mg par jour. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005; MARTIN A., 2007 ; GUILLAND J.- C. et LEQUEU B., 2009)

- Vitamine B₆

La vitamine B₆, généralement désignée par sa forme pyridoxine, est un terme englobant 6 composés : le pyridoxal (PL), la pyridoxine (PN), la pyridoxamine (PM), et leurs dérivés phosphorylés, comprenant entre autres, le pyridoxal-5'-phosphate (PLP). Tous, dérivent de la 3-hydroxy-2méthylpyridine.

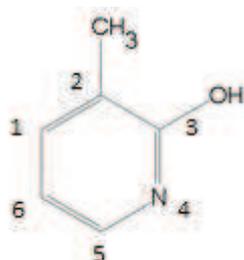


Figure 27 : Structure de base : la 3-hydroxy-2méthylpyridine (réf.43)

Les dérivés se distinguent par le groupement R₁, situé en position 4, pouvant être un alcool (pyridoxine), un aldéhyde (pyridoxal) ou une amine (pyridoxamine). (Figure 28). Ces trois formes vitaminiques peuvent être phosphorylées pour donner le phosphate de pyridoxine, le phosphate de pyridoxal et le phosphate de pyridoxamine.

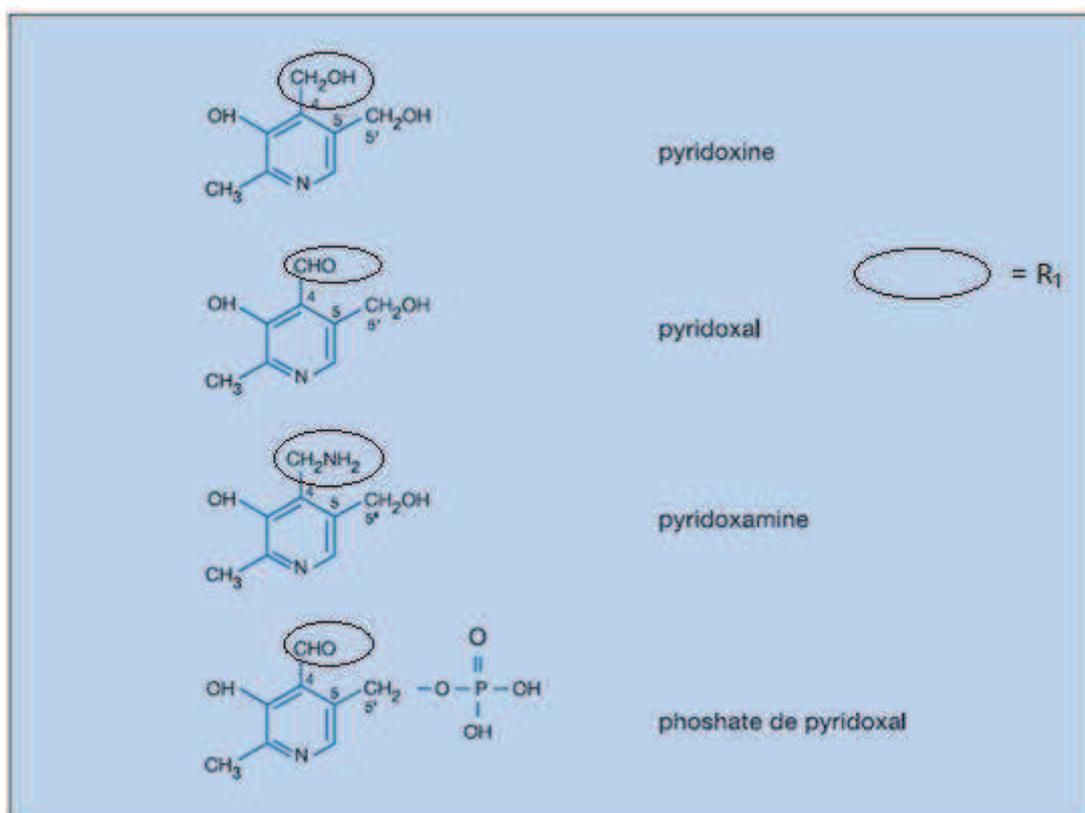


Figure 28 : Structures moléculaires des différentes formes de vitamine B₆ (GARCIA I. et DRAI J., 2007)

La vitamine B₆ se trouve dans les produits d'origine végétale (pyridoxine) et animale. On la trouve en particulier dans la viande (boeuf), dans le poisson (thon, saumon), dans les céréales (maïs, farine de blé entier), dans les fruits (bananes, avocat), les légumes frais (cœurs de palmiers, choux) et dans les levures (levure de bière et levure de boulanger : *Saccharomyces cerevisiae*). Les bactéries intestinales synthétisent également de la vitamine B₆. Cette vitamine est photosensible et thermostable. (MEDART J., 2009) (réf.34)



Figure 29 : Principales sources alimentaires en vitamines B₆ (réf.38)

Le phosphate de pyridoxal (PLP) joue un rôle important dans l'activité d'une centaine d'enzymes impliquées dans de multiples voies métaboliques. Parmi les réactions dans lesquelles il entre en jeu, on peut citer, l'absorption et le métabolisme des glucides et des protéines, les réactions de décarboxylation et de transamination des acides aminés, l'utilisation des lipides. Le phosphate de pyridoxal participe également au métabolisme du tryptophane, à la synthèse de neurotransmetteurs ainsi qu'à la protection des cellules nerveuses et à l'intégrité du système immunitaire. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

Les apports nutritionnels recommandés pour l'adulte sont compris entre 1,5 et 1,8 mg par jour, majorés à 2,0 mg par jour pour la femme enceinte ou allaitante et à 2,2 mg par jour pour la personne âgée. En raison de son rôle majeur dans le métabolisme des acides aminés, le besoin en vitamine B₆ varie selon l'apport en protéines, et croît particulièrement en cas de régime hyperprotéiné. (GARCIA I. et DRAI J., 2007 ; MARTIN A., 2007 ; VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

- Vitamine B₉

La vitamine B₉ regroupe sous ce terme, un ensemble de molécules comprenant l'acide folique et ses dérivés ; les folates (du mot latin *folium*, feuille, dû à l'abondance de vitamine B₉ dans les végétaux foliacés). Le terme « folates » englobe tous les pteroylglutamates, qui sont des formes coenzymatiques réduites et activées de la vitamine B₉ dans l'organisme. Toutes dérivent de l'acide folique, acide pteroyl-monoglutamique (Figure 30). (GUEANT J.- L., *et al.*, 2007)

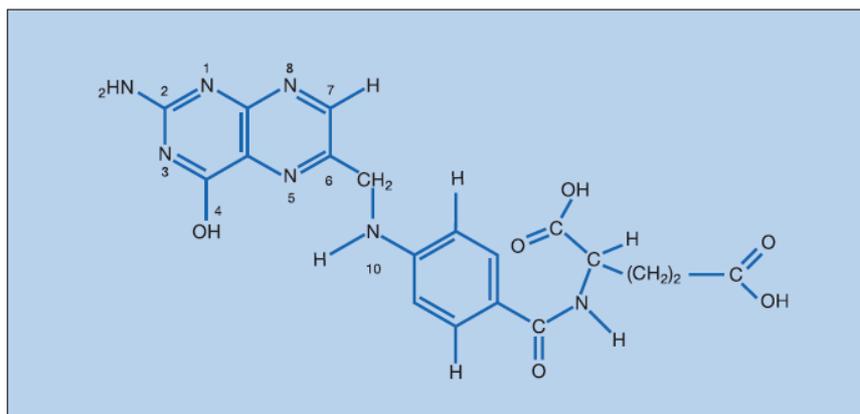


Figure 30 : Structure moléculaire de l'acide folique (GUEANT J.- L., *et al.*, 2007)

Les formes réduites, telles que le dihydrofolate (DHF), et les tétrahydrofolates (THF), sont les seules formes actives. Ces dérivés polyglutamiques, de masse moléculaire variable, sont formés sur la base d'une molécule d'acide folique, composé de trois éléments : un noyau pteridine azoté et insaturé et une molécule d'acide para-aminobenzoïque, couplés à un acide glutamique. (GUEANT J.- L., *et al.*, 2007)

Cette vitamine, photosensible et thermosensible, est synthétisée par les végétaux et apportée par l'alimentation sous forme de polyglutamates. Parmi eux, 50 à 60% seulement seront déconjugués puis absorbés par l'organisme. (GUEANT J.- L., *et al.*, 2007)

Les principales sources alimentaires de vitamine B₉ sont les légumes verts à feuilles (épinards, asperges, laitue, mâche, endives), les fruits tels que les agrumes et l'avocat. On la rencontre également dans les aliments tels que certains fromages affinés, les œufs, les abats (foie d'agneau), les fruits secs (noix) et les Fabacées (lentilles, pois chiches). (VASSON M.- P. *et al.*, 2007) (réf.34)



Figure 31 : Principales sources alimentaires de vitamine B₉ (réf.38)

La vitamine B₉ permet le transfert de groupements méthyle (CH₃) ou formyle (CHO), mis en jeu dans le métabolisme de diverses molécules. Les radicaux monocarbonés, se fixent sur les azotes du noyau ptéridine sont transportés dans toutes les réactions de catabolisme (destruction). De cette manière, les folates permettent la dégradation de l'histidine en acide glutamique (en passant par la formation d'un intermédiaire, le formiminoglutamate FIGLU) ou l'interconversion de certains acides aminés (sérine en glycine, la transformation de l'homocystéine en méthionine). A noter que l'augmentation de l'homocystéinémie constituerait un risque de maladies cardiovasculaires, la vitamine B₉ aurait ainsi un effet préventif vis-à-vis de ces maladies. Les folates participent également à la synthèse de bases pyrimidiques (thymine) et puriques (purine), constituants des acides nucléiques (l'acide désoxyribonucléique et l'acide ribonucléique). De plus, la vitamine B₉ intervient dans l'hématopoïèse et dans la synthèse des neuromédiateurs. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; PELLANDA H., 2012)

Les apports nutritionnels recommandés en vitamine B₉, sont de 330 µg par jour chez l'homme et de 300 µg par jour chez la femme. Dans le cas de la femme enceinte ou allaitante, les besoins sont accrus par l'expansion des tissus maternels mais aussi par l'accumulation de réserves en folates de l'enfant (de même pour toutes les vitamines hydrosolubles). Un déficit en vitamine B₉, dans les premières semaines de grossesse, peut être à l'origine de la non fermeture du tube neural, responsable d'un retard de croissance. Ceci explique une supplémentation possible en acide folique de 400 µg par jour, pour les femmes enceintes. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005; MARTIN A., 2007 ; VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; GUILLAND J.- C. et LEQUEU B., 2009 ; MEDART J., 2009)

- Vitamine C

La vitamine C ou acide L-(déshydro)ascorbique, est constituée d'un cycle lactonique insaturé, substitué de deux fonctions alcools primaires et d'un groupe cétone. En solution, elle est thermolabile, photosensible et facilement oxydable.

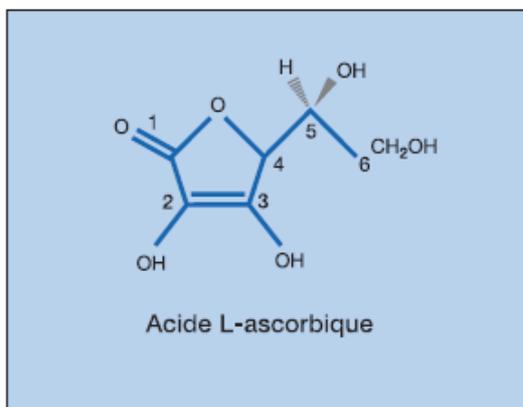


Figure 32 : Structure moléculaire de la vitamine C (forme oxydée) (GUILLAND J.- C. et LE MOEL G., 2007)

De nombreux aliments contiennent de la vitamine C, à des teneurs variables. Elle est particulièrement abondante dans le monde végétal. Les fruits et les légumes représentent la source principale de cette vitamine. Parmi les aliments les plus riches en vitamine C, on peut citer le persil, le cresson, le cassis, le kiwi, la goyave, l'acérola et la papaye. Selon le mode de cuisson, 30 à 50% de la vitamine C contenue dans les aliments, peut être détruite. (MEDART J., 2009)



Figure 33 : Principales sources alimentaires de vitamine C (réf.38)

Aliment (état frais)	Vitamine C (mg/100g)
Goyave	228
Persil	200
Cassis	181-200
Pulpe d'acérola frais	179
Poivron jaune cru	128
Kiwi	93
Papaye	61
Cresson	61
Chou rouge cru	56
Orange	50
Pamplemousse	31-40

Figure 34 : Aliments riches en vitamine C (VASSON M.- P. *et al.*, 2007) (réf.34)

Les deux formes physiologiques, l'acide L-déshydroascorbique (forme oxydée) et acide L-ascorbique (forme réduite), forment un couple oxydo-réducteur. Ainsi, cette vitamine possède un pouvoir d'acide faible et de potentiel réducteur.

L'acide ascorbique est un donneur de protons et est utilisé dans deux grands types de réactions. Il intervient dans les réactions d'hydroxylation en participant à la synthèse de collagène (protéine de soutien de la peau et du squelette) grâce à l'hydroxylation de la proline et de la lysine mais également dans l'hydroxylation des précurseurs de la carnitine. Il participe également à la synthèse des catécholamines, telles que la noradrénaline (NA) et la dopamine (DA), médiateurs importants du système nerveux.

Cette molécule constitue un antioxydant hydrosoluble, en participant directement à la destruction des radicaux libres en milieu aqueux. De manière indirecte, la vitamine C inhibe l'oxydation lipidique membranaire par la régénération de la vitamine E. (*cf.* PARTIE 3. II. 2.)

La vitamine C joue également un rôle dans la prévention et dans la lutte contre les infections, en stimulant les cellules immunitaires où elle est 100 fois plus concentrée que dans le plasma. Enfin, la présence de vitamine C facilite l'absorption digestive du fer non hémérique, en favorisant la réduction du fer oxydé.

L'apport nutritionnel recommandé en vitamine C, est de l'ordre de 110 mg par jour pour un adolescent ou un adulte. Sa carence entraîne un syndrome grave, le scorbut, se manifestant par des œdèmes et des hémorragies, en particulier au niveau buccal, et pouvant remettre en cause le pronostic vital. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005; MARTIN A., 2007; GUILLAND J.- C. et LEQUEU B., 2009 ; MEDART J., 2009)

2.2. Principaux sels minéraux

Les sels minéraux sont des substances inorganiques, non synthétisables par l'homme, mais indispensables aux différents processus biologiques. Ils sont apportés par les eaux des boissons ou par les aliments, puis absorbés sous leur forme ionisée. Les apports nutritionnels conseillés sont répertoriés dans le tableau situé en ANNEXE 2.

Les principaux sels minéraux sont le sodium Na, le potassium K, le calcium Ca et le phosphore P. On les trouve dans les fruits en proportions variables. Les fruits sont inégalement pourvus en calcium, les plus riches étant les agrumes et le cassis. La présence de potassium dans les fruits est considérable, notamment dans la grenade, mais également dans les baies, comme le cassis, la mûre et la groseille. La teneur en sodium des fruits reste relativement faible, de l'ordre de 6 mg pour 100g de fruits frais (excepté le melon, où elle peut atteindre 20 mg pour 100g de fruit). Le phosphore est également présent dans les fruits mais en quantité moindre. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; MEDART J., 2009)

- Calcium

Le calcium est le sel minéral le plus abondant de l'organisme. Les produits laitiers et leurs dérivés, représentent la source essentielle du calcium alimentaire. Il est également retrouvé dans les poissons en conserves, mais aussi dans certains légumes à feuilles vertes (persil, épinard, cresson, rhubarbe), dans les fruits secs et dans certaines eaux minérales. Nous noterons que la biodisponibilité du calcium des produits laitiers, est supérieure à celle des produits d'origine végétale, qui contiennent des composés susceptibles de se lier au calcium (oxalates, phytates, tanins). (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

99 % du calcium organique est contenu dans le squelette, contre seulement 1% de calcium extra-osseux. Le calcium corporel représente environ 1000 à 1200 g chez l'Homme.

Ce sel minéral est étroitement lié au phosphore dans son intervention dans le métabolisme du tissu osseux. En se fixant sur la trame protéique des os, sous forme de complexes d'anions phosphates ou carbonates calciques (en présence de vitamine D), le calcium favorise la minéralisation et renforce la rigidité des os et des dents.

Sous sa forme ionique Ca^{2+} , le calcium intervient dans de nombreuses fonctions cellulaires fondamentales, telles que la constitution des nucléotides, de certaines protéines, et des phospholipides membranaires. Le flux calcique transmembranaire participe à la stimulation de la conduction nerveuse et de la contraction musculaire. Le calcium contrôle la perméabilité, la stabilité et les échanges membranaires. En outre, il joue un rôle dans la coagulation sanguine, en activant par sa fixation des protéines vitamine K (potassium) dépendantes, telles que la prothrombine.

Chez l'adulte, les apports nutritionnels recommandés en calcium sont de 800 mg par jour, majorés à 1200 mg chez les femmes de plus de 55 ans et chez les hommes de plus de 65 ans. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; MEDART J., 2009)

- Potassium

Les sources alimentaires les plus riches en potassium regroupent de nombreux fruits (banane, avocat, cassis, groseille, abricot), des fruits secs (pistaches, amandes), des Fabacées (soja, haricots blancs, haricots rouges, lentilles) et des légumes (cœurs de palmiers, épinards, cresson). Certains poissons et fruits de mer (morue salée, saumon, flétan, pétoncles) renferment également du potassium. (réf.34)

Ce sel minéral est retrouvé en fortes concentrations dans l'organisme, au niveau intracellulaire. Grâce au maintien du pouvoir osmotique, il permet la préservation du métabolisme cellulaire et du volume cytoplasmique. La pompe Na^+/K^+ , transmembranaire, est dépendante du potassium. Ainsi, celui-ci agit étroitement avec le sodium pour maintenir l'équilibre acido-basique du corps et celui des fluides. Le potassium contrôle le taux des fluides et le pH (niveau d'acidité) à l'intérieur des cellules. Il entraîne la libération de protons au niveau rénal et stimule la sécrétion d'acide chlorhydrique au niveau stomacal (favorisant la digestion). Ce cation permet aussi la transmission de l'influx nerveux et la contraction musculaire, en particulier au niveau du myocarde. Il régule également la sécrétion de l'aldostérone et participe au bon fonctionnement rénal et surrénalien. Le potassium active les enzymes impliquées dans la synthèse du glycogène et du processus d'oxydoréduction. Il entre en jeu dans la synthèse protéique et celle de l'hémoglobine. Enfin, son effet salidiurétique et antihypertenseur à forte concentration, diminuerait le risque de maladies cardiovasculaires.

Les nouvelles lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommandent un apport minimum journalier de 3510 mg de potassium. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; MARTIN A., 2007 ; VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; MEDART J., 2009 ; PELT J.- M., 2009) (réf.38)

- Sodium

Le sodium est en général associé au chlore, sous forme de chlorure de sodium. Ce sel minéral est présent dans de nombreux produits alimentaires, sa source majeure étant le sel de table. Les plats préparés, préemballés et transformés (fromages, charcuterie) sont particulièrement concentrés en sodium. On le trouve en faibles quantités dans les fruits. Contrairement aux autres nutriments, les aliments riches en sodium doivent être consommés avec modération.

Le sodium est le constituant principal du compartiment extracellulaire (plasma, sueur, larmes) et influe sur l'état d'hydratation de l'organisme. Il est indispensable à la transmission des influx dans les tissus nerveux et musculaires et crée la plus grande partie de la pression osmotique des liquides extracellulaires.

Une alimentation trop riche en sodium augmente la pression artérielle des sujets hypertendus (ou non) et favorise le risque de maladies cardiovasculaires ou rénales, ainsi que l'ostéoporose. De ce fait, il n'existe aucun apport nutritionnel recommandé pour le sodium. L'OMS estime que son apport journalier devrait être inférieur à 2 g. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005; MARTIN A., 2007)(réf.54)

- Phosphore

Diverses sources alimentaires renferment du phosphore. C'est le cas des graines (citrouille, courge, tournesol), des Fabacées (soja, des lentilles), des produits laitiers, des abats (foie de bœuf), de la volaille, et de certains poissons grillés et fruits de mer (saumon, thon, palourde).

Le phosphore est le sel minéral le plus abondant dans l'organisme, après le calcium. Il joue un rôle essentiel dans la formation et le maintien de la santé des os et des dents. Outre ce rôle structural, il participe au transport et à la mise en réserve de l'énergie. Le phosphore intervient également dans l'activation des molécules organiques (phosphorylation des enzymes et des macronutriments). Les systèmes tampons phosphates contribuent à l'équilibre acido-basique, en neutralisant les excès d'acides et d'alcalins (pH sanguin constant).

Les apports nutritionnels recommandés en phosphore, sont de 750 mg par jour. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005)

3. Oligoéléments principaux

Les oligoéléments, de leur étymologie « oligos » signifiant peu, sont présents dans l'organisme à une teneur inférieure à 1 mg par kg de poids corporel. Ils sont également appelés éléments-traces.

Parmi eux, certains sont qualifiés d'essentiels. Ces derniers sont ceux qui répondent aux critères suivants :

- présents dans les tissus à une concentration constante
- provoquent par leur retrait, des anomalies structurelles et physiologiques dans l'organisme
- guérissent (ou préviennent) ces anomalies par le seul apport de l'élément

Les oligoéléments les plus importants sont le fer, le cuivre, le zinc, le magnésium, l'iode et le sélénium. Leurs besoins journaliers sont de l'ordre du milligramme. (CHAPPUIS P., 1991; VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005) (réf.52.b.)

- Magnésium

On peut trouver le magnésium dans diverses sources alimentaires, telles que les haricots blancs, le chocolat, le germe de blé, les céréales, et les fruits secs (les noix, les noisettes et les amandes). Certains légumes verts tels que les épinards et les artichauts en renferment également. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

Le magnésium est le second cation intracellulaire le plus abondant de l'organisme, après le potassium. L'organisme d'un adulte (70 kg) contient environ 24 mg de magnésium. Une partie de ce sel minéral est contenue dans les os (50 %), et le reste est essentiellement intracellulaire. (réf.10)

Le magnésium est nécessaire aux réactions de stockage et d'utilisation de l'énergie cellulaire. Sa fraction active est sous forme ionisée. Ce sel minéral participe au métabolisme de tous les macronutriments. Il intervient dans plus de 300 réactions organiques, en particulier dans l'activation de nombreuses enzymes impliquées dans le transfert de groupes phosphates (glucokinase, ADN polymérase, adénylcyase), mais aussi dans la synthèse protéique.

Son augmentation est responsable d'une diminution d'acétyl-choline et d'une diminution de la transmission neuromusculaire, induisant la relaxation musculaire. Il est essentiel au maintien d'un rythme cardiaque régulier, au métabolisme des lipides, ainsi qu'à la régulation de la glycémie et celle de la pression artérielle.

Une carence en magnésium favorise la sensibilité au stress. Le magnésium est également un antagoniste physiologique du calcium, contrôlant et régulant l'entrée du calcium dans les cellules et dans les liquides intracellulaires.

Pour un adulte, les apports journaliers recommandés sont de 6 mg/kg de poids corporel (environ 320 mg chez la femme et 400 mg chez l'homme par jour). (MARTIN A., 2007 ; VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; MEDART J., 2009)

- Cuivre

Parmi les sources alimentaires renfermant du cuivre, les mollusques et les crustacés (huitres, homards, seiche), le foie (veau, bœuf), l'artichaut, les champignons, les Fabacées (soja, pois chiches, lentilles), les graines (sésame, lin, tournesol) et le chocolat noir, en font partie. (MEDART J., 2009) (réf.34)

Le cuivre organique est pour 90 % incorporé à la céruléoplasmine, sa protéine vectrice, ou bien lié à l'albumine ou à des acides aminés.

Parmi ses fonctions physiologiques, le cuivre entre dans la constitution de cytochromes oxydases, nécessaires à la respiration cellulaire. Il contribue à la lutte contre les radicaux libres, en tant que constituant de la superoxyde dismutase (*cf.* PARTIE 3). La céruléoplasmine se comporte comme une ferroxidase en oxydant le fer ferreux Fe^{2+} en excès, en fer ferrique Fe^{3+} . De plus, la céruléoplasmine neutralise le radical superoxyde. Elle intervient également comme cofacteur antianémique, en facilitant l'incorporation du fer dans l'hémoglobine. En outre, la céruléoplasmine diminue l'agrégation plaquettaire et joue un rôle anti-inflammatoire, en participant à la biosynthèse des acides gras polyinsaturés et des prostaglandines.

Les apports nutritionnels recommandés en cuivre, sont compris entre 1,5 et 2 mg par jour. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; MEDART J., 2009)

- Fer

Le fer est un oligoélément essentiel pour toutes les molécules vivantes. On le trouve sous différentes formes, selon les sources alimentaires. Les produits d'origine animale renferment du fer héminique, lié à l'hémoglobine du sang et à la myoglobine des muscles. Les aliments les plus riches en fer héminique sont les abats (foie de porc, foie de veau), la viande (bœuf), les poissons (sardine, thon frais) et les crustacés (palourde, huitre). D'autres aliments, tels que les céréales, les légumes, les fruits, les œufs et les produits laitiers renferment du fer, sous sa forme non héminique.

Bien qu'il ait une faible biodisponibilité, le fer non héminique est largement représenté dans notre alimentation, alors que le fer héminique représente seulement 10 à 15 % seulement du fer alimentaire consommé. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007) (réf.12)

L'organisme humain contient, dans les conditions physiologiques normales, entre 4000 et 5000 mg de fer. Le fer n'est jamais présent à l'état libre. Il circule dans le sang sous sa forme héminique. Il est également présent sous sa forme de transport et de réserve du fer, c'est le fer non héminique. Celui-ci peut être incorporé dans la structure de certaines enzymes telles que les peroxydases, les catalases ou les cytochromes.

Le fer héminique participe au transport de l'oxygène et des gaz respiratoires, entre les cellules et les poumons, grâce à ses liaisons labiles. Cette forme circulante permet le transport d'électrons au niveau mitochondrial et participe au métabolisme des catécholamines et à la synthèse de l'acide désoxyribonucléique, ADN. En outre, le fer intervient dans la défense de l'organisme contre les infections microbiennes. Ce cation est nécessaire à la multiplication bactérienne. En cas d'infection, les germes pathogènes seront privés de fer, au profit d'une augmentation de son stockage dans les macrophages. Enfin, le fer, sous sa forme liée aux enzymes, stimulera la production d'énergie au cours du métabolisme oxydatif. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

Pour couvrir les besoins en fer chez un adulte, un apport nutritionnel journalier de 9 mg chez l'homme et 16 mg chez femme, est recommandé. Cet apport est majoré entre 15 et 30 mg, chez la femme enceinte en fin de grossesse et au-dessus de 10 mg chez les personnes de plus de 75 ans. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; MEDART J., 2009)

- Iode

Les eaux marines constituent le réservoir naturel de l'iode, un oligoélément essentiel. Son apport est assuré pour l'organisme, par des aliments essentiellement solides. Les produits marins (poissons, crustacés, mollusques, algues), représentent la source principale de l'iode. L'apport iodé des laitages, des céréales et des œufs n'est pas négligeable.

La glande thyroïde renferme 99 % de l'iode organique. L'iode participe à la synthèse des hormones thyroïdiennes, la thyroxine T₄ et la triiodothyroxine T₃. Ces hormones thyroïdiennes, sont elles-mêmes à l'origine de diverses activités, telles que la régulation de la transcription de certaines protéines influencées par les stimuli thyroïdiens, la stimulation de la glycolyse, de la lipolyse et du catabolisme protéique.

L'iode est également un régulateur de la thermogénèse, de la croissance et de la maturation tissulaire. Les hormones thyroïdiennes président la morphogénèse au niveau cérébral et favorisent la croissance des os longs.

Les apports nutritionnels recommandés en iode, sont de 150 µg par jour chez l'adulte, majorés à 200 µg chez la femme enceinte ou allaitante et moindres chez l'enfant. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; MEDART J., 2009)

- Manganèse

Le manganèse est majoritairement présent dans les produits d'origine végétale, tels que les céréales (avoine), les noix et les graines (pignons), le cacao, les Fabacées (pois chiche, soja, haricot blanc), certains fruits (ananas, raisin, framboise), et le thé. Parmi les sources d'origine animale, les moules et la truite en particulier, renferment une forte teneur en manganèse. (réf.34)

Les formes bi- et trivalentes du manganèse, Mn, sont les plus bioactives. Ce cation est indispensable au cycle de Krebs et au métabolisme oxydatif des lipides. Il participe, en tant que cofacteur enzymatique, à la synthèse du cholestérol, ainsi qu'à l'activation enzymatique des polymérases et glycosyl-transférases. Il jouerait également un rôle dans le métabolisme cellulaire des porphyrines et dans l'homéostasie. En outre, il exerce un effet antioxydant, par la détoxification des radicaux libres de l'oxygène. En pratique, le manganèse est préférentiellement utilisé pour ses rôles de régulateur de la fonction immunitaire et d'antioxydant.

Les apports nutritionnels recommandés en manganèse sont estimés entre 1 et 2,5 mg par jour. Selon le type d'alimentation l'apport en manganèse varie d'un type d'alimentation à un autre, et peut aller jusqu'à 10mg par jour chez les végétariens. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; MARTIN A., 2007)

- Sélénium

Le sélénium est un oligoélément essentiel apporté par diverses sources alimentaires. Parmi elles, les aliments protéiques, tels que les poissons (sardine, thon, sole) et les crustacés (moule, seiche, huître), les œufs, la viande (porc), les abats (rognons, foie), le lait, les fromages, certains « légumes » comme les poivrons ou les haricots verts, les fruits secs (noix de Brésil) et les céréales cultivées en terrain sélénifère, renferment de fortes concentrations en sélénium. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; MEDART J., 2009) (réf.34)

Ce sel minéral est présent dans le cytosol et dans les mitochondries. Il est incorporé sous forme de sélénocystéine (analogue sélénié de la cystéine), au sein des sites actifs des sélénoprotéines, dont les plus importantes sont la glutathion peroxydase (GP) et la superoxyde dismutase Manganèse-Sélénium dépendante (SOD Mn-Se). (*cf.* PARTIE 3 II.2.)

Ce rôle structural confère ainsi au sélénium, un effet protecteur contre le stress oxydatif et permet la réduction des groupements peroxydes et des radicaux oxygénés. En outre, il participe à la régénération d'autres antioxydants tels que la vitamine C et la vitamine E (grâce à la thiorédoxine réductase). Enfin, il module la réponse immunitaire médiée par les lymphocytes T et favorise la réponse des lymphocytes périphériques aux antigènes.

Les apports nutritionnels conseillés en sélénium, sont compris entre 50 et 80 µg par jour pour un adolescent ou un adulte. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; MEDART J., 2009 ; PELT J.- M., 2009)

- Zinc

Les principales sources alimentaires riches en zinc sont les céréales (avoine, seigle, quinoa), les graines (courge, sésame, pignon), les Fabacées (haricot blanc, haricot rouge) et les fruits de mer (en particulier les huîtres). La source la plus importante et la plus commune en zinc, est la viande rouge. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007) (réf.34)

Le zinc est un oligoélément essentiel et ubiquitaire des systèmes biologiques. Il est absorbé sous forme de cation, Zn^{2+} . Son absorption est compétitive avec celle du fer et du cuivre. Le zinc entre dans la constitution et participe à l'activité biologique d'un grand nombre d'hormones peptidiques (insuline, thymuline, gustine) et de protéines dites, à doigts de zinc.

Le zinc participe, en tant que co-substrat enzymatique, aux réactions de près de 300 systèmes enzymatiques de toutes classes, telles que les oxydoréductases, les transférases, les hydrolases et les lysases. Il joue un rôle d'antioxydant, que nous détaillerons en partie 3. Le zinc intervient dans la transcription et la synthèse protéique, grâce à son action régulatrice au niveau des récepteurs nucléaires des hormones thyroïdiennes et de croissance. En cas de stress ou d'infection, le foie fixe le zinc, ce qui contribue au renforcement des défenses immunitaires.

On recommande un apport journalier en zinc, de 12 mg pour l'homme adulte et de 10 mg pour la femme. (VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005 ; MEDART J., 2009)

4. Composés phytochimiques (=phytom micronutriments)

Les composés phytochimiques, élaborés par les végétaux, représentent la catégorie des métabolites secondaires. Ces molécules sont à l'origine de nombreux usages thérapeutiques chez l'Homme et jouent également un rôle dans le monde végétal.

On peut citer quelques exemples de métabolites et leurs actions favorables pour la plante. Les flavonoïdes tels que les anthocyanes, contenus dans certains fruits, attirent et guident les insectes vers les fleurs, favorisant la pollinisation entomophile. Ces pigments protègent également les tissus foliaires des rayonnements ultra-violet. D'autres molécules comme les saponines, jouent le rôle de défenseur contre les attaques bactériennes ou fongiques.

Les métabolites secondaires contenus dans les fruits, sont représentés par différents ensembles, illustrés dans la Figure 35 :

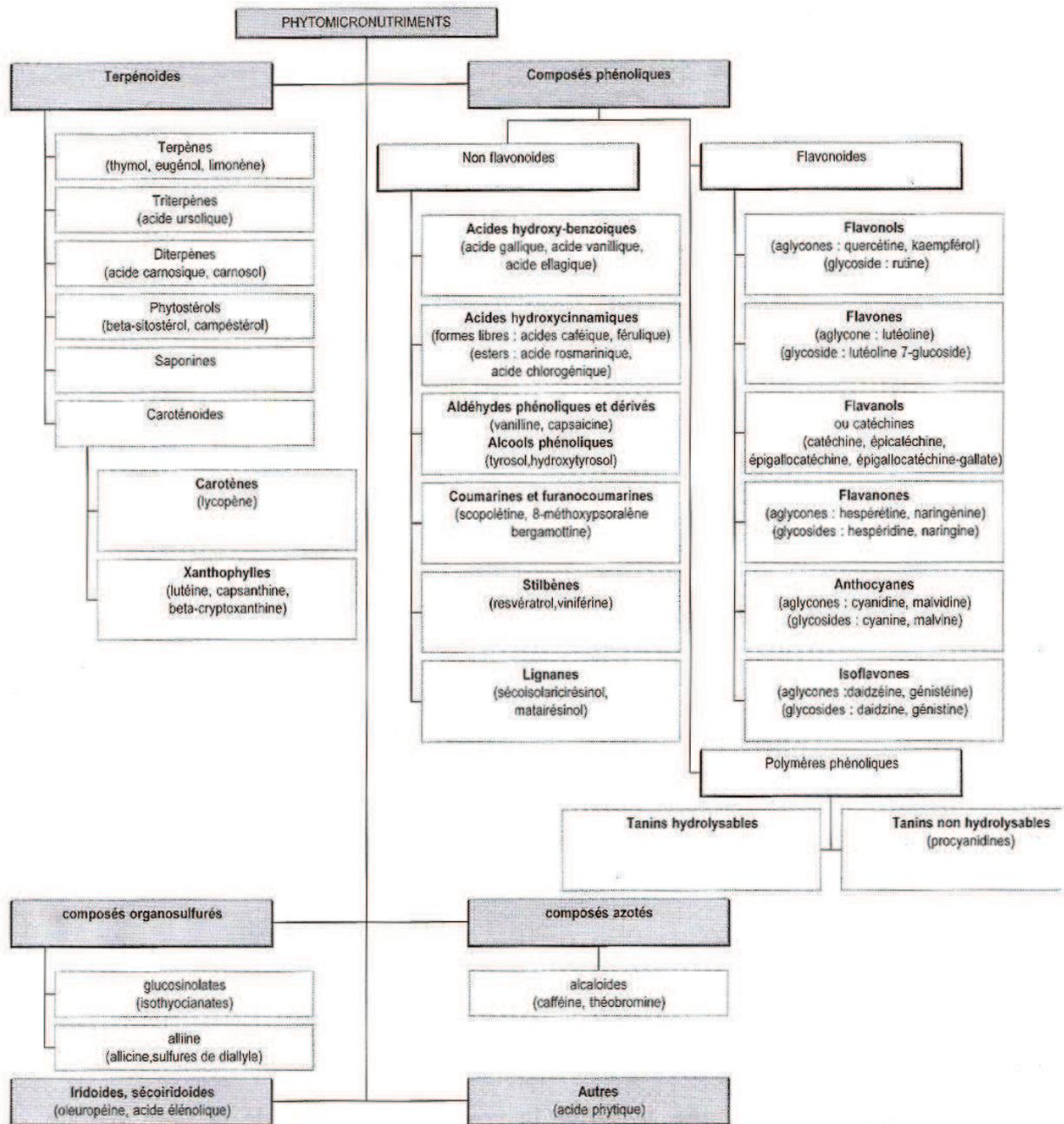


Figure 35 : Classification des phytomicronutriments (AMIOT M.- J. *et al.*, 2012)

Les composés phytochimiques sont répartis en trois ensembles principaux, comprenant les composés phénoliques, les terpénoïdes, et les alcaloïdes. Nous étudierons les caractéristiques et les propriétés principales de chacun.

4.1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques, également regroupés sous le nom de polyphénols, sont constitués d'un vaste ensemble de plus de 8000 molécules. Elles comportent toutes dans leur structure, au moins un groupe phénol. Celui-ci est constitué d'un cycle aromatique à 6 carbones, porteurs de un ou plusieurs groupements hydroxyles libres ou engagés dans une autre fonction éther, ester, ou hétéroside. Ce sont des composés non azotés, aromatiques et généralement solubles dans l'eau.

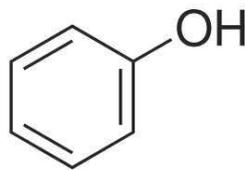


Figure 36 : Structure phénolique commune aux polyphénols (ARNAUD P. *et al.*, 2006)

Les composés phénoliques peuvent être issus de deux grandes voies d'aromagenèse que nous ne détaillerons pas :

- La plus courante, via l'acide shikimique (acide cinnamique et ses dérivés)
- L'autre voie, via l'acétate (isocoumarines, xanthones, quinones)

La classification de ces composés peut être réalisée selon leur origine biosynthétique :

- Phénylpropanoïdes, issus de la voie shikimique : acide cinnamique
- Produits de condensation : lignanes, lignines
- Dérivés tronqués par beta-oxydation : acides benzoïques
- Dérivés d'extension par la voie des polyacétates : anthones, styrylpyrones, stilbénoloïdes, flavonoïdes, auroïdes
- Polymères (tanins galliques et catéchiques)

On distingue différentes classes, selon la structure de base de la molécule, le degré de modification de leur squelette et les différentes liaisons possibles avec d'autres molécules. (BRUNETON J., 2009 ; GRAVOT A., 2009)

Ces classes sont réunies dans la Figure 37, accompagnées des molécules les plus fréquemment retrouvées pour chacune et de leurs principales sources alimentaires. (CHANFORAN C., 2010)

Squelette carboné	Classe	Exemple	Principales sources alimentaires
C_6	Phénols simples	Catéchol	
C_6-C_1	Acides hydroxybenzoïques	p-Hydroxybenzoïque	Epices, fraise
C_6-C_3	Acides hydroxycinnamiques	Acides caféique et férulique	Pomme de terre, pomme
	Coumarines	Scopléine, esculétine	Agrumes
C_6-C_2	Naphtoquinones	Juglone	Noix
$C_6-C_2-C_6$	Stilbènes	Resvératrol	Vin, Raisin
$C_6-C_3-C_6$	Flavonoïdes		
	▪ Flavonols	Kaempférol, quercétine	Fruits, légumes
	▪ Anthocyanes	Cyanidine, pélagonidine	Fruits rouges
	▪ Flavanols	Catéchine, épicatechine	Pomme, raisin
	▪ Flavanones	Naringénine	Agrumes
	Isoflavonoïdes	Daidzéine	Soja, pois
$(C_6-C_3)_2$	Lignanes	Pinorésinol	Pin
$(C_6-C_3)_n$	Lignines		Bois, noyau des fruits
$(C_{15})_n$	Tanins		Raisin rouge, kaki

Figure 37 : Classification des composés phénoliques (CHANFORAN C., 2010)

- Phénols et acides phénoliques

→ Acides phénols

Les acides phénols possèdent au moins une fonction carboxylique et une fonction hydroxylique. Ils sont présents en abondance dans l'alimentation. On distingue parmi eux, les dérivés benzoïques en C_6-C_1 , des dérivés cinnamiques en C_6-C_3 .

→ Acides phénols dérivés de l'acide cinnamique : phénylpropanoïdes

Afin de comprendre la biogénèse des acides-phénols et de leurs dérivés, il est important de connaître la structure des polyphénols de type phénylpropane également surnommés « cinnamates » ou « acides hydroxycinnamiques ».

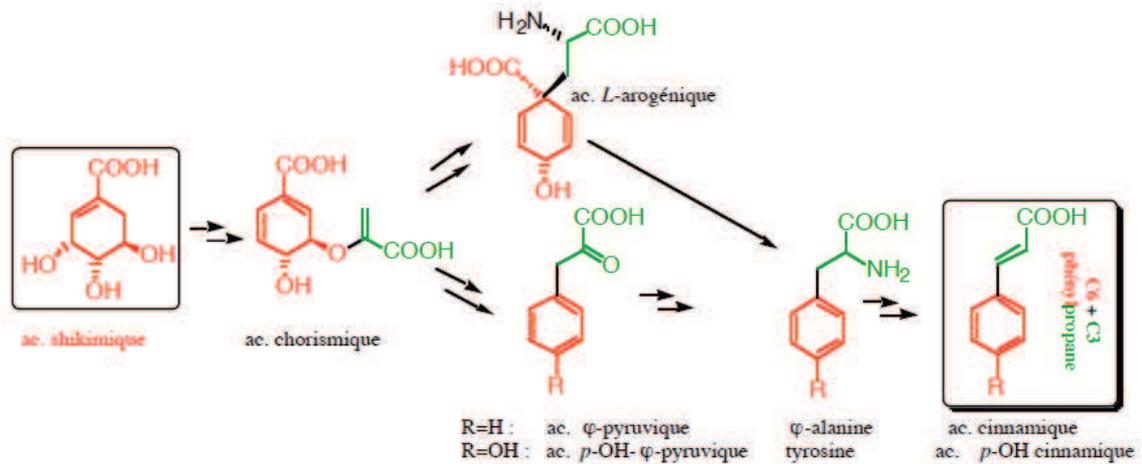


Figure 38 : Biogénèse de l'acide cinnamique et de ses dérivés en C₆-C₃, à partir de l'acide shikimique (VERCAUTEREN J., 2006)

Les dérivés cinnamiques, sont généralement combinés à d'autres molécules organiques pour former des esters, des phénolamides ou des glucosides. Les composés en C₆-C₃, sont les principaux métabolites de l'acide shikimique et possèdent une distribution quasi universelle chez les végétaux. Parmi eux, l'acide caféique est retrouvé dans de nombreux végétaux ainsi que l'acide férulique et l'acide 4-coumarique. Certains fruits comme la pomme et la myrtille, renferment des acides hydroxycinnamiques sous forme libre, mais également sous forme conjuguée, en particulier sous forme d'acide chlorogénique. (BRUNETON J., 2009 ; GRAVOT A., 2009 ; CHANFORAN C., 2010)

Tous les composés de la voie de l'acide shikimique proviennent de l'acide cinnamique. Leur structure phénylpropanique peut se cycliser (coumarines), se dimériser (lignanes), se polymériser (lignines) ou voir sa chaîne latérale s'allonger (stilbènes et flavonoïdes). (BRUNETON J., 2009)

→ Acides phénols dérivés de l'acide benzoïque

Les acides-phénols en C₆-C₁, dits hydroxybenzoïques, sont obtenus par oxydation des dérivés cinnamiques, selon la formule suivante :

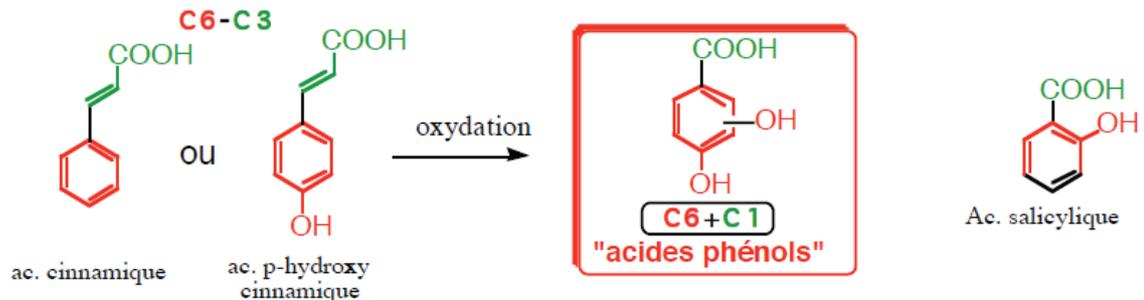


Figure 39 : Formation des acides hydroxybenzoïques en C₆-C₁ par oxydation des cinnamates (VERCAUTEREN J., 2006)

Ces acides sont retrouvés principalement dans les plantes sous forme d'esters ou d'hétérosides, tels que les acides p-hydroxybenzoïque, protocatéchique, vanillique, salicylique (illustré ci-dessus) et gallique. Les baies et les fraises peuvent en contenir des dizaines de mg par kg de fruits frais. Le thé, le vin rouge et les pommes de terre renferment également des acides hydroxybenzoïques. (BRUNETON J., 2009 ; GRAVOT A., 2009 ; CHANFORAN C., 2010)

→ Phénols

Les phénols simples, tels que le catéchol, le guaiacol ou le phloroglucinol sont rares dans la nature, excepté l'hydroquinone, que l'on peut retrouver dans les familles des Ericaceae et des Rosaceae. Ils résultent d'une décarboxylation d'un acide en C₆-C₁, entraînant la perte du C₁, selon la formule suivante.

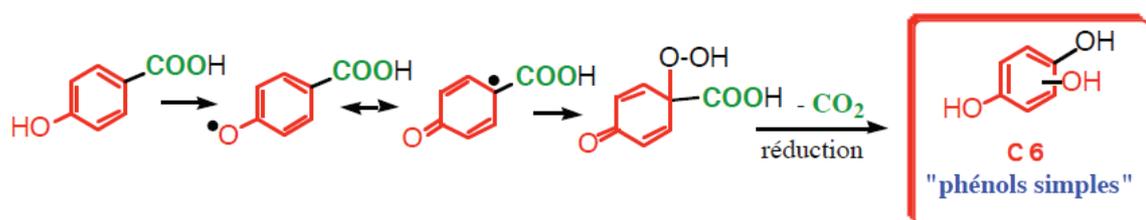


Figure 40 : Formation des phénols simples en C₆ (VERCAUTEREN J., 2006)

Le rôle physiologique de ces molécules, reste mal connu aujourd'hui. Nous retiendrons que les acides phénols sont des piègeurs de radicaux libres, capables de prévenir des pathologies en partie liées à un excès de radicaux et au stress oxydatif. C'est le cas des affections cardiovasculaires et dégénératives. L'acide chlorogénique et l'acide caféique peuvent inhiber certains processus d'altération des acides nucléiques. (BRUNETON J., 2009)

- Coumarines

Les coumarines sont des molécules issues de la lactonisation des cinnamates (acides 2-hydroxy-Z-cinnamiques). Cette cyclisation aboutit à la formation de lactones (benzo- α -pyrones), selon la formule suivante. (BRUNETON J., 2009)

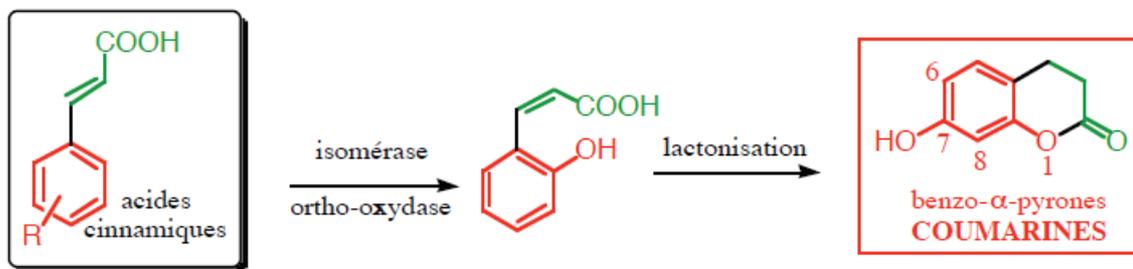


Figure 41 : Formation des coumarines par lactonisation des cinnamates (VERCAUTEREN J., 2006)

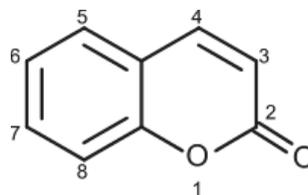


Figure 42 : Structure moléculaire de la coumarine (BRUNETON J., 2009)

Largement répandues dans le monde végétal, plus d'un millier de coumarines se distinguent aujourd'hui. Excepté la coumarine elle-même (Figure 42), ces molécules sont pour la plupart substituées en C-7 par un hydroxyle. (Figure 43) (BRUNETON J., 2009)

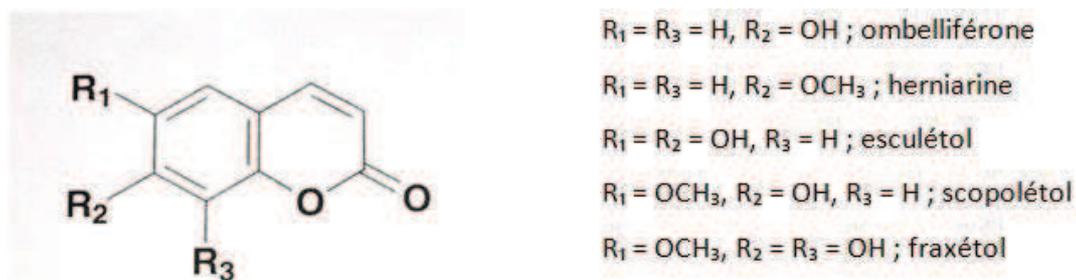


Figure 43 : Structures chimiques de coumarines simples (BRUNETON J., 2009)

Parmi les coumarines, l'esculoside ($R_2=OH$, $R_1=O-Glc$) est présenté comme veinotonique et vasculoprotecteur. Dans une étude clinique, réalisée sur des patients atteints de cancers, les coumarines ont démontré une action immunostimulante et le développement d'une action cytotoxique. Par ailleurs, l'esculétol et le fraxétole inhiberaient la formation des médiateurs de l'inflammation. Tout comme les autres composés phénoliques, les coumarines sont douées de propriétés antioxydantes. Dans les plantes renfermant ces molécules, les coumarines sont souvent des phytoalexines, jouant un rôle majeur dans les processus de défense des végétaux. (BRUNETON J., 2009)

- Lignanes

Les lignanes sont obtenues par dimérisation des cinnamates, par couplage radicalaire selon la formule suivante :

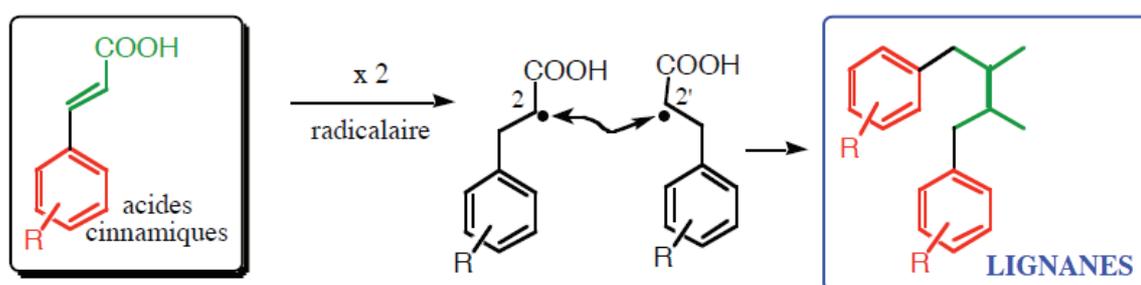


Figure 44 : Formation des lignanes à partir des cinnamates (VERCAUTEREN J., 2006)

Les lignanes sont souvent décrites comme des dimères d'alcools ou de cinnamates. Plusieurs centaines ont été isolées dans environ 70 familles de végétaux. De nombreuses molécules de ce groupe jouent le rôle de défenseur des plantes, grâce à leurs propriétés antibactériennes, antifongiques et anti-nutritives. (BRUNETON J., 2009)

Parmi les intérêts thérapeutiques des lignanes, les propriétés cytostatiques et antitumorales ont été mises en avant. Certains auraient des effets inhibiteurs enzymatiques, en particulier sur les enzymes comme les phosphodiésterases, ou encore les cyclo-oxygénases 1 et 2. Les flavolignanes (lignanes apparentées) des akènes du chardon marie, seraient reconnues pour leurs propriétés hépatoprotectrices.

De nombreux dérivés peuvent être obtenus par additions successives d'unités dicarbonées sur le phénylpropane. Ces molécules sont regroupées sous le nom de shikimates. Ce groupe renferme principalement les styrilpyrones, les xanthones, les stilbénoides et les flavonoïdes. Nous nous intéresserons particulièrement à ces derniers.

- Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont largement répandus dans le monde végétal. Plus de 6000 molécules de cette classe ont été caractérisées dans la nature. (CHANFORAN C., 2010)

Les flavonoïdes sont des pigments quasi universels des végétaux, responsables de couleurs jaunes (chalcones, aurones, flavonols jaunes), rouges ou mauves (anthocyanosides) ou bleues (copigmentation des flavone-anthocyanosides). Par cette pigmentation, les organes végétaux sont plus facilement repérés par les insectes pollinisateurs. Les flavonoïdes interviennent également dans la protection des tissus végétaux contre les rayonnements ultra-violet B et sont mis en jeu dans la résistance des végétaux face à différentes attaques (bactériennes, fongiques).

Tous ces composés d'origine biosynthétique commune, possèdent le même squelette de base à 15 atomes de carbone : le 2-phénylchromane (ou 2-phénylbenzopyrane), formé de 2 cycles à 6 atomes de carbone, joints par un hétérocycle à oxygène (Figure 45).

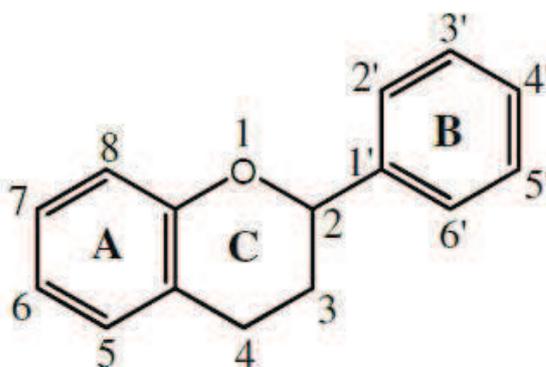


Figure 45 : Squelette de base des flavonoïdes (CHANFORAN C., 2010)

Selon la structure de l'hétérocycle central et son degré d'oxydation, on distingue différentes sous classes de flavonoïdes. Ce cycle pyranique peut être ouvert et recyclisé en un motif furanique.

Ainsi on distingue :

- Les chalcones (cycle pyranique ouvert)
- Les 2-phénylchromones (les flavones, les flavonols (et leurs dimères) et les flavanones)
- Les 2-phénylbenzopyriliums ou anthocyanes
- Les 2-phénylchromanes (les flavanes et les flavan-3-ols)
- Les 2 benzylidène-coumarones ou auronnes (BRUNETON J., 2009)

→ Chalcones

Les chalcones sont obtenues par condensation d'un triacétate et d'un acide cinnamique par la cyclisation de Claisen. Elles sont dépourvues d'hétérocycle central et caractérisées par un chaînon tricarboné, cétonique, α et β insaturé. Elles possèdent un OH à l'origine de l'oxydation du cycle pyranique des autres flavonoïdes. (BRUNETON J., 2009)

→ Flavones, flavonols, flavanones

Les flavones et flavonols sont les molécules les plus nombreuses du groupe des flavonoïdes. Les flavones, les flavonols et leurs hétérosides possèdent une disposition quasi universelle dans les végétaux. (BRUNETON J., 2009)

Les flavonols sont les flavonoïdes les plus répandus dans les aliments et sont généralement retrouvés sous leur forme hétérosidique dans les végétaux. Ces molécules peuvent être responsables d'une coloration jaune plus ou moins claire, des organes végétaux. Parmi elles, le kaempférol et la quercétine notamment, sont retrouvés dans de nombreux fruits et légumes. La quercétine est particulièrement riche dans les câpres, dans la livèche, dans l'oignon cru (oignon rouge > oignon jaune), dans le piment jaune cru et dans les pommes (non pelées). Les flavanones sont retrouvées en abondance dans les agrumes frais, mais également dans les cônes du houblon (inflorescences) et dans certaines plantes aromatiques comme la menthe (feuilles). (CHANFORAN C., 2010)

→ Anthocyanes

Le terme « anthocyane » fut utilisé à l'origine, pour désigner la substance responsable de la coloration des fleurs du bleuet. Ce nom regroupe aujourd'hui un groupe de pigments hydrosolubles, responsables des différentes couleurs rouge, rose, mauve, pourpre, bleu ou violette des fleurs et des fruits. La structure des anthocyanes dérive du cation 2-phénylbenzopyrilium (cf. Figure précédente). Ces molécules sont généralement retrouvées sous la forme d'hétérosides, les anthocyanosides ou leurs génines, les anthocyanidols. Les anthocyanidols sont pour la plupart, hydroxylés en C-3, et le plus souvent penta- ou hexasubstitués par des hydroxyles ou des méthoxyles. Les génines les plus fréquentes, sont le cyanidol, le pélargonidol, le péonidol, le delphinidol, le malvidol et le pétunidol. Il existe environ 400 anthocyanosides. Ces derniers sont principalement responsables de l'activité thérapeutique des anthocyanes.

Les anthocyanes sont fortement concentrées dans les fruits, en particulier dans les fruits rouges. Les baies telles que le cassis, la mûre, la canneberge et la myrtille peuvent en contenir des dizaines de grammes par kilogramme de fruits frais. Outre leurs propriétés colorantes, les anthocyanes sont responsables d'une action antioxydante et d'une activité vitaminique P. Les anthocyanosides diminueraient entre autres, les enzymes protéolytiques de la dégradation du collagène de la paroi vasculaire. Cette action induirait une diminution de la perméabilité et une meilleure résistance des capillaires. (BRUNETON J., 2009 ; CHANFORAN C., 2010)

→ Tanins

Les tanins sont depuis longtemps connus pour former le cuir à partir de la peau fraîche d'animaux, grâce à leur capacité à former des liaisons entre les fibres de collagène de la peau. Ces composés sont largement répandus dans les organismes végétaux. On distingue chez les végétaux, 2 types de tanins ; les tanins hydrolysables et les tanins condensés.

→ Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont des oligo- ou polyesters d'un sucre (glucose) et d'un nombre variable de molécules d'acide phénol. Ils ont la caractéristique de se dégrader par hydrolyse chimique ou enzymatique.

Ces tanins galliques sont en règle générale des esters de l'acide gallique et du glucose. On parle d'ellagitanins et de gallotanins selon que l'acide phénol soit l'acide gallique ou l'acide hexahydroxydiphénique et ses dérivés d'oxydation.

Les tanins (gallique, ellagique et dehydroellagique) sont caractéristiques des Angiospermae Dicotyledonae (en particulier les Rosidae, les Dileniidae et les Hamamelidae) sauf des Asteridae où ils sont absents. Une autre catégorie de tanins, les tanins complexes, résulte de combinaisons avec les ellagitanins, comprenant les flavano-ellagitanins, les procyanidino-ellagitanins et les flavono-ellagitanins. (BRUNETON J., 2009 ; CHANFORAN C., 2010)

→Tanins condensés ou proanthocyanidols

Les tanins condensés, également appelés proanthocyanidols (PAC) ou tanins catéchiques, sont des polymères flavaniques. La nomenclature de proanthocyanidols est basée sur le fait que le traitement à chaud de ces polymères donnent des anthocyanidols. Les PAC sont constitués de 2 à 7 unités de flavan-3-ols (ou catéchols), reliées entre elles par des liaisons carbone-carbone.

Les flavan-3-ols sont issus de l'hydroxylation en C-3 d'une flavanone. Les plus fréquemment retrouvés sont le catéchol, le gallocatéchol, le fisétidinol et leurs épimères. A la différence des tanins hydrolysables, ces tanins sont généralement résistants à l'hydrolyse, sauf lors de fortes attaques chimiques. Les PAC ont été isolés et identifiés dans tous les groupes végétaux, Gymnospermae et Pterydophyta y compris. (BRUNETON J., 2009)

Ces tanins sont responsables d'une astringence des fruits et des légumes, s'expliquant par leur combinaison avec les protéines salivaires. On les trouve principalement dans le thé, dans le vin rouge et dans le raisin. Les baies comme le cassis, la myrtille et groseille en renferment, ainsi que les drupes comme l'abricot, la cerise, la pêche ou la prune. (BRUNETON J., 2009 ; GRAVOT A., 2009 ; CHANFORAN C., 2010)

→ Propriétés thérapeutiques des flavonoïdes

Les flavonoïdes sont depuis longtemps connus pour leur principale propriété veino-active et qualifiés aujourd'hui de veinotropes ou encore veinotoniques. Ils protègent les parois vasculaires en diminuant la perméabilité des capillaires sanguins et en augmentant leur résistance. On parle d'action vitaminique P. Cette propriété concerne en particulier les anthocyanes et les oligomères flavanoliques (proanthocyanidols). Leur action veinotonique pourrait améliorer diverses manifestations de l'insuffisance veineuse et de la crise hémorroïdaire.

Ces molécules permettraient d'agir sur les troubles de la fragilité capillaire, en diminuant les œdèmes ou la sensation de jambes lourdes. Elles agiraient également sur les troubles du champ visuel d'origine vasculaire.

Les flavonoïdes sont également des inhibiteurs enzymatiques. De nombreux systèmes enzymatiques sont concernés :

- L'histidine décarboxylase (quercétol, naringénine)
- L'élastase
- La hyaluronidase (flavones, et surtout les proanthocyanidols) : cette action permettrait de conserver l'intégrité de la substance fondamentale de la gaine vasculaire
- La catéchol-O-méthyl transférase (augmentation de la concentration des catécholamines disponibles et renforcement de la résistance vasculaire)
- Les phosphodiésterases de l'AMPc (activité anti-agrégante plaquettaire)
- L'aldose réductase (impliquée dans la cataracte), (quercitroside, flavones)
- La 5-lipoxygénase : provoquant la diminution de la production des leucotriènes, médiateurs de l'inflammation et des manifestations allergiques (cirsiliol, hypolactine)
- La cyclooxygénase : action anti-inflammatoire et anti-allergique (BRUNETON J., 2009)

Les flavonoïdes sont rarement des activateurs enzymatiques, comme avec la proline hydroxylase. Cette action, principalement due aux oligomères flavanoliques, tels que les proanthocyanidols et les tanins, favoriserait l'établissement des pontages entre les fibres de collagène. Par ailleurs, les anthocyanes diminueraient l'action du radical superoxyde dans la protéolyse non enzymatique du collagène. (BRUNETON J., 2009)

Les flavonoïdes ont fait l'objet de nombreuses études *in vitro* dans lesquelles de nombreuses propriétés thérapeutiques ont été démontrées. Nous citerons les effets antispasmodiques, hypocholestérolémiants (flavanones), diurétiques, anti-bactériens, anti-viraux ou encore anti-cancéreux. Il convient toutefois de ne pas extrapoler ces activités démontrées *in vitro*, d'autant plus que la biodisponibilité des flavonoïdes chez l'homme, est faible. Les effets sont rarement corrélés entre *in vitro* et *in vivo*. (BRUNETON J., 2009)

- Stilbénoides

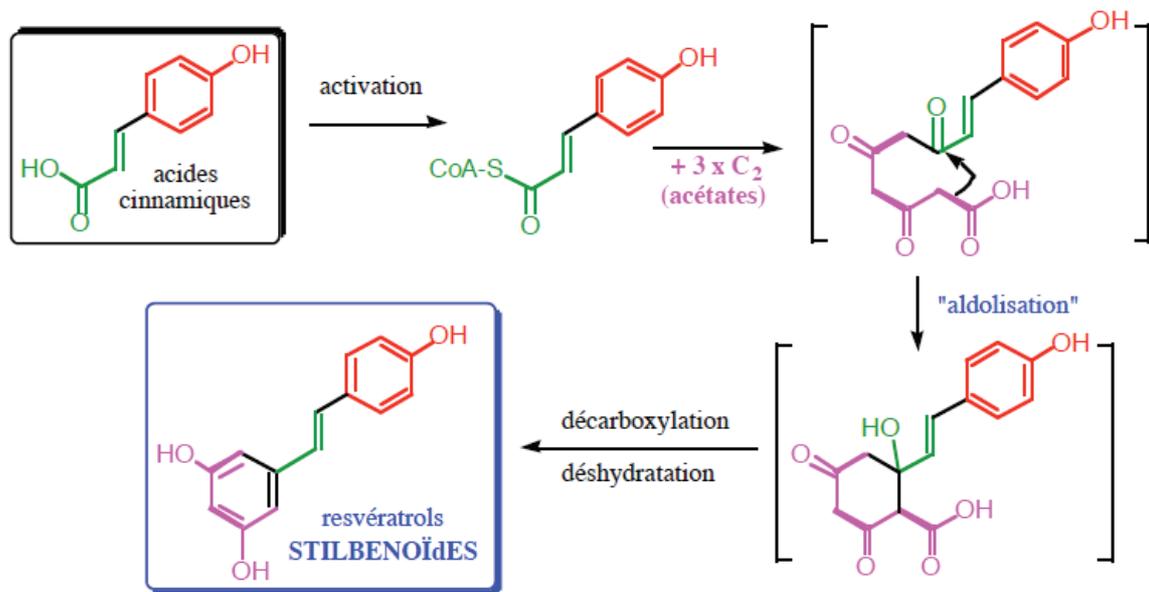


Figure 46 : Biogenèse des polyphénols de type stilbène (VERCAUTEREN J., 2006)

Les stilbénoides regroupent des composés phénoliques possédant 2 noyaux benzéniques séparés par un pont éthane (saturé) ou éthène (insaturé). Ce sont les bibenzyls et les stilbènes, obtenus à partir des acides cinnamiques selon les réactions précédentes. Les stilbènes sont retrouvés sous forme libre, hétérosidique ou parfois polymérique. Ces derniers sont présents dans de nombreuses familles de végétaux supérieurs alors que les bibenzyls se font plus rares. Les stilbénoides sont parfois des phytoalexines, jouant le rôle de régulateurs de croissance, d'antifongiques ou d'antimicrobiens pour la plante.

Parmi les stilbènes, nous citerons le resvératrol, de formule chimique 3,5,4'-trihydroxy-trans-stilbène. Ce composé est une phytoalexine caractéristique des grains du raisin, et retrouvé également dans les baies de la canneberge à gros fruits, dans le vin rouge, la rhubarbe.

Le resvératrol posséderait des propriétés anti-inflammatoires et anticancéreuses par la modulation de l'expression de micro-ARNs impliqués dans la réponse inflammatoire (prostaglandines) et dans la naissance de cancers. Le resvératrol est entre autres, inhibiteur des cyclooxygénases et de l'ornithine-décarboxylase ; inhibiteurs spécifiques d'enzymes activatrices de procancérogènes. Ce stilbène joue le rôle d'antioxydant en intervenant dans certaines voies impliquées dans le stress oxydatif. Il induit l'augmentation de l'expression de certaines enzymes antioxydantes et le déclenchement de l'apoptose (mort cellulaire). Celle-ci est limitée dans les neurones alors qu'elle est stimulée dans les cellules infectées.

Son action sur le métabolisme lipidique par la diminution de la production de formes oxydées préviendrait du risque de maladies cardiovasculaires. (BRUNETON J., 2009) (réf.25,41)

De manière générale, les composés phénoliques sont responsables d'une activité antioxydante pour l'organisme. Leur consommation régulière (par les fruits et les légumes), réduirait le risque d'affections cardio-vasculaires entre autres, par diminution de la peroxydation lipidique. (BRUNETON J., 2009) Les composés phénoliques seraient responsables d'une modification de l'absorption du glucose, des taux d'insuline et du métabolisme lipidique (exemple : la myricétine et son action hypoglycémiant et hypotriglycériant) (MEDART J., 2009 ; UDANI J. K. *et al.*, 2011) Le nombre d'études confirmant leurs effets anticancéreux, anti-inflammatoires, anti-athérosclérose s'est multiplié ces dernières années. (WANG C. C. *et al.*, 2010).

4.2. Terpénoïdes

Les terpénoïdes, également appelés isoprénoïdes, sont issus de la voie de l'isopentényl-diphosphate. Ils correspondent à la condensation de plusieurs unités de base à 5 carbones, de type isoprène (Figure 47). Le premier terme de la série est obtenu par isomérisation de l'isopentényl-pyrophosphate (IPP) en diphosphate de diméthylallyle (DMAPP), par l'isopentényl-diphosphate δ -isomérase. (BRUNETON J., 2009)

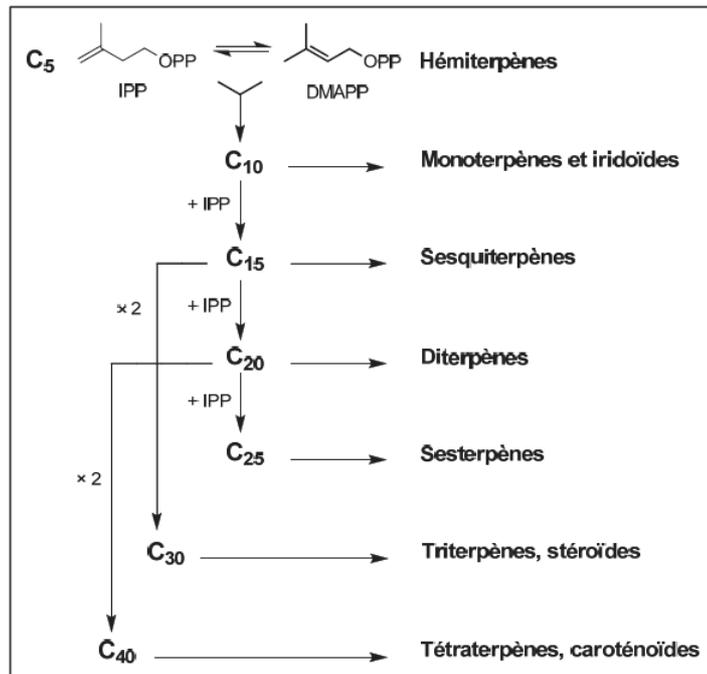


Figure 47 : Classification des terpénoïdes (réf.16)

Le nombre d'unités isopréniques engagées dans la formation du composé permet leur classement.

- Mono-, sesqui- et diterpènes

Les monoterpènes (molécules à 10 atomes de carbone), formés à partir de deux unités isoprènes, les sesquiterpènes et les diterpènes (à 15 et 20 atomes de carbone) sont retrouvés en particulier dans les huiles essentielles des végétaux. (AMIOT M.- J. *et al.*, 2012)

- Triterpènes et stéroïdes

Les triterpènes sont dérivés d'un squalène, formé par la condensation de 2 unités farnésyldiphosphate. Ces composés sont les précurseurs de stéroïdes chez les animaux, mais aussi chez les végétaux. Le squalène, après transformation en époxyde puis cyclisation, donne différents types de triterpènes. Parmi eux, nous retiendrons le cas des phytostérols, issus du cycloarténol. Ces composés sont comparables au cholestérol des animaux (issu du lanostérol).

Ces phytostérols, ainsi que leurs produits de réduction, les phytostanols, exercent au niveau biologique des effets hypocholestérolémiants, en entravant l'absorption intestinale du cholestérol. On les trouve le plus souvent incorporés dans les margarines. (BRUNETON J., 2009)

- Tétraterpènes ou caroténoïdes

La famille des tétraterpènes, est majoritairement retrouvée dans les fruits et légumes. Cette famille de terpènes à 40 atomes carbone, constitue l'ensemble des caroténoïdes et regroupe plus de 600 molécules. Toutes possèdent une longue chaîne polyènique, avec en moyenne, 11 doubles liaisons conjuguées.

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles qui agissent comme chromophore grâce à leur chaîne polyènique. En revanche, cette chaîne les rend plus instables vis-à-vis de l'oxydation, de la lumière et de la chaleur. Les caroténoïdes sont synthétisés dans les chloroplastes des végétaux et sont responsables des couleurs jaunes, orangées à rouges des fruits et des légumes. L'organisme humain étant incapable de les synthétiser, les caroténoïdes sont exclusivement d'origine alimentaire. Parmi les sources les plus riches en caroténoïdes, la carotte, le melon, certaines courges (citrouille, potimarron) comportent de fortes teneurs en α -carotène et β -carotène, responsables des couleurs orangées. Le lycopène, pigment rouge, est retrouvé en particulier dans la tomate, la goyave, la pastèque et le raisin noir. Les agrumes, la pêche et la mangue renferment de la β -cryptoxanthine. Enfin, la courge, les légumes verts (épinards, chou frisé, feuilles de navet, feuilles de chou vert) et le maïs, représentent une source importante en lutéine et en zéaxanthine. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; CHANFORAN C., 2010) (réf.9)

Tous ces composés sont formés par la condensation « queue à queue » de deux molécules de géranyl-géranyl diphosphate, aboutissant à une structure linéaire ($C_{40}H_{56}$) porteuse de doubles liaisons, le lycopène. Tous les autres caroténoïdes en dérivent par cyclisation, déshydrogénation ou oxydation. Les structures chimiques des principaux caroténoïdes sont illustrées dans la Figure 48:

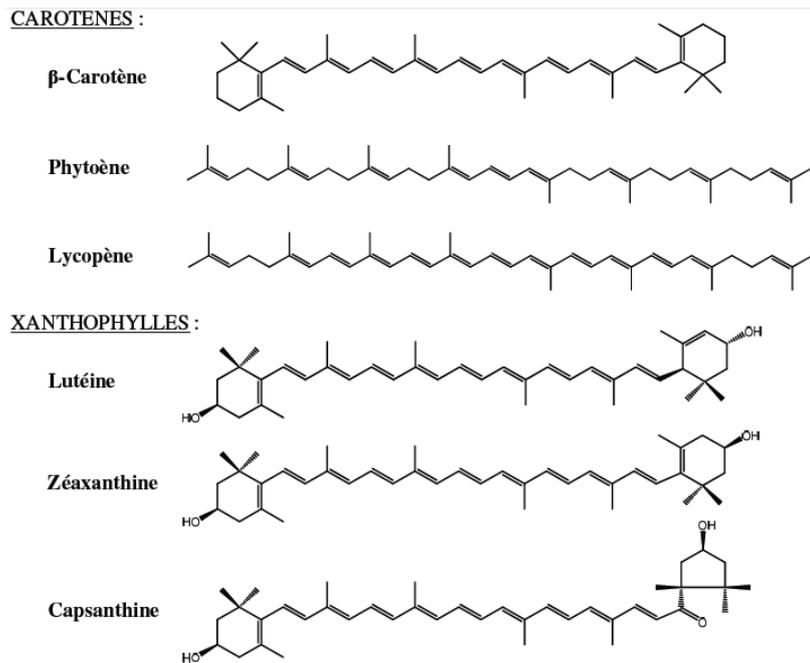


Figure 48 : Structure chimique des principaux caroténoïdes (CHANFORAN C., 2010)

Les caroténoïdes sont répartis en deux groupes, les carotènes et les xanthophylles. Ces dernières comportent à la différence des carotènes, au moins une fonction oxygénée (Figure 48) de type hydroxyle, époxyde, carbonyle ou carboxyle. Les xanthophylles sont moins apolaires que les carotènes (α -carotène et β -carotène), qui ne possèdent aucun groupement électro-négatif.

Certains caroténoïdes, appelés « pro-vitaminiques » dont l' α -carotène, le β -carotène et la β -cryptoxanthine, sont convertis dans la muqueuse intestinale et dans le foie en rétinol (vitamine A). 20 à 30 % des apports en vitamine A peuvent être constitués par ces caroténoïdes, principalement sous forme de β -carotène (le plus abondant dans l'alimentation). (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

Outre cette action provitaminique, les caroténoïdes constituent une source d'antioxydants majeure. Cette action s'explique principalement par la neutralisation de l'oxygène singulet, radical libre. Ainsi, ils sembleraient intéressants dans la prévention de maladies dégénératives liées au vieillissement, de maladies cardio-vasculaires et dans certains cancers. Cette hypothèse reste encore controversée. En effet, certaines études affirment que l'apport en β -carotène augmenterait le risque de cancer du poumon chez les fumeurs. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007) (réf.21)

Les xanthophylles, telles que la lutéine ou la zéaxanthine, jouent quant à elles, un rôle primordial dans la vision, en protégeant la rétine. Elles ont démontré à travers diverses études des effets préventifs contre la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). La lutéine et la zéaxanthine sont particulièrement concentrées dans la partie centrale de la rétine, la *macula lutea*, signifiant « tache jaune ». Ces deux mots latins lui sont donnés en raison de la couleur jaune de ces deux pigments. Ces derniers forment le pigment maculaire, couche protectrice de la rétine, capable de filtrer la lumière bleue (400-450 nm). Le pigment maculaire exerce de cette manière, un effet anti-oxydant indirect vis-à-vis des effets délétères causés par les radicaux libres issus de cette lumière bleue et diminuent le risque de l'altération de la rétine et de l'épithélium pigmentaire. Il en résulte une baisse du risque de DMLA, associée à une amélioration de l'acuité visuelle.

De plus, en induisant une diminution de l'oxydation des protéines du cristallin, ces pigments exercent de manière directe leurs effets antioxydants, utiles dans la prévention de la cataracte. (FAURE H, 2007 ; VASSON M.- P. *et al.*, 2007 ; AMIOT M.- J. *et al.*, 2012)

En outre, les xanthophylles auraient des propriétés anti-mutagènes et anti-carcinogéniques. Ces propriétés anti-cancéreuses pourraient s'expliquer par leurs effets sur les communications intercellulaires, en particulier au niveau des connexines (jonctions communicantes mettant en relation le cytoplasme de deux cellules voisines). Dans les tumeurs, la communication intercellulaire est déficiente. Cette absence, voire rupture de communication, conduit à l'isolement des cellules tumorales, entraînant des dysfonctionnements chroniques, en particulier le développement de cancers. Une étude scientifique a démontré que l'exposition de la connexine 43 à des caroténoïdes augmenterait le nombre de jonctions communicantes et diminuerait la prolifération des cellules cancéreuses. (BERTRAM J. S. et VINE A. L., 2005)

Il n'y a pas d'apport nutritionnel conseillé aujourd'hui en caroténoïdes, ces derniers étant considérés comme non essentiels ou non-indispensables au fonctionnement cellulaire ou corporel. Néanmoins, on estime que 60 % des apports en vitamine A devraient être apportés sous forme de β -carotène. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

4.3. Alcaloïdes

Les alcaloïdes regroupent environ 12 000 composés connus. Cette classe est constituée de molécules formées d'atomes de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. Elles sont généralement basiques, et précipitent avec des réactifs iodométriques. On distingue selon certains auteurs, trois types d'alcaloïdes.

- Alcaloïdes vrais

Les alcaloïdes vrais, définis initialement comme des substances azotées basiques, portent leur atome d'azote au sein d'un hétérocycle. Certains sont issus uniquement du règne végétal, d'autres sont retrouvés chez les animaux. Ils existent à l'état de sels et sont biosynthétiquement formés à partir d'un acide aminé. (BRUNETON J., 2009)

- Pseudo-alcaloïdes

Les pseudo-alcaloïdes sont comparables aux alcaloïdes vrais mais ne sont pas dérivés des acides aminés. La majorité de ces alcaloïdes sont des isoprénoïdes, on parle d'alcaloïdes terpéniques (aconitine, paravallarine, coniine). (BRUNETON J., 2009)

- Proto-alcaloïdes

Les proto-alcaloïdes sont des amines simples et leur azote est exclu du système hétérocyclique. Ils ont une réaction basique et sont élaborés *in vivo* à partir d'acides aminés. (BRUNETON J., 2009)

Les alcaloïdes sont retrouvés chez les végétaux sous la forme soluble, de sels ou combinée avec les tanins. Ils sont le plus souvent localisés dans les tissus périphériques et généralement stockés dans les vacuoles cellulaires.

Leur rôle dans les végétaux reste mal connu. Une action de défense pour la plante face aux différentes attaques, bactériennes ou fongiques, a été suggérée. (BRUNETON J., 2009)

III PRESENTATION DES PRINCIPAUX SUPERFRUITS

Au cours de ces dernières années, de nombreuses publications scientifiques traitant des superfruits, ont suscité l'intérêt à la fois des professionnels médicaux et du grand public. Ces fruits riches en nutriments, ont généralement une concentration remarquable en antioxydants, en graisses monosaturées, en fibres, en phytostérols, en acides aminés essentiels, en oligoéléments et en vitamines.

Ces superfruits, à l'origine de nombreux bienfaits sur la santé connaissent un véritable engouement. Il s'agit aussi bien de fruits européens que de fruits exotiques.

1. Fruits européens

1.1. Cassis

- Rappels

Nom latin : *Ribes nigrum* L. (Grossulariaceae)

Noms communs : cassissier, groseillier noir

Noms vernaculaires : cacis, cassier, gadelle

Le cassissier, originaire de l'Europe septentrionale et de l'Asie, est un arbrisseau rarement rencontré à l'état sauvage, largement cultivé dans nos jardins. On le trouve dans les bois du Nord-Est de la France. Ce fruit est cultivé entre autres dans la région bourguignonne, autour de la ville de Dijon, pour former à partir de baies macérées dans l'alcool, la liqueur de cassis.



Figure 49 : Planche botanique de *Ribes nigrum* L. (réf.55)

Cet arbrisseau, non épineux, s'élève de 1 à 2 mètres. Les feuilles sont caduques, palmatilobées, de 5 cm de long sur 10 cm de large, isolées ou par groupe de 2 ou 3, à 3 ou 5 lobes triangulaires, dentés. Les fleurs, hermaphrodites, disposées en grappes axillaires, sont campanulées et de couleur rose, rouge, ou verdâtre. Le calice est en cloche, accompagné de deux petites bractées velues. Le fruit est une baie noire polysperme, acide, d'un diamètre de 12 mm. Les fruits sont organisés en grappes pendantes. Les feuilles, bourgeons et fruits sont parsemés de glandes jaunes odorantes. (PLOTON C., 2001 ; GERBAKA S., 2013)

- Composition chimique

Parmi les constituants de la baie, renseignés dans les annexes 1, 2 et 3, la vitamine C apparaît parmi ceux les plus présents dans ce fruit, à raison de 187 mg pour 100 g de fruit frais (soit quatre fois plus que l'orange). Le cassis comporte une teneur considérable en potassium et en calcium.

Cette baie contient des acides organiques (2,6 g d'acides pour 100g de fruits), essentiellement de l'acide citrique, malique et tartrique, de l'émulsine et de la pectine. Des acides gras (comme l'acide linoléique, et acide α -linoléique), entrent également dans la composition de la baie de cassis. Enfin, on y trouve des pigments tels que des flavonoïdes (dérivés anthocyaniques, flavonols comme le quercétol, le kaempférol, ou le myricétol) et des caroténoïdes. (GERBAKA S., 2013)(réf.38.e)

- Propriétés thérapeutiques

Les flavonoïdes, en particulier les anthocyanes, sont majoritairement responsables des activités thérapeutiques de ce fruit. Les anthocyanes jouent un rôle important dans l'activité hémodynamique par son action dite vitaminique P (cf. PARTIE 1). D'une manière générale, les flavonoïdes du cassis contribuent à cet effet, par leur action antioxydante. Cet effet antioxydant, s'explique essentiellement par la présence de vitamine C, qui participe à 73% à cette activité. (cf. PARTIE 3)

L'apport des dérivés anthocyaniques diminuerait également le risque de maladies cardiovasculaires, en agissant sur la pression artérielle, le taux des lipides mais aussi en diminuant certains biomarqueurs révélateurs de l'inflammation et du stress oxydatif.

Enfin, ce fruit contribuerait à l'amélioration de l'acuité visuelle par une augmentation du flux sanguin oculaire et une ouverture du champ visuel, accompagnées d'une baisse de la fatigue oculaire. Le cassis participerait à la vision crépusculaire, rendue possible grâce à la rhodopsine, un pigment rouge contenu dans les cellules visuelles de la rétine. Ce pigment est décomposé en présence de lumière et resynthétisé à l'obscurité. Certains anthocyanes du cassis, (le cyanidol-3-rutoside et le cyanidol-3-glucoside), diminueraient le temps de régénération de la rhodopsine, améliorant ainsi le temps d'adaptation à l'obscurité. Enfin, une action antidiarrhéique, serait attribuée aux pectines de ce fruit. (GERBAKA S., 2013)

1.2. Myrtille

- Rappels

Nom Latin : *Vaccinium myrtillus* L. (Ericaceae)

Nom commun : myrtille sauvage

Noms vernaculaires : linné, cousinier

Le myrtillier est un arbuste ou sous-arbrisseau, plus ou moins rampant. Il est originaire de l'Europe du Nord et de l'Europe Centrale. On le trouve en France dans les sous-bois siliceux et dans les massifs montagneux de 400 à 2500 m d'altitude, en Auvergne notamment. Il affectionne les terrains acides (pH de 4,8 à 5,5). De manière générale, les Ericacées ont la particularité de former des symbioses mycorhiziennes, qui permettent à la myrtille (entre autres) de vivre dans des terrains acides avec peu de substances organiques.

Cette plante ligneuse est caractérisée par une tige dressée de 20 à 60 cm de hauteur, portant des rameaux verts garnis. Les feuilles mesurent de 2 à 3 cm de long et sont de couleur vert pâle. Elles sont simples, alternes et caduques, aux bords finement dentelés.

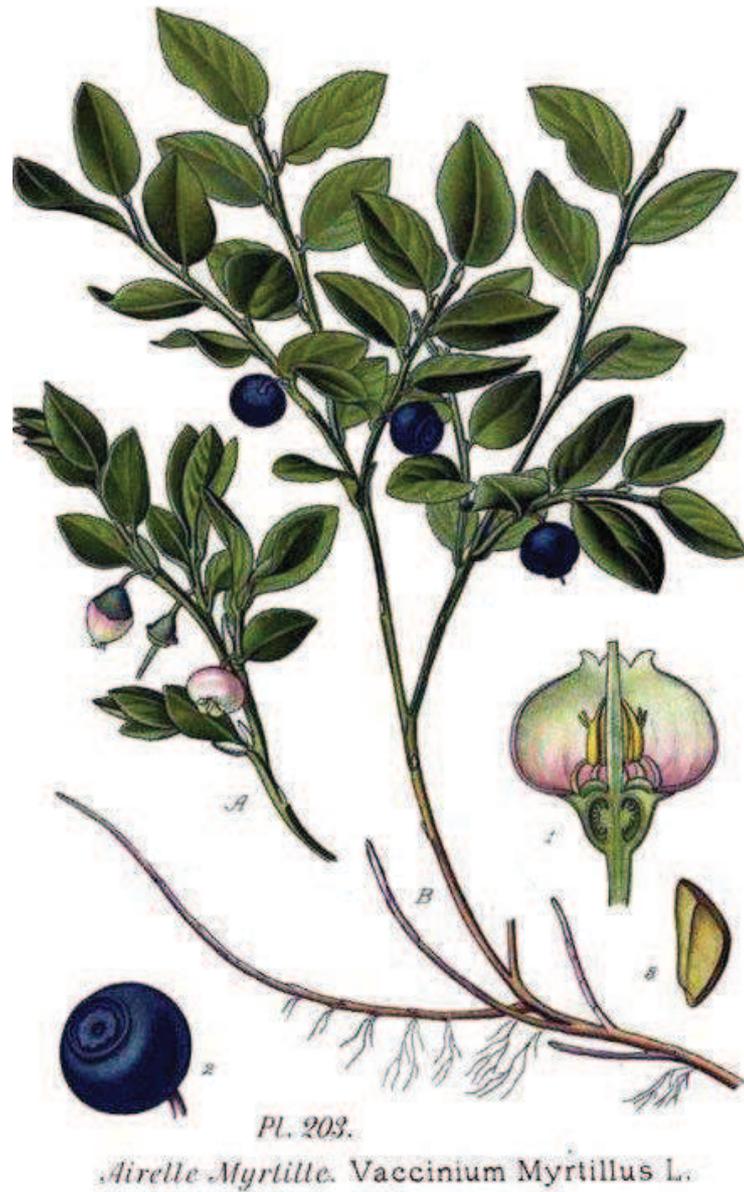


Figure 50 : Planche botanique de *Vaccinium myrtillus*, L. (MASCLEF A, 1987)

1. Coupe longitudinale de la fleur

A. Rameau avec fleurs

2. Baie

B. Rameau avec fruits

Les fleurs, de couleur blanc rosé, sont solitaires ou disposées en petites grappes axillaires. Elles possèdent un calice à 4 ou 5 dents, une corolle gamopétale avec 4 ou 5 lobes, ainsi que 8 à 10 étamines aux anthères cornues. Le fruit est une baie globuleuse, comestible, de 4 à 8 mm de diamètre, et de couleur bleu noirâtre à maturité. Le mésocarpe violet foncé est charnu et constitué de 4 ou 5 petites loges, renfermant de nombreuses petites graines (baie polysperme), de couleur brun rouge. (FLEURENTIN J., 2008 ; BOTINEAU M., 2010 ; MAILLEFERT O., 2010)

Le risque potentiel encouru lors de la consommation de ce fruit est l'échinococcose alvéolaire. L'homme peut être contaminé en ingérant des œufs de tenia, *Echinococcus multilocularis* (également appelé « ver du renard »), par l'intermédiaire de fruits comme les baies sauvages, mises en contact avec des excréments d'animaux sauvages parasités, en particulier les renards. Afin de détruire les œufs d'échinocoques, il est donc recommandé dans les zones connues de transmission, de cuire ces fruits avant toute consommation. (BOTINEAU M., 2010)

- Composition chimique

Les principaux constituants chimiques de ce fruit appartiennent à la famille des polyphénols, dont la teneur est de 525 mg pour 100 g de fruit frais. On trouve parmi eux, des proanthocyanidols (dimères de catéchol et d'épicatéchol), des anthocyanosides (0,5%) donnant une coloration rouge à violette (hétérosides du delphinidol, du malvivol et du cyanidol), des acides phénols et des hétérosides flavoniques du quercétol et du kaempférol, les flavon-3-ols monomères. D'autres composés ont été isolés dans la myrtille tels que, la myrtine (alcaloïde quinolizidinique), des acides chlorogéniques et caféyquiniques et des pectines. La baie contient également des acides organiques (acide malique, acide citrique, acide quinique et 3 à 7 % d'oligosaccharides). Des iridoïdes peuvent être retrouvés dans les fruits immatures uniquement. (FLEURENTIN J., 2008 ; MAILLEFERT O., 2010)

- Propriétés thérapeutiques

Les extraits de myrtille exercent une action vasculoprotectrice, en s'opposant à l'augmentation de la perméabilité vasculaire et en conservant la structure de la paroi capillaire (action est dite vitaminique P). Les anthocyanes inhibent l'élastase et la COMT (catéchol-orthométhyl-transférase), protégeant le collagène de l'attaque des radicaux libres et potentialisant les catécholamines. Les nombreux essais cliniques réalisés sur l'Homme ont démontré qu'un traitement à base d'extraits réduisait les symptômes liés à l'insuffisance chronique et des varices, comme la douleur, les œdèmes (action anti-inflammatoire), la perte de mobilité et la sensation de jambes lourdes. La myrtille est indiquée pour cette action veinotonique, sous forme de fruits secs *per os*, dans le traitement de l'insuffisance veineuse ou de la crise hémorroïdaire, et sous forme de fruits frais dans la fragilité capillaire.

Les anthocyanosides stimuleraient la régénération de la rhodopsine, contribuant à une meilleure vision crépusculaire (*cf.* Cassis). Ce fruit serait responsable d'une augmentation de la sensibilité rétinienne chez des patients déficients et à l'origine d'une amélioration de la vascularisation rétinienne chez des patients diabétiques.

Enfin la myrtille est également indiquée *per os*, dans les diarrhées légères et les colites spasmodiques. (FLEURENTIN J., 2008 ; BOTINEAU M., 2010 ; MAILLEFERT O., 2010)

1.3. Epine-vinette

- Rappels

Nom latin : *Berberis vulgaris* L. (Berberidaceae)

Nom commun : épine-vinette

Noms vernaculaires : vinettier, agrivoutat

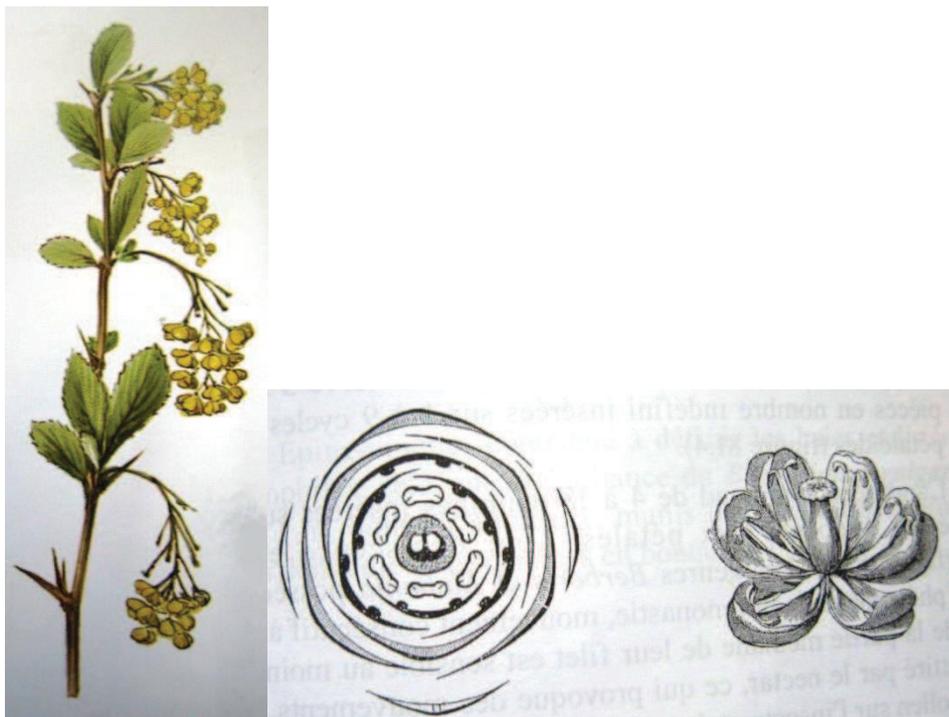


Figure 51 : Rameau florifère de *Berberis vulgaris* L. (BONNIER G., 1990) (à gauche) et fleur de type 3 de *Berberis vulgaris* L. (BOTINEAU M., 2010) (à droite)

L'épine-vinette est un arbrisseau touffu, épineux et ramifié s'élevant jusqu'à 2 ou 3 m de hauteur. Cette plante est commune à la plupart des régions d'Europe du Centrale et d'Europe du Sud, ainsi que dans le Nord-Est des Etats-Unis.

On la rencontre essentiellement sur des terrains calcaires et rocailloux, et en altitude. Les rameaux lisses et rainurés, sont de couleur grisâtre. La présence de berbérine explique la couleur jaune de son bois, légèrement odorant, et au goût amer. Les feuilles sont alternes, denticulées et assemblées en bouquets. La floraison printanière de l'épine-vinette dévoile des fleurs de couleur jaune, petites et régulières, à odeur spermatique, et disposées en grappes. Les étamines, sont dites irritables, les filets étant susceptibles de se mouvoir en période de fécondation. Le fruit est une baie rouge vif, ovoïde-oblongue, surmontée du stigmate persistant. Les fruits mesurent de 10 mm de long sur 4 à 5mm de large et sont réunis en grappes. La graine contient un embryon allongé, situé au milieu de l'albumen. (COUSIN A., 2005 ; BOTINEAU M., 2010)



Figure 52 : Baie de *Berberis vulgaris* L. (MEZOUAR D., 2012)

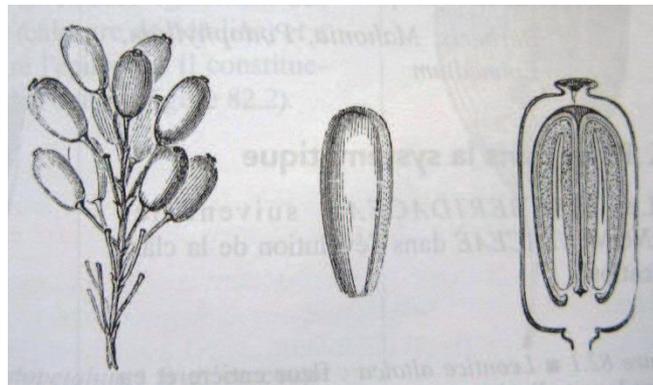


Figure 53 : Fruit, graine, et coupe longitudinale du fruit de *Berberis vulgaris* L. (BOTINEAU M., 2010)

Cette plante, fréquemment plantée dans les haies, a été massivement détruite et brûlée par les agriculteurs. L'épine-vinette est en effet l'hôte intermédiaire de *Puccinia graminis* Pers., champignon parasite du blé, entraînant une maladie appelée «rouille du blé ». (BOTINEAU M., 2010)

- Composition chimique

Le fruit, très acide, se consomme rarement cru. On l'utilise souvent en confitures ou compotes. Les baies fermentées sont également utilisées pour faire du vin. Cette plante est connue pour renfermer une forte teneur en alcaloïdes isoquinoléïques, en particulier la berbérine, présents essentiellement dans les racines mais également dans la tige, et l'écorce. Le deuxième alcaloïde présent dans les graines est la palmatine. (BOTINEAU M., 2010 ; MEZOUAR D., 2012)

C'est l'un des fruits les plus riches en fer. La teneur en glucides et en acide ascorbique (380 mg pour 100g), augmente au cours de sa maturation alors que le taux de carotènes (le β -carotène essentiellement), diminue.

On trouve dans le fruit diverses molécules, telles que :

- Des acides : acide malique et acide oléanolique
- De la cyanidine (sous forme de glucosides)
- Des polyphénols : acide caféique et acide chlorogénique
- Des substances pectiques
- Des flavonoïdes : Flavanols (épicatéchine), hyperoside (3-O-galactoside de la quercétine), anthocyanes (chrysanthémine), coumarines (aesculétine), tanins (COUSIN A., 2005 ; MEZOUAR D., 2012)

- Propriétés thérapeutiques

Plusieurs bienfaits thérapeutiques issus des différentes parties de cette plante ont été rapportés. Bien que les constituants les plus importants de l'épine-vinette soient les alcaloïdes isoquinoléïques, nous ne traiterons pas des effets de la berbérine vis-à-vis des maladies comme le cancer ou le diabète sucré. Ces molécules sont largement présentes dans les racines, mais en faible quantité dans les fruits.

Plusieurs études ont été réalisées sur des extraits de fruits. L'une, réalisée à partir d'extrait méthanolique du fruit, sur des iléons de cobaye, rapporte des effets antihistaminiques et anticholinergiques, comparant son activité respectivement à la dexchlorphéniramine, (antihistaminique de type H1) et à l'atropine, (anticholinergique). (SHAMSA F. *et al.*, 1999)

D'autres analyses, effectuées à partir d'extraits aqueux sur des rats, ont permis d'observer des effets cardiovasculaires, aussi bien sur la fréquence cardiaque, la pression sanguine, la contraction de l'anneau aortique que sur la pression de perfusion. L'épine-vinette a montré des effets hypotensifs, endothélium indépendants, et activateurs de l'ouverture des canaux potassiques, par dépolarisation de la membrane, induisant une inhibition de l'excitabilité cellulaire. L'augmentation du courant potassique, serait à l'origine d'effets vasodilatateurs et antiarythmiques avec pour responsables probables, les composés phénoliques. Ces effets ont également été retrouvés dans les racines et écorces mettant en cause la présence d'alcaloïdes comme la berbérine. (FATEHI M. *et al.*, 2005)

Les dernières études scientifiques ont mis en évidence l'action antioxydante de la baie de *Berberis* grâce à différentes techniques comme le FRAP, Ferric Reducing Antioxydant Power et par le piégeage du radical libre DPPH, (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl) (MOTALLEB G. *et al.*, 2005 ; ZOVKO CONCIC M. *et al.*, 2010). Dans l'une, on se sert d'un indicateur coloré, le fer, et de l'analyse du pouvoir réducteur par transfert d'électrons de l'extrait testé. Dans l'autre, le DPPH produit donne une couleur violette à la solution absorbant aux environs de 517 nm, l'extrait de *Berberis* antioxydant entraîne une décoloration de cette solution et une variation de l'absorbance calculée, nous permettant de quantifier son activité antiradicalaire. (MOTALLEB G. *et al.*, 2005 ; ZOVKO CONCIC M. *et al.*, 2010)

2. Fruits importés (exotiques)

2.1. Açai

- Rappels

Nom latin : *Euterpe oleracea* Mart., *Euterpe badiocarpa* Barb. Rodr., *Euterpe beardii* L.H. Bailey
(Arecaceae)

Nom commun: açai

Noms vernaculaires : palmier pinot, pinot

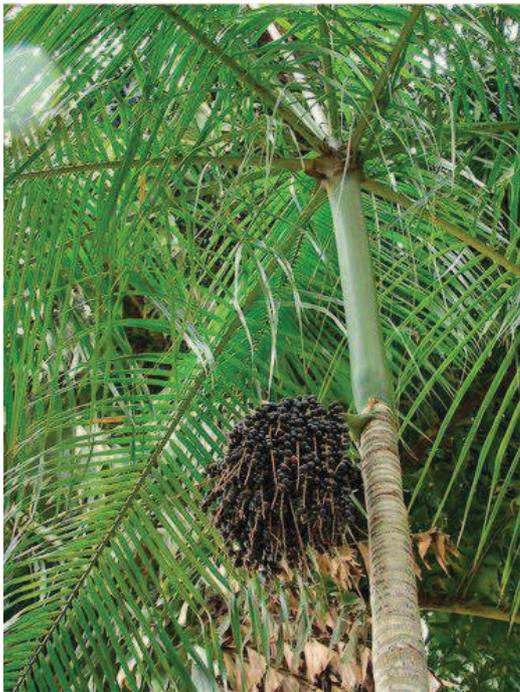


Figure 54 : Fruit d'*Euterpe oleracea* Mart. (réf.1,49)

Cette plante est originaire de l'Est de l'Amérique du Sud, plus particulièrement des régions Nord-est du Venezuela, du Suriname, de la Guyane Française et du Nord-est du Brésil. L'acai est également présent à l'Ouest, au niveau de la côte pacifique de la Colombie et au Nord de l'équateur. L'acai pousse préférentiellement dans les plaines inondées, ou le long des rivières, dans un climat chaud et humide. La baie est depuis longtemps utilisée dans l'alimentation traditionnelle des indigènes, qui la surnomment le « fruit qui pleure » selon une légende dont l'explication dépasse le cadre de notre étude.

Ce palmier, généralement de grande taille, s'élève jusqu'à 20 m par un stipe droit et de couleur grise, aux multiples rameaux tombants. Le fruit est une drupe, sphérique et charnue, avec un noyau de 1 à 2 cm de diamètre. Les drupes sont disposées en grappes pendantes de 3 à 14 kg. Le noyau est large et occupe la majeure partie du fruit. La pulpe est la partie comestible du fruit, représentant seulement 10 à 20 % de la drupe. Elle est de couleur verte jeune, puis devient rouge, pourpre, puis violette à maturité. Sa récolte a lieu durant la saison sèche de juillet à décembre. (ABITBOL S., 2011 ; BURLE A., 2012)

- Composition chimique

L'açaï est riche en protéines, en glucides et en lipides. Parmi ces derniers, sont retrouvés essentiellement l'acide oléique, l'acide linoléique et l'acide palmitique. Cette drupe est une excellente source d'antioxydants, dont les flavonoïdes représentent 12,9 mg/g de pulpe lyophilisée. Parmi eux, on trouve des anthocyanes (en particulier le glucoside de cyanidol et le rutoside de cyanidol), des acides phénols, des lignanes, et des tanins hydrosolubles (acide gallique et ellagique). L'açaï renferme d'autres molécules antioxydantes, telles que la vitamine E et des terpénoïdes, mais également d'autres vitamines (B₁) et minéraux (fer). (ABITBOL S., 2011) (réf.38)

- Propriétés thérapeutiques

Le fruit est commercialisé sous forme de purée de fruit surgelée et de poudre lyophilisée à partir de la pulpe (extrait sec), ou en boisson comme complément alimentaire. Ses teneurs importantes en polyphénols lui attribuent essentiellement des capacités antioxydantes dans les maladies dégénératives ou encore dans certains cancers, mais également une action anti-inflammatoire et tonique. Ses supposés effets amaigrissants relèvent uniquement d'une stratégie de marketing, de telles vertus n'ayant pas été prouvées.

Néanmoins, les effets antioxydants de l'açaï ont démontré des répercussions sur le profil lipidique et glucidique de certains sujets. Dans une étude, réalisée sur 10 patients de 18 à 46 ans, 5 hommes et 5 femmes, dont l'indice de masse corporelle (IMC) était compris entre 25 et 30 kg/m², les taux plasmatiques (à jeûn), en glucose, cholestérol, insuline, triglycérides et protéine C réactive ont été étudiés. Les patients prirent durant un mois, 100 g de pulpe d'açaï, à raison de 2 fois par jour. Les sujets obèses seraient susceptibles d'avoir un niveau de stress oxydatif plus important, impliquant plus de risque de dysfonctionnements lipidiques et du métabolisme du glucose, évoluant vers des pathologies cardiovasculaires et favorisant le diabète de type 2. Les

résultats au terme du traitement, ont rapporté une baisse par rapport aux niveaux de référence de ces patients sur la glycémie à jeûn, l'insulinémie, et le cholestérol total, en revanche aucune action sur la pression sanguine et la protéine C réactive (CRP) n'ont été observés. (ABITBOL S., 2011 ; UDANI J. K. *et al.*, 2011 ; BURLE A., 2012)

2.2. Acérola

- Rappels

Nom latin : *Malpighia emarginata* DC., (synonymes : *Malpighia glabra* L., *Malpighia puniceifolia* L.)
(Malpighiaceae)

Nom commun : acérola

Noms vernaculaires : cerisier des Barbades, cerisier des Antilles



Figure 55 : Rameau fleuri d'acérola avec fruit (réf.23)

L'acérola est originaire des régions tropicales de l'Amérique du Sud. Il pousse notamment au Pérou et dans les forêts amazoniennes du Brésil. Cet arbuste ou arbrisseau touffu, s'élève de 3 à 6 m. Les feuilles sont petites, persistantes, simples, opposées et de forme ovale ou elliptique. Elles sont brillantes, de couleur vert foncé sur la face supérieure, et glauque sur l'autre face. Les fleurs de couleur rose pâle à rouge, sont disposées au niveau axillaire en ombelles pauciflores.

Ces fleurs sont bisexuées et pédonculées. Il est possible de voir 3 à 10 cycles de floraison selon le climat et l'irrigation, répartis d'avril à novembre.

Le fruit, « l'acérole », est constitué d'une drupe ovale à ronde, de 1 à 3 cm de diamètre. 3 à 4 semaines après la floraison, le fruit mature, est de couleur jaune-rouge au rouge pourpre. Cette drupe tricarPELLAIRE, est globuleuse, lisse, et charnue. Ses 3 noyaux triangulaires renferment chacun une graine. La pulpe du fruit, juteuse et acidulée, représente 75 à 80% de son poids total. (BELIN N., 2012 ; GUILLERMINET P., 2007)

- Composition chimique

La richesse en vitamine C de l'acérola a retenu l'attention de nombreux scientifiques depuis les années 1950. Sa pulpe en renferme de 1 à 4,5 g pour 100 g selon la maturité du fruit, soit 10 à 40 fois plus que l'orange. Ce fruit renferme également des concentrations élevées en sels minéraux (phosphore et calcium) ainsi qu'en facteurs antioxydants tels que les caroténoïdes et les polyphénols (représentés essentiellement par les flavonoïdes). Les valeurs nutritionnelles sont rassemblées dans les ANNEXES 1, 2 et 3. (MOTOHASHI N. *et al.*, 2004; GUILLERMINET P., 2007)

- Propriétés thérapeutiques

La forte teneur en vitamine C de ce fruit, est largement supérieure à celle des autres fruits étudiés dans cet ouvrage. Cette source naturelle d'acide ascorbique, confère à ce fruit des propriétés antioxydantes. Au cours d'études scientifiques, d'autres propriétés ont été mises en avant telles qu'une action toxique sur des cellules tumorales et une activité antifongique. L'acérola aurait également une action anti-inflammatoire. Ce fruit est généralement utilisé en complément alimentaire, sous forme de gélules ou en poudre, dans des indications telles que les états de fatigue passagers comme dynamisant, mais également comme immunostimulant. (MOTOHASHI N. *et al.*, 2004; BELIN N., 2012)

2.3. Canneberge

- Rappels

Nom latin : *Vaccinium macrocarpon* Ait. (Ericaceae)

Nom commun : canneberge à gros fruits

Noms vernaculaires : cranberry, canneberge d'Amérique, airelle à gros fruits

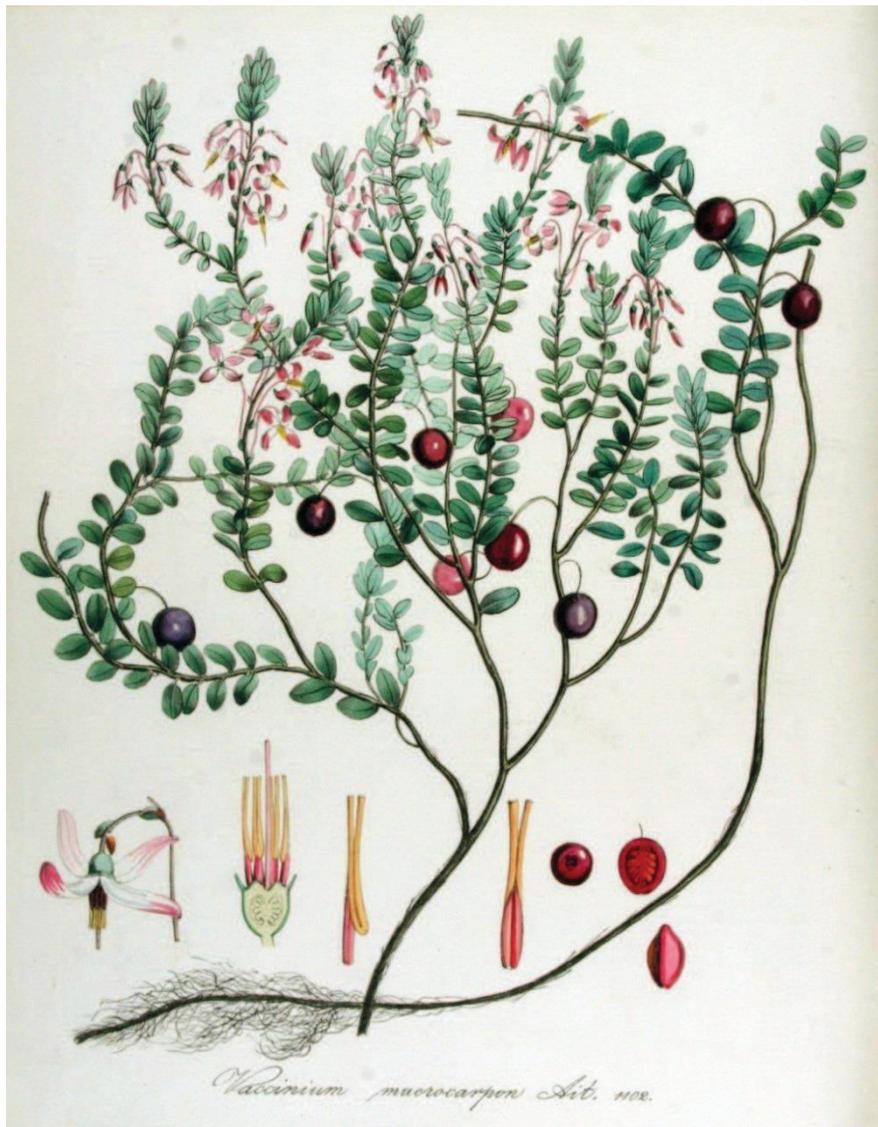


Figure 56 : Planche botanique de *Vaccinium macrocarpon* Ait. (réf.56)

La canneberge est originaire de l'Amérique du Nord, où elle est habituellement désignée sous son nom anglais, « cranberry ». Cette plante pousse préférentiellement dans les sols acides et les terres humides (symbiose mycorhizienne).

Cet arbrisseau, de 10 à 20 cm de hauteur, pousse sous forme de buisson frêle, semblable au myrtillier. Les feuilles persistantes, de 1 à 2 cm de long, sont lisses, oblongues et de couleur vert olive. Les rameaux supérieurs sont formés de tiges filiformes et longues. Les fleurs, de couleur rose pâle, éclosent à la fin juin. Elles sont solitaires ou disposées en bouquets de 2 à 10 fleurs. Le fruit est une baie ronde, de 1 à 2 cm de diamètre, au goût acidulé. Environ 80 jours après la floraison, le fruit mûr, revêt une couleur rouge foncé (Figure 57). Il se développe sur les parties verticales issues des tiges rampantes. (ARNAL B. *et al*, 2008 ; JOSSO A., 2009)

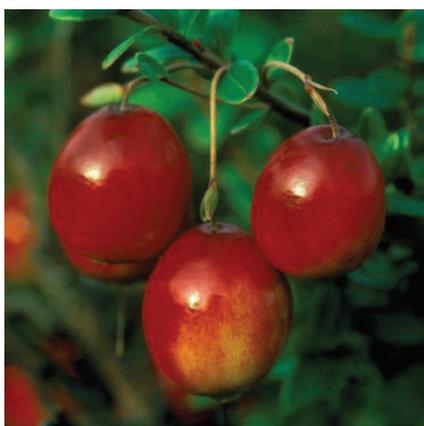


Figure 57 : Baie de *Vaccinium macrocarpon* Ait. (réf.32.a)

- Composition chimique

La baie est riche en sucres (saccharose, glucose, fructose) mais pauvre en lipides et en protéines, d'où son faible apport calorique. Ce fruit représente une source importante de vitamine C, de fibres et de divers sels minéraux. L'intérêt des scientifiques pour la canneberge, repose essentiellement sur ses concentrations élevées en phytonutriments. Parmi eux, sont retrouvés, des acides phénols (en particulier l'acide p-hydroxycinnamique) ; trois classes de flavonoïdes (des flavonols, des anthocyanes et des proanthocyanidols ou tanins catéchiques) ; ainsi que des triterpénoïdes (de type ursane). Les flavonols sont essentiellement sous forme de galactosides de quercétine et myricétine, à raison de 20 à 30 mg de flavonols totaux pour 100 g de fruits frais. Les anthocyanes présentes dans la canneberge, sont sous forme de galactosides et d'arabinosides de cyanidol et péonidol (25 à 65 mg pour 100 g de fruits mûrs). Les proanthocyanidols, en partie responsables de l'activité thérapeutique (proanthocyanidols de type A, PAC-A), sont présents sous forme d'oligomères (dimères à pentamères) de tanins. La canneberge apparaît comme le fruit le plus riche en proanthocyanidols, avec 45 mg de dimères et trimères de tannins pour 100 g de fruits frais. (NETO C., 2007 ; ARNAL B. *et al.*, 2008)

- Propriétés thérapeutiques

Les proanthocyanidols (PAC) de ce fruit ont fait l'objet de nombreuses études ces dernières années, en particulier sur leurs effets contre les bactéries *Escherichia Coli*, entre autres responsables de certaines infections urinaires. Ces composés, plus précisément les proanthocyanidols sous forme de trimères de type A, en modifiant les protéines à la surface des filaments d'adhérence des colibacilles, diminuent la force d'adhésion entre les bactéries et les cellules uroépithéliales. Cela de manière dose-dépendante et réversible. En 2004, l'AFSSAPS (aujourd'hui ANSM), reconnaît à la canneberge l'allégation santé suivante : la capacité de « contribuer à diminuer la fixation de certaines bactéries *Escherichia Coli* sur les parois des voies urinaires ». Ainsi, la consommation des baies de canneberges en cures régulières ou de manière prolongée, est aujourd'hui indiquée dans la prévention des épisodes de cystites aiguës simples chez les femmes souffrant de cystites récidivantes, mais également dans la prévention des infections urinaires des personnes âgées (femmes et hommes compris). Sont concernées par cette allégation-santé, les formes de jus et de nectars (concentrés au moins à 25%), de canneberge fraîche, congelée ou en purée, mais également les poudres issues du jus de fruit déshydraté (sachets, gélules), à raison de 36 mg de PAC-A par jour. (ARNAL B. *et al.*, 2008 ; JOSSO A., 2009)

Les proanthocyanidols empêcheraient également la bactérie *Helicobacter pylori* de se fixer à la membrane stomacale, jouant ainsi un rôle préventif dans l'ulcère gastrique. Un effet contre le biofilm dentaire streptococcique, aurait également mis en évidence une action préventive de la plaque dentaire. D'autres effets de la supplémentation en canneberge sont rapportés, tels qu'une action antigrippale ; une augmentation cholestérol-HDL (action anti-oxydante de la quercétine) ; ou encore une action contre les calculs rénaux phosphocalciques. (ARNAL B. *et al.*, 2008 ; JOSSO A., 2009)

2.4. Grenade

- Rappels

Nom latin : *Punica granatum* L. (Lythraceae)

Nom commun : grenadier commun

Noms vernaculaires : pomme punique, pomme de Carthage, balaustier

Le grenadier est un arbuste ou arbrisseau, originaire d'Iran jusqu'au Nord de l'Inde. Son fruit antique, la grenade, est utilisé dans diverses cultures depuis des milliers d'années. Les Babyloniens le considéraient comme un agent de résurrection, les Chinois comme un symbole d'immortalité, et les Perses pensaient que ses semences assuraient l'invincibilité sur les champs de bataille. Le grenadier est aujourd'hui cultivé et naturalisé dans les zones semi-arides, en particulier du pourtour méditerranéen, en Espagne, en Israël, en Turquie, dans les régions sèches de l'Asie du Sud-est, en Malaisie et en Afrique tropicale. (VIUDA-MARTOS M. *et al.*, 2010)



Figure 58 : Le grenadier (réf.50.d)

Le grenadier s'élève jusqu'à 5 à 8 m de hauteur et possède de nombreuses ramifications (Figure 58). Les fleurs, en forme de clochette sont de couleur rouge écarlate. Le calice est rouge et charnu, avec un tube soudé à l'ovaire. Il comporte 5 à 7 lobes coriaces et persistants. 5 à 7 pétales sont insérés à la gorge du calice. L'ovaire infère, est couronné par les dents du calice des fleurs. (Figure 59) (BOTINEAU M., 2010, LLORENT-MARTINEZ E. J. *et al.*, 2013) (réf.47.b)



Figure 59 : La « couronne » de la grenade, constituée des dents du calice (LANSKY E. P. et NEWMAN R. A., 2007)

Le calice, charnu et persistant, est retrouvé à la base du fruit. Le fruit du grenadier est une baie cortiquée, de 5 à 12 cm de diamètre et de couleur orangée. La partie comestible est constituée de la pulpe des arilles. Cette pulpe est charnue et chargée d'eau, à l'aspect gélatineux et au goût douceâtre et acidulé. Elle entoure de multiples graines contenues à l'intérieur, comme l'illustre la Figure 60, à droite.



Figure 60 : Fruit et coupe longitudinale du fruit de *Punica granatum* L. (réf.32.b)

- Composition chimique

Le péricarpe de la grenade renferme de nombreux composés bioactifs, tels que les composés phénoliques, divers sels minéraux et polysaccharides complexes. Il représente la source d'antioxydants la plus importante du fruit. Parmi eux, sont retrouvés principalement les flavonoïdes ; les anthocyanes (glucoside de cyanidine, de delphinidine et de pélagonidine), des proanthocyanidols et des ellagitanins (la punicalagine, constituant spécifique de la grenade, et la punicaline). Ces ellagitanins donnent par hydrolysatation de l'acide ellagique, antioxydant puissant.

Les arilles sont utilisés pour extraire le jus de leur pulpe, riche en sucres (fructose et glucose), en pectines, en acides organiques (acide citrique, acide malique), en vitamines (vitamine C, vitamine E) et en polyphénols (en particulier les anthocyanes). La punicalagine et la punicaline sont également présents dans les arilles et dans les graines.

L'huile des graines renferme de nombreux acides gras poly-insaturés (acide linoléique et acide linoléique), mais également d'autres acides gras comme l'acide oléique (mono-insaturé), palmitique (saturé) et stéarique (saturé), ainsi que de nombreuses protéines, fibres, vitamines et sels minéraux.

Le péricarpe de la grenade représente 50 % de son poids total, les arilles 40 % et les graines 10 %. (VIUDA-MARTOS M. *et al.*, 2010 ; VILADOMIU M. *et al.*, 2013)

- Propriétés thérapeutiques

Historiquement utilisée pour soigner les maladies gastro-intestinales et les affections parasitaires, la grenade attire aujourd'hui l'attention des scientifiques pour son action antioxydante. Le jus de grenade (à partir de fruits entiers) posséderait une activité antioxydante trois fois supérieure à celle du vin rouge et du thé vert. (GIL M. *et al.*, 2000)

Les propriétés thérapeutiques de la grenade sont attribuées principalement aux ellagitanins qu'elle renferme. Ces composés sont absorbés, puis transformés en acide ellagique, un antioxydant puissant. Ses facteurs antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, polysaccharides), sont responsables par synergie d'action, de divers effets thérapeutiques.

Selon les études, la grenade serait à l'origine d'effets préventifs des maladies cardiovasculaires par inhibition de l'oxydation des LDL et par diminution du cholestérol total. Ces propriétés antioxydantes et antiathérogènes des polyphénols de grenade ont été démontrées chez l'homme et chez la souris athérosclérotique.

Les ellagitannins, après absorption et digestion, peuvent interagir avec la flore microbienne en inhibant la prolifération de certaines bactéries pathogènes telles que des *Clostridia*, le *Staphylococcus aureus*, ou *Pseudomonas aeruginosa*. Les ellagitannins auraient montré via l'activation du PPAR, (peroxisome proliferator-activated receptors), un blocage de la transcription de molécules inflammatoires. Cette activité serait intéressante dans le traitement et dans la prévention des maladies inflammatoires chroniques, comprenant l'obésité, le diabète type II, et les maladies intestinales.

L'acide gallique et l'acide linoléique préviendraient de l'obésité et autres troubles hyperlipidémiques. L'acide pucinique, pourrait être utilisé pour réguler les niveaux de sucre sanguins et prévenir des maladies intestinales inflammatoires. (VILADOMIU M. *et al.*, 2013)

2.5. Mûre (du mûrier)

- Rappels

Nom latin : *Morus alba* L. (Moraceae)

Nom commun : mûrier blanc, mûrier commun

Il convient de ne pas confondre les drupéoles des Ronces du genre *Rubus* (fruit multiple), avec la véritable mûre du Mûrier, du genre *Morus*, qui est une infrutescence. (BOTINEAU M., 2010) Le genre *Morus*, regroupe environ 16 espèces, se développant dans diverses conditions climatiques, des régions tempérées de l'hémisphère nord aux pays subtropicaux. Le mûrier blanc est originaire de Chine et fut introduit dans le bassin méditerranéen vers le XVème siècle pour la sériculture, ses feuilles étant l'aliment exclusif des vers à soie. Depuis plusieurs centaines d'années, le mûrier blanc est particulièrement cultivé en Turquie, où les conditions de croissance sont optimales pour la plante. (ERCISLI S. et ORHAN E., 2007 ; BUTKHUP L. *et al.*, 2013)

Cet arbre, à la cime arrondie et au tronc court, est monoïque et s'élève jusqu'à 15 m de haut en moyenne. L'écorce est brun clair à grise. Les rameaux renferment un latex blanc. Notons que la présence de latex est une caractéristique de la famille des Moraceae. (réf.26)



Figure 61 : Arbre de mûrier blanc (réf.31)

Les feuilles, de 5 à 15 cm de long sur 5 à 12 cm de large, sont vertes et brillantes sur le dessus et plus pâle et légèrement poilues sur le dessous. Elles sont alternes, simples, souvent ovales acuminées et leurs marges irrégulièrement dentées. A la base de leur pétiole cannelé, se trouvent des stipules.

Les fleurs mâles sont disposées en châtons cylindriques et les femelles, en châtons subsphériques. Les fleurs femelles donnent après fécondation une infrutescence (syncarpe) appelée mûre. La mûre mesure de 10 à 19 mm et peut être de différentes couleurs à maturité selon les variétés de *Morus alba* L. . Il existe des variétés à fruits blancs, roses à pourpres, et noirs. (réf.18, 26)



Figure 62 : Infrutescences de *Morus alba* L. à fruits blancs (réf.50.a)

Les espèces *Morus nigra* L. (mûrier noir) et *Morus rubra* L. (mûrier rouge) sont aussi cultivées, mais en proportions moindres. Certaines caractéristiques du mûrier blanc à fruits noirs permettent de le distinguer du mûrier noir ; des feuilles plus petites, un long pédoncule et une saveur fade. (ERCISLI S. et ORHAN E., 2007) (réf.18)

- Composition chimique

On retrouve dans ce fruit de nombreux composés phénoliques tels que des flavonoïdes ; des anthocyanes en particulier (3-glucoside de cyanidine, 3-rutoside de cyanidine, 3-O-rutinoside de quercétine), des flavanols (catéchine, épicatechine), des proanthocyanidols, des flavonols (quercétine). La concentration en anthocyanes est variable d'une variété à une autre et est particulièrement concentrée dans les espèces à fruits roses à pourpres. Certains acides phénoliques sont retrouvés majoritairement ; l'acide gallique (acide 3,4,5-trihydroxybenzoïque), l'acide cinnamique et l'acide p-hydroxybenzoïque. (ARAMWIT P. *et al.*, 2010 ; BUTKHUP L. *et al.*, 2013) On trouve également des caroténoïdes, des acides gras essentiels, ou encore des acides gras à longue chaîne dérivés de l'acide linoléique, linoléique ou oléique. (ERCISLI S. et ORHAN E., 2007)

- Propriétés thérapeutiques

La mûre blanche, est généralement consommée à l'état frais, mais elle est également utilisée en confiture, en jus ou en liqueur ou encore pour son colorant naturel. La composition chimique des feuilles et des fruits de *Morus alba* L. explique son utilisation actuelle dans les formulations cosmétiques en tant que dépigmentant et antioxydant. L'extrait du fruit diminue l'action de la tyrosinase et inhibe ainsi la mélanogenèse, entraînant une action dépigmentante. (ARAMWIT P. *et al.*, 2010)

Les flavonoïdes et acides phénoliques sont les principaux responsables de l'action antioxydante de la mûre. Ces effets antiradicalaires entrent en jeu dans diverses activités ; antidiabétiques, neuroprotectrices, antimutagènes et anticarcinogénétiques. (BUTKHUP L. *et al.*, 2013) D'autres propriétés telles que laxative, expectorante, odontalgique, ou encore vermifugatrice ont été rapportées. (ERCISLI S. et ORHAN E., 2007)

2.6. Noni

- Rappels

Nom latin : *Morinda citrifolia* L. (Rubiaceae)

Nom commun : noni

Noms vernaculaires : mûrier indien, nono, pomme-chien, mûrier de java

Le noni est originaire de la région de l'Asie du Sud à l'Australie et particulièrement cultivé en Polynésie. Le nom noni, utilisé couramment, est une appellation commerciale du jus extrait de la pulpe de son fruit. Son nom latin *Morinda*, dérivé de « morus » signifie mûre, et « indicus », indien. Depuis plus de 2000 ans, ce fruit est utilisé dans la médecine traditionnelle dans le Sud du Pacifique et plus particulièrement en Polynésie et à Hawaï.

Cet arbrisseau buissonnant s'élève de 3 à 10 m. L'écorce de son tronc revêt une couleur d'un blanc jaunâtre capable de fournir un tanin écarlate. Les rameaux sont anguleux, tétragones, creux et glabres. Les feuilles, persistantes, sont nombreuses, larges et elliptiques. Elles mesurent de 5 à 17 cm de large sur 10 à 40 cm de long et sont de couleur vert luisant. Les fleurs blanches, regroupées en bouquets terminaux, sont petites et tubulaires. (Figure 63)



Figure 63 : Fleur de *Morinda citrifolia* L. (réf.46)

Le fruit charnu syncarpique est ovale et bosselé, à l'aspect d'une mûre de grande taille. Son épicarpe est légèrement ridé et semi-translucide. Il est de couleur verte à jaune, et devient presque blanc, à maturité. A sa surface, des petites excroissances renferment les graines. Le fruit dégage une forte odeur, liée à sa teneur en acide butyrique. (CHAN-BLANCO Y. *et al.*, 2006)



Figure 64 : Fruit de *Morinda citrifolia* à différents stades de maturation (réf.39,46)

- Composition chimique

Ce fruit, constitué à 90 % d'eau, est riche en fibres, en protéines et en acides aminés. Les sels minéraux représentent 8,4% de son poids sec (en particulier, le soufre, le potassium, le calcium et le phosphore). On trouve également diverses vitamines dont la vitamine C (selon les sources, de 24 à 158 mg pour 100g du poids sec) et des composés provitaminiques A.

Il renferme environ 160 constituants phytochimiques, parmi lesquels les composés phénoliques, les acides organiques, et les alcaloïdes, sont les plus importants. Une analyse d'un extrait lyophilisé de jus fermenté de noni, a mis en évidence divers polyphénols tels que des anthraquinones, la scopolétine, l'aesculétine et la quercétine. Certains acides organiques sont retrouvés (acide caproïque et caprylique) ainsi que des alcaloïdes dont la xéronine. (CHAN-BLANCO Y. *et al.*, 2006, LIU C. *et al.*, 2007)

- Propriétés thérapeutiques

Selon la Pharmacopée traditionnelle polynésienne, le noni est utilisé pour diverses indications ; en tant qu'immunostimulant et comme antibactérien, antiviral et antifongique. Il est également connu pour son action préventive antitumorale, y compris dans les tumeurs malignes. Son jus, extrait de la pulpe du fruit, soulagerait les inflammations. (CHAN-BLANCO Y. *et al.*, 2006 ; LIU C. *et al.*, 2007) Des études récentes, réalisées sur le rat, ont démontré l'activité anti-arthritique du jus de noni (essentiellement due aux phénols et aux flavonoïdes). (SARASWATHI C. D. *et al.*, 2012)

En outre, son action antioxydante a été également mise en évidence, grâce au piégeage de radicaux hydroxyles par ses composés phénoliques. Cette activité antiradicalaire a été démontrée, entre autres, dans des études sur le vieillissement cutané. Le noni entraîne une diminution des rides et des ridules accompagnée d'une augmentation de l'élasticité et de la fermeté de la peau. (WEST J. B. et SABIN R. A., 2012) L'huile essentielle de ce fruit posséderait également une action anti-oxydante, mais aussi anti-angiogénique. (PILLAI PIARU S. *et al.*, 2012)

2.7. Papaye

- Rappels

Nom latin : *Carica papaya* L. (Caricaceae)

Nom commun : Papayer

Le papayer est un arbre tropical originaire du Mexique. Sa culture est aujourd'hui répandue dans tous les pays tropicaux mais le site de Mexico reste le plus gros exportateur de papaye dans le monde. (HUERTA-OCAMPO J.A. *et al.*, 2012)

Comme l'illustre la planche botanique suivante, cet arbre s'élève par un tronc droit, très ramifié.



Figure 65 : Planche botanique de *Carica papaya* L. (réf.42)

- | | | | |
|---|--------------------------------|---|----------------------------------|
| 1 | Fleur | 4 | Graine |
| 2 | Coupe transversale de la fleur | 5 | Coupe longitudinale de la graine |
| 3 | Coupe longitudinale du fruit | | |

Le fruit est une baie ovale, de couleur verte au début de sa formation, puis jaune à orange, plus ou moins incisé et tacheté, à maturité. Il pèse entre 800 g et 2 kg.



Figure 66 : Fruit du papayer (réf.50.b, 50.c)

Le mésocarpe est la partie comestible, formée par une chair rose à rouge. Elle est juteuse en bouche et possède une saveur douce et sucrée. Les phénols contribuent à la couleur et au goût de cette chair. Le péricarpe renferme de multiples graines à la saveur légèrement poivrée. (GAYOSSO-GARCIA SANCHO L. E. *et al.*, 2011, HUERTA-OCAMPO J.A. *et al.*, 2012)

- Composition chimique

L'épicarpe et le mésocarpe de la papaye sont riches en composés phénoliques : en particulier en catéchines, mais également en acide ferulique, en acide p-coumarique et en acide caféique. Ce fruit constitue également une source importante en caroténoïdes, précurseurs de la vitamine A, tels que la β -cryptoxanthine, antioxydante et responsable de la couleur jaune ou orangée de la papaye. Un autre pigment de cette famille, le lycopène, est retrouvé dans la papaye en concentrations croissantes au cours de sa maturité. Ce fruit est riche en fibres, et constitue une véritable source de vitamines (vitamine C et vitamines du groupe B) et sels de minéraux (potassium et calcium). La composition nutritionnelle est détaillée dans les ANNEXES 1, 2 et 3. (GAYOSSO-GARCIA SANCHO L. E. *et al.*, 2011 ; HUERTA-OCAMPO J.A. *et al.*, 2012) (réf.38.c)

- Propriétés thérapeutiques

La papaye est consommée sous sa forme fraîche ou séchée. Les composés phénoliques et les caroténoïdes de ce fruit par leur action antioxydante possèderaient une activité anticarcinogène et antimutagène. Le jus de papaye, possèderait une activité antioxydante comparable à celle de la vitamine E. Les catéchines réduisent les risques de maladies cardiovasculaires, tandis que la β -cryptoxanthine entre en jeu dans la diminution de risque de certains cancers et de maladies chroniques telles que l'athérosclérose. (GAYOSSO-GARCIA SANCHO L. E. *et al.*, 2011)(réf.38.c)

DEUXIEME PARTIE

PLACE DE LA BAIE DE GOJI (*Lycium barbarum* L.), AU SEIN DES SUPERFRUITS

I ORIGINE ET HISTORIQUE DE LA PLANTE

Le *Lycium barbarum* L. ou Lyciet de Barbarie en Français et couramment appelé Goji, est un fruit originaire d'Asie, plus précisément d'une région comprise entre l'Asie mineure et l'Asie du Sud-ouest. Connu depuis des millénaires et répertorié dans la médecine traditionnelle chinoise, ce fruit « donnera santé et longévité », selon la citation extraite d'un ouvrage chinois intitulé *la Pharmacopée de l'empereur*, faisant référence à la baie de Goji dans un poème issu du IX^{ème} siècle de notre ère. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009)

Parmi les espèces végétales médicinales de la pharmacopée chinoise, trois sont particulièrement documentées et utilisées : le ginseng, le thé et la baie de Goji. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009)

Le Goji est mentionné pour la première fois dans le traité de médecine, intitulé : *Shen'ong Ben Cao Jing*, en français : « La matière médicale du fermier divin », attribué à l'Empereur Shen Nung, qui aurait vécu 2600 ans avant notre ère. Il est écrit que « la baie entretient et multiplie la force vitale de l'homme, renouvelle l'apport en humeurs, calme l'esprit, rafraîchit, régénère la peau et les yeux ». Dioscoride, médecin grec du premier siècle de notre ère, évoque cette plante sous le nom *lykion* dans son traité *Sur la matière médicale*. La Lycie n'est autre qu'une région au sud-ouest de la Turquie actuelle, ce qui nous confirme sa provenance d'Asie mineure. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009)

Le Goji est mentionné sous le nom de *Gou qi zi*, dans sa monographie de la Pharmacopée de la médecine traditionnelle chinoise (CHEN Y. W., 2008). Dans les campagnes chinoises, cette petite baie est encore intégrée quotidiennement dans les menus, sous différentes formes ; fraîche, séchée, en décoction ou encore en boissons rafraîchissantes. (PUNGIER V., 2012)

Le Goji fut amené à la connaissance des occidentaux tardivement. La baie fut évoquée en 1623 par Gaspard Bauhin, naturaliste suisse, dans son traité *Pinax Theatri Botanici, sen Index in Theophrasti, Dioscoridis, Plinii, et botanicorum qui a seculo scripserunt opera*, un des tout premiers systèmes de botanique. Le grand naturaliste et nomenclateur suédois, Carl von Linné, décrit cette plante en 1753 dans son ouvrage taxonomique « *Species plantarum* ».

Elle apparaît dans la *Huitième édition du Dictionnaire du jardinier* du botaniste écossais Philip Miller en 1768, alors que des plantations croissent au Royaume-Uni. Au XIX^{ème} siècle, des publications sur *Lycium barbarum* apparaissent en Allemagne, Suisse et Autriche. Le Goji n'est alors seulement reconnu que comme une plante ornementale et utilitaire. Ce n'est que plus tard que l'on fait référence à son potentiel nutritif et thérapeutique. Depuis une quinzaine d'années, les études se multiplient au sujet de cette baie, démontrant des propriétés thérapeutiques intéressantes. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009 ; AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011 ; MAITRE M. 2011)

II HABITAT

1. Habitat naturel

Le Lyciet commun est largement répandu dans le monde, de l'Europe méridionale à l'Asie ; toutefois sa localité d'origine reste incertaine. (AMAGASE H., et FARNSWORTH N. R., 2011) Longtemps prétendu originaire du Nord-Ouest de la Chine, certaines recherches montrent qu'il pourrait venir du bassin méditerranéen. Le *Lycium barbarum* L. pousse à l'état spontané en Asie. Il est également cultivé dans certaines régions, illustrées sur la Figure 67. (MAITRE M., 2011 ; PUNGIER V., 2012)

2. Plantations et cultures

2.1. Plantations en Chine

Les plantations de Goji sont rassemblées principalement au Nord de la Chine (zone encerclée de la carte ci-dessous).



Figure 67 : Aperçu général de la localisation des principales plantations de Goji (MERIENNE P., 2009)

Ces plantations se trouvent plus précisément dans la province de Ningxia, située dans le prolongement de la chaîne montagneuse du Qilian Shan, au-dessous du plateau des Ordos. La région se situe sur la carte ci-dessous encerclée de rouge.



Figure 68 : Principale zone de production de la baie de Goji en Chine (MERIENNE P., 2009)

D'autres plantations sont présentes dans les provinces de Gansu, de Shanxi, et de Mongolie intérieure, voisines du Ningxia. On en trouve également plus au nord-est dans le Shanxi et le Hebei (Figure 68), et enfin dans la région du Cachemire. (Figure 69) (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009)



Figure 69 : Localisation de la région du Cachemire (réf.35)

Le deuxième fleuve le plus long de Chine après le Yangzi Jiand (fleuve bleu) est le Huang He, ou fleuve jaune, qui traverse le Nord-ouest du Ningxia. Ses crues, avec les années, enrichissent les terres, notamment en minéraux. L'eau de ce fleuve est particulièrement riche en limon (sable fin) regorgeant de sels minéraux et autres particules responsables d'une incroyable fertilité du sol. Le Ningxia représente la première zone de production de Goji au monde avec 66.600 hectares cultivés en 2008 : les zones de culture du fruit ont vu leur surface multipliée par 21 ces dix dernières années. Cette région fournit également près de la moitié des baies de Goji chinoises. Leur récolte au mois d'août entraîne de nombreuses festivités. On notera que cette province compte seize fois plus de centenaires que toutes les autres. En chiffres, la Chine, premier fournisseur de Lyciet au monde, génèrait 120 millions de dollars de recettes en 2004 pour 82000 hectares de plantations et 95000 tonnes de baies de Goji. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009) (réf.22)

2.2. Plantations dans le monde

On recense actuellement 80 variétés de *Lycium barbarum* dont 51 en Amérique du Nord et 30 en Europe. Seules 7 espèces perdurent en Asie, bien que nous y trouvions les principales zones de culture de cette plante. Depuis une dizaine d'années, son succès auprès du public incite les agriculteurs de l'Amérique du Nord et de l'Australie à développer la culture de ce fruit. (réf.22)

2.3. Présence en France à l'Etat spontané

Une carte de répartition du Goji en France à l'état spontané est disponible le site www.tela-botanica.org (Figure 70).

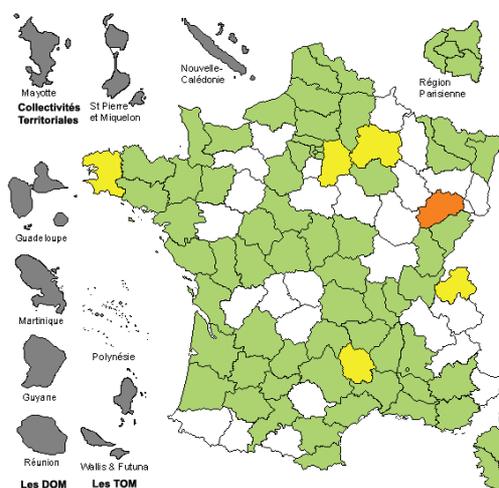


Figure 70 : Répartition du Goji en France à l'état spontané (réf.47.a)

- Répartition

Cette carte est en cours d'élaboration. Les régions colorées en vert signalent la présence du Goji, en jaune la présence reste à confirmer, en orange, disparition complète de la plante et en blanc, la présence n'est pas renseignée (réf.47.a). Le Goji est très commun dans les environs de Paris alors qu'il est moins répandu en Normandie. Dans la Sarthe, il reste assez rare et se retrouve en habitat dispersé dans le Nord de la France. En descendant vers le sud, il est moins présent dans le Sud-Ouest que dans le Sud-Est dans les environs d'Aix en Provence, le long du littoral. (BONNIER G., 1990)

- Ecologie

Le Lyciet est essentiellement retrouvé dans les haies, avoisinant les habitations. Sa répartition est très inégale. (BONNIER G., 1990) *Lycium barbarum* L. est naturalisé dans quasiment la totalité de la France ainsi que dans les Ardennes belges. (réf.30)

Remarque : le terme naturalisé signifie : « introduit volontairement par l'homme dans une région et s'y reproduisant spontanément » à la différence de subsponané, qui est « introduit fortuitement ou de façon inconnue ».

2.4. Culture



Figure 71 : Culture et récolte du Goji (AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011)

La culture du Goji est en pleine expansion depuis que les recherches scientifiques confirment son activité thérapeutique. Cette plante pousse préférentiellement dans les zones tempérées et ensoleillées, dans un sol alcalin et plutôt sec. La plante ne peut supporter le gel ainsi que des températures inférieures à 22°C. Les premières années de plantations ne donneront que de petites productions.

Ce n'est qu'au bout de 4 ans que les fruits peuvent être recueillis en quantité suffisante. La récolte a lieu durant la période estivale jusqu'en automne. Ces fruits sont ensuite séchés à l'ombre, puis exposés au soleil jusqu'à ce que l'extérieur du fruit soit dur et sec, tout en préservant une baie molle à l'intérieur. (AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011)

Nous verrons en dernière partie de cet ouvrage que *Lycium barbarum* L. est principalement importé de Chine dans nos pays d'Europe, sous formes de baies séchées, jus pur ou mélangé, concentré en poudre ou gélules, ceci pour des raisons légales de conservation. Il est impossible d'assurer le transport du produit à l'état frais, le temps de transport étant trop long pour garantir une qualité optimale du fruit à son arrivée.

III ETUDE BOTANIQUE DE *Lycium barbarum* L.

1. Nomenclature

Le mot grec *lykion*, en latin *lycium* a donné le nom français *lyciet* signifiant originaire de Lycie. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009) Le nom « goji » a été donné par le médecin et botaniste tibétain Dobos Bradley en 1974. (MAITRE M., 2011). Le binôme latin *Lycium barbarum* L. a été attribué par l'illustre botaniste suédois, Carl von Linné en 1753. (AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011)

Le *Lycium barbarum* L., encore appelé lyciet de Barbarie ou lyciet commun, possède de nombreux synonymes latins :

- Synonymes taxonomiques (de type différent)

Lycium turbinatum Loisel.

Lycium vulgare Dunal

Lycium trewianum Roem. & Schult.

Lycium halimifolium Mill.

- Synonymes nomenclaturaux (de même type)

Jasminoides flaccida Moench

Teremis elliptica Raf.

Lycium floribundum Salisb. (BUBENICEK L., 2001 ; MAITRE M., 2011)

Le tableau ci-dessous permet de présenter ses différentes appellations selon les pays concernés :

Langue	Traduction
Français	Lyciet, Lyciet commun, Lyciet de Barbarie, Lyciet à feuilles d'Obione, Lycier à feuilles d'Halimus ou d'Halimione, Lyciet du Ningxia, Rouge de néflier
Anglais	Boxthorn, Duke-of-Argyll's tea tree, Washington's-bower, Wolfberry, Matrimony vine, Box thorn, Chinese wolfberry, Barbary wolfberry, Red medlar, Ningxia Gouqui
Allemand	Bocksdorn , Wolfsdorn
Flamand	Boksdoorn
Chinois	Gou qi zi, Ning xià gou qi, 宁夏枸杞
Japon	Kuko
Tibétain	Dretsherma
Coréen	Gugija
Vietnamien	Cukhoi
Thaïlandais	Gaogee

(BUBENICEK L., 2001; FEVRE F. et METAILIE G., 2005 ; SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009 ; AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011 ; MAITRE M., 2011 ; LIM T. K., 2013)

2. Systématique

Selon la classification phylogénétique APG II (BOTINEAU M., 2010), le Goji appartient aux Angiospermes Eudicotylédones évoluées, encore appelées Astérides. Il appartient à l'ordre des Solanales, à la famille des Solanaceae et au genre *Lycium*.

2.1. Caractéristiques de la famille des Solanacées

Selon les différents auteurs, la famille des Solanaceae regroupe de 90 à 147 genres pour environ 2200 à 3000 espèces. (HEYWOOD V. H., 2002 ; JUDD W. S. *et al.* 2002 ; SPICHTER R.- E. *et al.*, 2004). Cette famille regroupe de nombreuses espèces toxiques en raison de leur teneur en alcaloïdes, telles que la belladone, la jusquiame ou encore le datura. D'autres espèces, non toxiques, utilisées dans l'alimentation, font également partie des Solanaceae. C'est le cas de la tomate, l'aubergine et de la pomme de terre. (BOTINEAU M., 2010) Le genre *Solanum* est le plus important avec 1500 espèces. Ce sont en général de grandes plantes herbacées ou arbustives, à port érigé ou grimpant. Leurs feuilles sont alternes, entières, dentées et/ou lobées. Les fleurs, de couleurs variées, régulières ou presque, sont regroupées en cymes. Le calice comporte 5 sépales soudés, persistant après fécondation. La corolle à 5 pétales est gamopétale, de formes variées (tubuleuse, infundibuliforme ou rotacée) avec 5 lobes égaux et 5 étamines soudées à la corolle. L'ovaire est supère à deux loges et le placenta épais, avec un seul stigmate. Le style est terminal. Le fruit peut être charnu (baie) ou bien sec (capsule), s'ouvrant par des valves ou un couvercle (pyxide). Les graines contenues dedans sont en forme de rein ou de lentille. Elles renferment au milieu d'un albumen charnu, une plantule courbée ou en spirale. (BONNIER G., 1990 ; DELAVEAU P., 2003 ; DUPONT F. et GUIGNARD J.- L., 2012)

2.2. Caractéristiques du genre *Lycium*

Le genre *Lycium* regroupe une centaine d'espèces herbacées et sarmenteuses, arbustes épineux et arbrisseaux. Leurs feuilles sont simples, alternes ou groupées, et courtement pétiolées. Le calice, plus petit que la corolle, comporte un tube relativement étroit qui se termine par cinq lobes étalés, en forme en cloche. Les fleurs sont petites, pourpres, violacées ou blanchâtres, isolées ou axillaires. Les cinq étamines sont fendues longitudinalement, de longueurs inégales, à anthères non conniventes.

Le fruit est une baie globuleuse et charnue de couleur rouge à rouge-orangé, voire pourpre à maturité. Toutes les espèces du genre *Lycium* peuvent être retrouvées dans les haies mais également comme plantes ornementales. (DELAVEREAU P., 2003 ; BONNIER G., 1990 ; BOTINEAU M., 2010 ; MAITRE M., 2011)

On compte au moins soixante-dix espèces du genre *Lycium* réparties dans le monde (zones vertes de la carte, Figure 72).

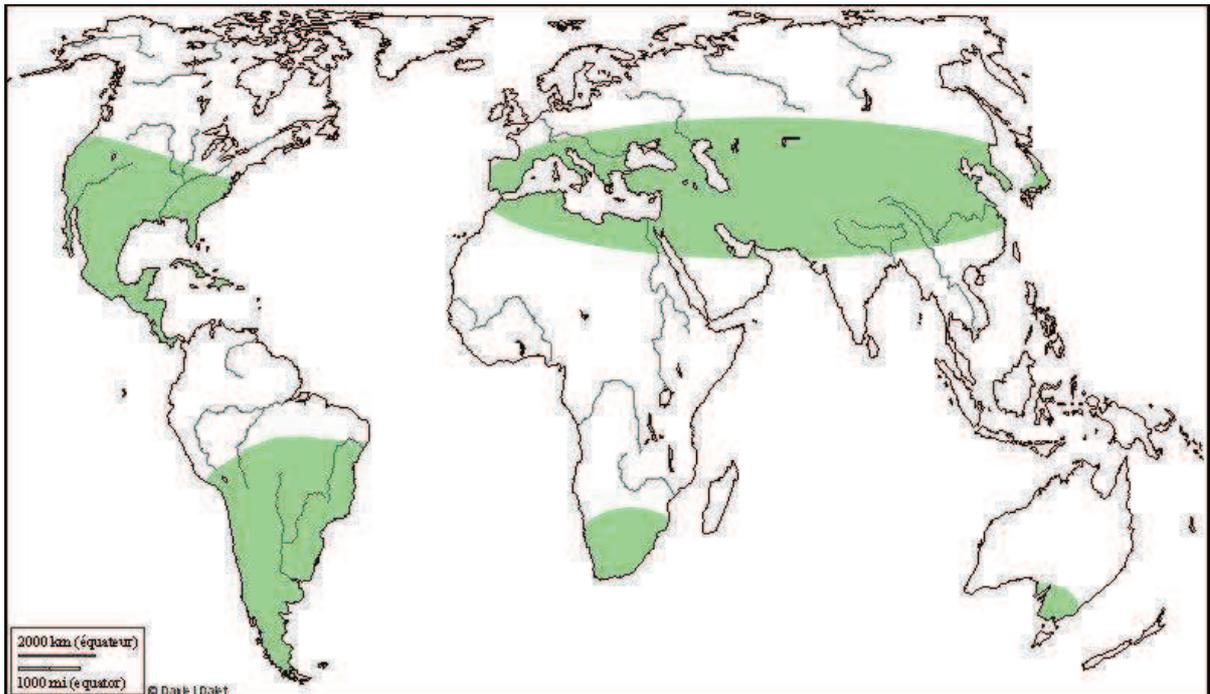


Figure 72 : Distribution du genre *Lycium* dans le monde (FUKUDA T. *et al.*, 2001)

On trouve ces espèces dans les régions tempérées à subtropicales d'Amérique (Nord et Sud), d'Afrique du Sud, d'Eurasie et d'Australie.

Selon une analyse phylogénétique moléculaire (analyse de séquences d'ADN) de l'ADN de chloroplastes d'espèces du genre *Lycium* en 2001, on distingue deux grands clades : l'un comprenant les espèces d'Eurasie, Afrique méridionale et Australie, et l'autre celles d'Amérique du Sud, Amérique du Nord et Pacifique. (FUKUDA T. *et al.*, 2001 ; AMAGASE H., et FARNSWORTH N. R., 2011)

Les espèces du genre *Lycium* les plus répandues sont :

Lycium afrum L. , Lyciet d'Afrique

Lycium andersonii Gray.,

Lycium arabicum Schweinf.

Lycium berlandieri Gray.

Lycium chinense Mill. , Lyciet de Chine

Lycium europaeum L. , Lyciet commun ou Herbe à coqueluche (arbrisseau très épineux)

Lycium fremontii Gray.

Lycium pallidum Miers.

Lycium ruthenicum Murr.

Lycium sandwicense Gray. (MAITRE M., 2011)



Figure 73 : Rameau fleuri de *Lycium afrum* L. (BONNIER G., 1990)



Figure 74 : Fruit de *Lycium afrum* L. (réf.8.a)



Figure 75 : Rameau fleuri de *Lycium europaeum* L. (BONNIER G., 1990)



Figure 76 : Fruit de *Lycium europaeum* L. (réf.8.b)

3. Description de la plante : *Lycium barbarum* L.

Le Lyciet de Barbarie est un arbrisseau touffu, plus ou moins épineux mesurant de 1 à 5 mètres de longueur. Ses rameaux sont flexueux, ténus et assez faibles, retombant ou pendant et pouvant être un peu anguleux dans leur longueur. Ses feuilles, peu épaisses, au limbe ovale-allongé et à nervures secondaires apparentes, sont courtement pétiolées. Elles sont alternes, simples et entières, à marge lisse. Leur couleur est verte à grisâtre et non glauque en dessous. Cette plante possède des tiges souterraines (rhizomes) cylindriques et peu ramifiées, poussant près de la surface puis se développant en profondeur. Des racines adventives partent de cette tige et poussent en direction de la lumière. (BONNIER G., 1990 ; BOULLARD B., 2001 ; MAITRE M., 2011)



Figure 77 : Planche botanique de *Lycium barbarum* L. (réf.47.a)

1 Fleur entière

2 Coupe longitudinale de la fleur

3 Etamine

4 Pistil

5 Bouton floral

6 Coupe longitudinale du fruit

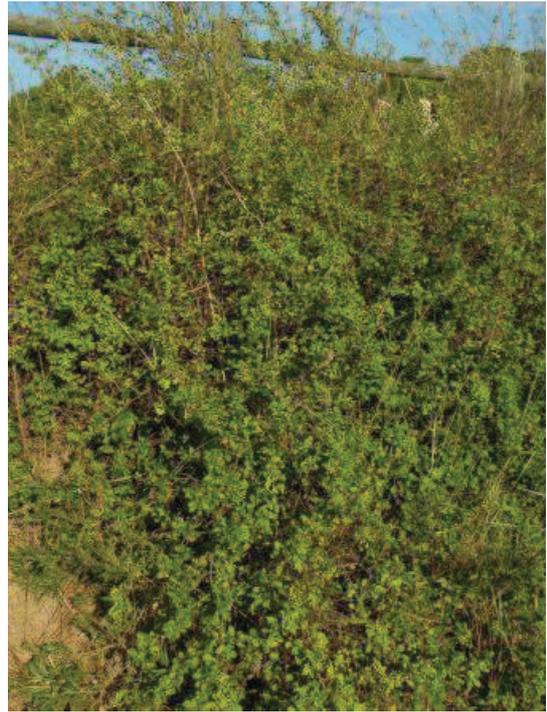


Figure 78 : Rameau feuillu et buisson de *Lycium barbarum* L. (réf.47.a)

Généralement isolées au niveau axillaire des feuilles ou plus rarement en mini-glomérules, ses fleurs violet-clair, nervurées et pédonculées, sont visibles de mars à octobre, voire quelquefois en hiver. Le calice est très irrégulier et forme deux lèvres dentées ou non sur chaque division. La corolle est en entonnoir, à 5 lobes récurvés voire renversés. Elle est 4 à 5 fois plus longue que le calice, avec un tube de même longueur que ses lobes étalés. Les pédoncules floraux sont, en général, plus longs que les fleurs. Les étamines, irrégulières, sont nettement saillantes. (BONNIER G., 1990 ; BOULLARD B., 2001 ; MAITRE M., 2011)



Figure 79 : Fleurs de *Lycium barbarum* L. (réf.47.a)

Le fruit est une baie polysperme oblongue à apex aigu, devenant rouge-orangé à rouge foncé à maturité, mesurant de 6 à 20 mm de longueur pour 3 à 8 mm de diamètre. Les graines contenues dans la baie sont jaunes, minuscules et comprimées avec un embryon incurvé. Leur nombre varie de 10 à 60. (BOULLARD B., 2001 ; AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011 ; MAITRE M., 2011)



Figure 79 : Fruit de *Lycium barbarum* L. (AMAGASE H., et FARNSWORTH N. R., 2011)

Dans la littérature, le « Goji » regroupe deux espèces distinctes du genre *Lycium* : *Lycium barbarum* L. majoritairement commercialisé, et *Lycium chinense* Mill.. Ces espèces diffèrent d'un point de vue thérapeutique, il convient donc de ne pas les confondre. (PUNGIER V., 2012) Voici quelques éléments de distinction :

<i>Lycium barbarum</i> L.	<i>Lycium chinense</i> Mill.
Feuilles : plusieurs fois plus longues que larges, de couleur vert grisâtre	Feuilles : 2 fois plus longue que large, de couleur vert franc
Fleurs : 8 à 10 mm (floraison en France de juin à août)	Fleurs : 12 à 15 mm (floraison en France d'avril à novembre)
Fruits : oblongs	Fruits : ovoïdes

Figure 80 : Distinction des espèces *Lycium chinense* Mill. et *Lycium barbarum* L. (réf.15.a, 15.b)

Les photographies suivantes mettent en avant les principaux éléments de distinction des espèces *Lycium barbarum* L. et *Lycium chinense* Mill. .



Figure 81 : Rameau fleuri et fruit de *Lycium barbarum* L. (réf.15.a)



Figure 83 : Rameau fleuri et fruit de *Lycium chinense* Mill. (réf.15.b)

A la différence de *Lycium barbarum* L., *Lycium chinense* Mill. est naturalisé uniquement dans une partie du Calvados, dans le Jura, ainsi que dans les Ardennes belges. (réf.30)

Après la description botanique, nous allons aborder la composition chimique du fruit.

IV COMPOSITION CHIMIQUE DE LA PLANTE

1. Baie

1.1. Principaux constituants de la baie de Goji

En 1980, des analyses scientifiques réalisées au Ningxia ont démontré pour la première fois, la teneur en vitamines et en minéraux de la baie. Par la suite, d'autres études en Occident ont confirmé ces résultats. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009)

Le tableau ci-dessous montre la grande variété des principaux constituants de la baie de Goji. Le détail en macronutriments, micronutriments et oligoéléments se trouve dans les tableaux situés en ANNEXE 1,2 et 3.

Constituants de la baie de Goji *	
Protéines	6 - 16 %
Glucides	40-60 % dont les polysaccharides spécifiques 31 %
Lipides	0,45 – 1,40 %
Fibres	21 %
Acides gras essentiels	Contenus dans l'huile de pépins de goji : Acide linoléique essentiellement
19 acides aminés	Dont les 8 acides aminés essentiels
Vitamines	Vitamines du groupe B : B1, B2, B3 (PP) , Vitamine C
Minéraux	Calcium, magnésium, potassium, phosphore
Oligoéléments	Fer, sélénium, cuivre, zinc
Caroténoïdes	0,03 – 0,5% (β -carotène, xanthophylles)
Polyphénols	Acide ellagique, flavonoïdes
Substances bioactives complémentaires	Acide p-coumarique, bétaïne, cérébroside

Figure 82 : Principaux constituants de la baie de Goji (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009 ; WANG C. C *et al.*, 2009 ; AMAGASE H., et FARNSWORTH N. R., 2011 ; PUNGIER V., 2012)

*Les valeurs sont données ici pour 100 g de baies de Goji séchées.

Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessus peuvent varier selon les études. Selon la maturité du fruit, les conditions climatiques mais également les conditions de culture, on trouvera des composés en plus ou moins forte concentration. De plus, les résultats obtenus peuvent varier selon les méthodes d'extraction des composants utilisées.

Cette baie, en particulier son péricarpe, contient de nombreux nutriments et composés phytochimiques actifs. Dans ce chapitre nous étudierons les principales molécules actives du Goji : les polysaccharides, les caroténoïdes, les composés phénoliques, les sels minéraux et les oligoéléments. Nous verrons qu'elle possède un groupe de 5 polysaccharides qui lui sont propres. D'autres constituants, comme les acides gras essentiels et les fibres, sont présents dans ce fruit.

1.2. Composés particuliers au *Lycium barbarum* L. : polysaccharides

Les polysaccharides sont quantitativement les composés les plus importants dans la baie de Goji et sont responsables entre autres de ses propriétés antioxydantes.

Ces polymères naturels sont formés de plus de 20 monosaccharides reliés entre eux par des liaisons glycosidiques. Les polysaccharides de *Lycium barbarum* L. sont des glycoprotéines ou protéoglycanes, formées par un hétéroside (motif glucidique composé de polymères d'oses : glycane), conjugué avec une chaîne polypeptidique. (LUO Q. *et al.*, 2004) Les glucides représentent de l'ordre de 50 à 60 % du poids sec de la baie et les protéines de 6 à 15 %. (YU M. S. *et al.*, 2005 ; WANG C. C. *et al.* 2009). Parmi les polysaccharides, 5 à 6 (selon les sources) sont propres à la baie de *Lycium barbarum* L., retrouvés sous l'abréviation de LB P ou LbGp (LB P₁ à LB P₆). (PENG X. et TIAN G., 2001 ; MANG K. *et al.*, 2011).

→ Partie glucidique

Elle est formée d'enchaînements à partir de 6 monosaccharides de rhamnose, d'arabinose, de xylose, de mannose, de glucose et de galactose, avec une prédominance d'arabinose et de galactose. (LUO Q. *et al.*, 2004; WANG C. C. *et al.*, 2009) Dans une analyse similaire des monosaccharides, par chromatographie en phase gazeuse (CPG), les monosaccharides divergeaient par la présence de fucose et l'absence de mannose (glucose et arabinose majoritaires). (LI X. L. *et al.*, 2007)

Des oses sous leurs formes acides sont également retrouvés dans les polysaccharides, en particulier l'acide galacturonique et en moindre quantité l'acide glucuronique. (YU M. S. *et al.*, 2005)

	LBA
% Yield ^a	1.7
Protein ^b	6.2
Galacturonic acid ^b	23.9
Neutral sugars ^b	61
Arabinose ^c	35.1
Galactose ^c	16.0
Rhamnose ^c	10.0
Xylose ^c	4.0
Glucuronic acid ^c	1.3
Mannose ^c	0.8
Glucose ^c	8.9

^a % Yield to the dried fruit.
^b % Dry-weight basis.
^c Mol %.

Figure 83 : Composition de la partie glucidique des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (YU M. S. *et al.*, 2005)

Dans une étude, l'analyse des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. par spectroscopie infrarouge (IR), a mis en évidence une présence majoritaire de glucose et de xylose. Le galactose, le mannose et le rhamnose ont été observés en plus faibles quantités. Les résultats sont illustrés dans la Figure 84 (WU H. T., *et al.*, 2010)

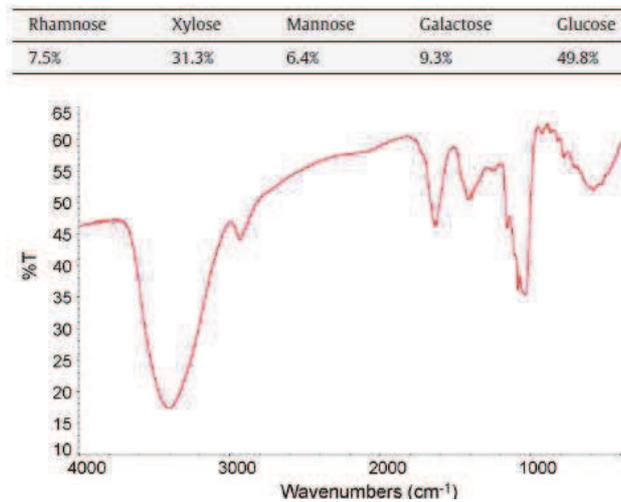


Figure 84 : Composition chimique des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (WU H. T., *et al.*, 2010)

L'axe des ordonnées exprime le pourcentage de monosaccharides et l'axe des abscisses, la longueur d'onde.

La variabilité des résultats selon les études peut s'expliquer par la différence de variétés d'échantillons de *Lycium barbarum* L. et la méthode analytique utilisée.

Tous, sont des glycopeptides du type glycane-O-Ser, formés par une liaison entre l'extrémité de la chaîne d'acides aminés (sérine) hydroxylée et le glycane. Cette partie glycosidique représente près de 90 à 95 % de la masse moléculaire. (POTTERAT O., 2010)

Le squelette principal retrouvé dans ces chaînes de glycanes des LBP est principalement constitué d' α -(1 \rightarrow 6)-D-glucanes ou d' α -(1 \rightarrow 4)-D-polygalacturonanes. (AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011) La structure du Lb Gp₂ a été analysée par chromatographie en phase gazeuse liée à un spectre de masse (Figure 85). Il possède des enchaînements (1 \rightarrow 6)- β -galactosyl dont la moitié est substituée au troisième carbone par un résidu galactosyl ou arabinosyl. (PENG X. et TIAN G., 2001)

- Caroténoïdes

Les caroténoïdes, deuxième groupe de métabolites majoritaire dans le *Lycium barbarum* L., sont présents sous 11 formes libres et 7 estérifiées. Parmi ces molécules, le β -carotène, notamment, est responsable de la couleur rouge-orangé du Goji. Le dipalmitate de zéaxanthine est majoritairement présent dans ce fruit (30 à 50% des caroténoïdes totaux), suivi de la β -cryptoxanthine, du monopalmitate de zéaxanthine et de ses 2 isomères, et de la forme trans- du β -carotène. La zéaxanthine est un isomère de la lutéine, dérivée du β -carotène. Nous verrons que ce pigment jaune, de la même manière que la lutéine, a pour propriété thérapeutique principale de lutter contre la dégénérescence maculaire de la rétine. La néoxanthine est également présente dans le Goji. Les caroténoïdes permettent une protection cutanée en luttant contre les radicaux libres présents dans l'atmosphère, mais aussi ceux provenant des rayons ultraviolets (UV). De cette manière, ils préviendraient de certains cancers, notamment les cancers cutanés. Ces constituants agiraient également en tant que protecteurs du HDL-cholestérol et comme anti-inflammatoires. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009 ; AMAGASE H., et FARNSWORTH N. R., 2011)

Après séparation HPLC (Chromatographie en phase Liquide à Haute Performance) des caroténoïdes, les principaux constituants retrouvés figurent dans la Figure 87.

Fraction	Components
<i>Carotenoid</i> β-Carotene fraction	13- or 13'-cis-β-carotene All-trans-β-carotene 9- or 9'-cis-β-carotene
Neoxanthin and cryptoxanthin fraction	Neoxanthin All-trans-β-cryptoxanthin 9- or 9'-cis-β-cryptoxanthin
Zeaxanthin fraction	9- or 9'-cis-zeaxanthin 13- or 13'-cis-zeaxanthin 15- or 15'-cis-zeaxanthin All-trans-zeaxanthin

Figure 87 : Les caroténoïdes du Goji (WANG C. C. *et al.*, 2010)

Parmi les aliments riches en pigments, la baie de Goji occupe les premiers rangs. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009)

- Vitamines

Le Goji est particulièrement riche en vitamines du groupe B (en particulier la vitamine B1 et la vitamine B2) mais aussi en vitamine C (acide ascorbique). Les concentrations de vitamine C dans 100 g de baies de Goji séchées s'élèvent de 129 à 149 mg (soit 3 fois celles de l'orange) et 42 mg pour 100 g de fruit frais. Cette vitamine confère au Goji des propriétés immunostimulantes et antioxydantes. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009 ; POTTERAT O., 2010) Le Goji renferme également un dérivé naturel de la vitamine C, l'acide 2-O-β-D-Glucopyranosyl-L-ascorbique, au potentiel antioxydant, Figure 88. (ZHANG Z. *et al.*, 2011)

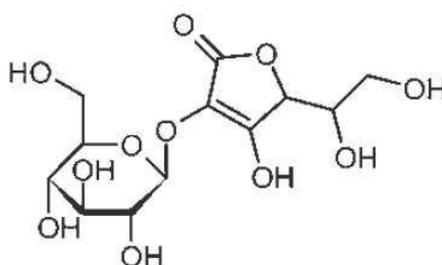


Figure 88 : Structure chimique de l'acide 2-O-β-D-Glucopyranosyl-L-ascorbique (POTTERAT O., 2010)

Les vitamines du groupe B sont également présentes en quantités notables, les vitamines B₁, B₂ et B₃ pouvant atteindre des taux supérieurs à ceux des principales sources de ces vitamines (graines de lin et de tournesol). Le β-carotène est à l'origine de la formation de vitamine A dans le Goji. (SHARAMON S. et BAGINSKI B. J., 2009 ; POTTERAT O., 2010)

- Composés phénoliques

Des flavonoïdes et des acides phénoliques ont été isolés après séparation par chromatographie en phase liquide HPLC. Parmi les flavonoïdes rencontrés, la sous-classe des flavonols a été identifiée. On trouve des flavonols sous forme d'hétérosides (quercétine, rutine et kaempférol) et des flavonoïdes non-glycosylés (les flavanols ou catéchines (tanins condensés)). On peut rencontrer également dans le *Lycium barbarum* L. de la myricétine. (PUNGIER V., 2012) Les acides phénoliques ont été différenciés également, le Goji en compte 7, représentés essentiellement par l'acide caféoylquinique et ses isomères. (WANG C. C. *et al.*, 2010)

Dans une étude, l'analyse d'un échantillon de *Lycium barbarum* L. par un système de chromatographie liquide à haute performance à détecteur UV à barettes de diodes couplé à un spectre de masse à trappes d'ions (CLHP-DAD-ESI-SM), a permis la détermination simultanée d'acides phénoliques et de flavonoïdes . Parmi 52 polyphénols testés, 15 acides phénoliques et flavonoïdes ont été identifiés positivement dans le *Lycium barbarum* L. . En voici la liste (concentration de l'extrait éthanolique de fruit de *Lycium barbarum* L. en µg/g)

- | | |
|--|---|
| - Quercétine-rhamno-di-hexoside | - Acide p-coumarique |
| - Quercétine-3-O-rutinoside (rutine) | - Acide caféique |
| - Acide dicaféylquinique et ses isomères | - Acide vanillique |
| - Acide chlorogénique | - Acide férulique |
| - Quercétine-di-(rhamnohexoside) | - Acide hydroxycinnamique et dérivés |
| - Quercétine-di-rhamno-(hexoside) | (STEPHEN INBARAJ B. <i>et al.</i> , 2010) |
| - Kaempférol-3-O-rutinoside | |
| - Isorhamnétine-3-O-rutinoside | |

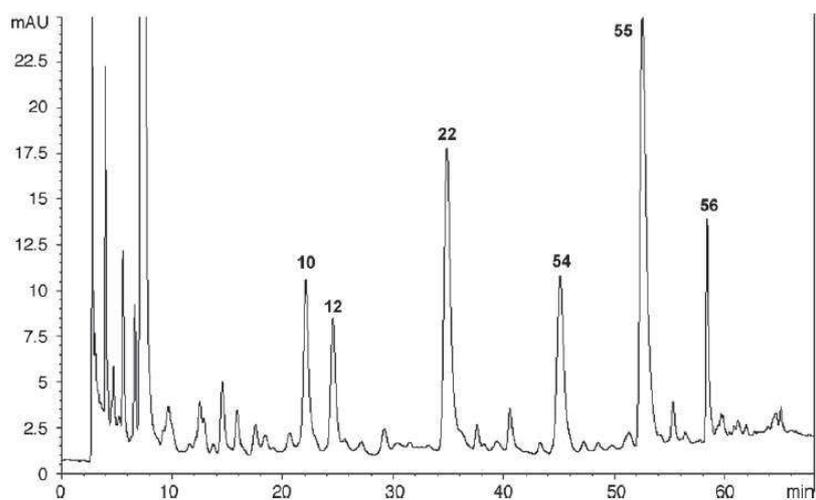


Figure 89 : Mise en évidence des composés phénoliques de *Lycium barbarum* L. : chromatogramme HPLC (STEPHEN INBARAJ B. *et al.*, 2010)

Les pics observés correspondent aux acides phénoliques suivants : (STEPHEN INBARAJ B. *et al.*, 2010)

Peak no.	Compound	Retention time (t_R , min)
10	Caffeic acid	22.03
12	Chlorogenic acid	24.50
22	p-Coumaric acid	34.82
54	Ferulic acid	45.03
55	Hydroxycinnamic acid derivatives	52.47
56	Hydroxycinnamic acid derivatives	58.35

Figure 90 : Acides phénoliques de *Lycium barbarum* L. (STEPHEN INBARAJ B. *et al.*, 2010)

Les composés suivants ont été identifiés grâce au couplage au spectre de masse : (STEPHEN INBARAJ B. *et al.*, 2010)

Peak no.	Compound
5	Dicaffeoylquinic acid
8	Dicaffeoylquinic acid
9	Vanillic acid ^c
10	Caffeic acid ^c
12	3-Caffeoylquinic acid (Chlorogenic acid) ^f
15	Quercetin-di-(rhamno)hexoside
16	Quercetin-rhamno-di-hexoside
18	Dicaffeoylquinic acid
22	p-coumaric acid ^c
27	Quercetin-rhamno-di-hexoside
46	Quercetin-di-(rhamno)-hexoside
48	Quercetin-rhamno-di-hexoside
49	Quercetin-3-O-rutinoside (Rutin) ^f
51	Kaempferol-3-O-rutinoside ^c
52	Isorhamnetin-3-O-rutinoside

Figure 91 : Composés phénoliques de *Lycium barbarum* L. (STEPHEN INBARAJ B. *et al.*, 2010)

Dans une autre étude réalisée par séparation par chromatographie liquide haute performance, les polyphénols identifiés coïncident avec ceux énoncés précédemment. (WANG C. C. *et al.*, 2010)

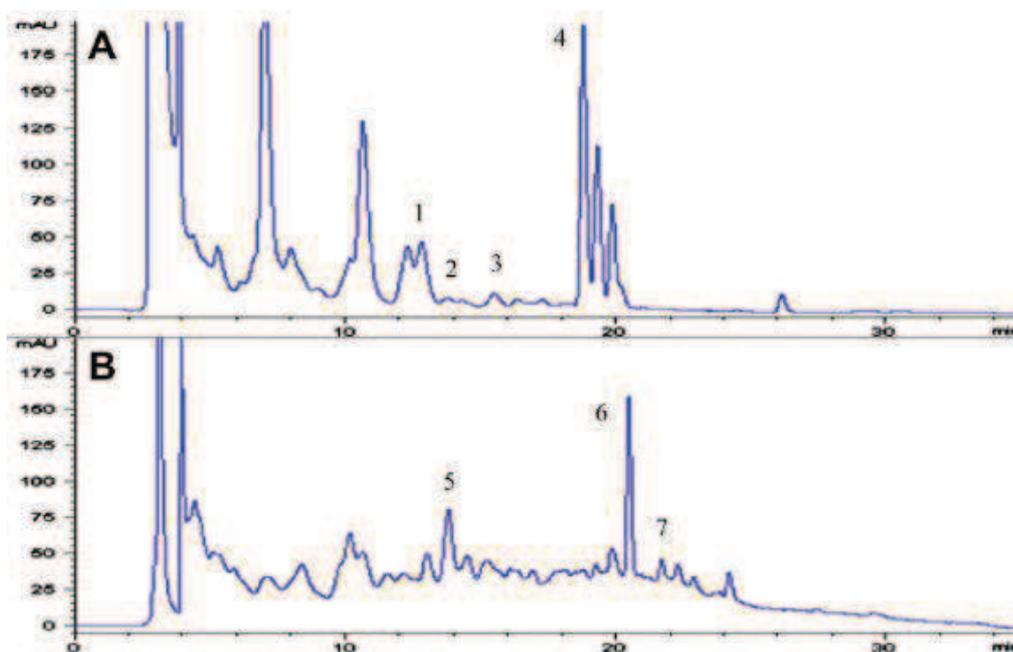


Figure 92 : Chromatogrammes HPLC des acides phénoliques (A) et des flavonoïdes (B) isolés à partir de fruits de *Lycium barbarum* L. (WANG C. C. *et al.*, 2010)

Les pics obtenus sur le chromatogramme (A) révèlent la présence d'acides phénoliques : acide chlorogénique (1), acide cafeoylquinique (2), acide caféique (3) et acide p-coumarique. Le chromatogramme (B) révèle la présence de flavonoïdes : diglycoside de quercétine (5), rutine (6), et kaempférol-3-O-rutoside (7). (WANG C. C. *et al.*, 2010)

- Minéraux et Oligoéléments

Dans une analyse où les teneurs minérales de superfruits exotiques étaient étudiées, des produits à base de *Lycium barbarum* L. sous différentes formes (baies séchées, jus, capsules, mixture) ont été analysés au spectromètre de masse, couplé à un plasma inductif (ICP-MS). Les taux les plus importants en minéraux relevés dans les baies, correspondaient au potassium et au sodium avec des concentrations respectives de 13 à 17 et 3,8 à 7,1 mg par gramme de baies fraîches. Leurs concentrations en sels minéraux et en oligoéléments diminuent selon l'ordre suivant : K > Na > P > Mg > Ca > Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Mo > Co. (LLORENT-MARTINEZ E. J. *et al.*, 2013). Les oligoéléments principaux du Goji sont le fer, le zinc et le sélénium.

Le tableau ci-dessous est issu des ANNEXES 2 et 3, et répertorie les valeurs nutritionnelles en minéraux et en oligoéléments pour 100 g de baies de Goji séchées :

GOJI	MINERAUX (mg)					OLIGOELEMENTS (mg)*					
	Ca	Mg	P	K	Na	Fe	I	Cu	Zn	Mn	Se(μ g)*
	112	109	178	1000	-	9	-	1,1	1,8	1	50

Figure 93 : Principaux minéraux et oligo-éléments présents dans le Goji

Certaines huiles essentielles et autres acides gras de *Lycium barbarum* L. ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse, reliée à un spectre de masse. L'acide hexadécanoïque, l'acide linoléique, le β -élémane (sesquiterpène), l'acide myristique et l'hexadécanoate d'éthyle ont été identifiés parmi les principaux constituants de *Lycium barbarum* L. (ATLINTAS A. *et al.*, 2006)

- Glycérogalactolipides

Une série de 15 glycérogalactolipides ont été récemment isolés dans le fruit de *Lycium barbarum* L.. Ces molécules apolaires sont toutes composées d'au moins une partie glycérol et d'une partie osidique composée d'un galactose cyclisé (sous forme de pyrannose). Elles sont substituées au niveau des fonctions hydroxyles par des groupements lipidiques (R_1 , R_2 , et R_3 sur la Figure 94). (GAO Z. *et al.*, 2008)

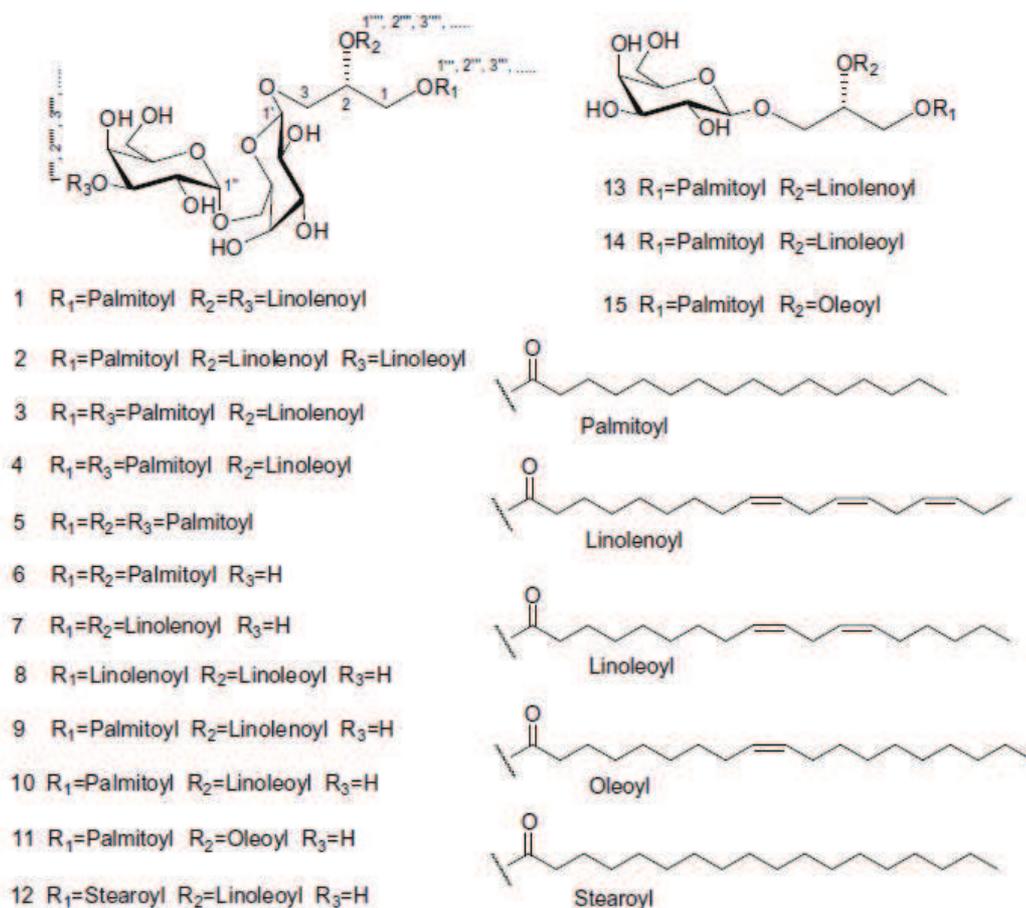


Figure 94 : Glycérogalactolipides de la baie de *Lycium barbarum* L. (GAO Z. *et al.*, 2008)

Parmi les substituants lipidiques (illustrés à droite sur la Figure 94), l'acide palmitique et l'acide stéarique (saturés) et les acides linoléique, linolénique, et oléique (insaturés) ont été identifiés. (GAO Z. *et al.*, 2008)

- Acides aminés

Parmi les acides aminés protéinogènes libres de *Lycium barbarum* L., la proline représente le constituant majeur. Le fruit renferme également des acides aminés non protéinogènes tels que la taurine, l'acide γ -amino-butérique, et la bétaine (triméthylglycine). (AHMAD V. U. et SULTAN M. A., 1980 ; POTTERAT O., 2010)

2. Autres organes de *Lycium barbarum* L.

→ Les feuilles de *Lycium barbarum* L. sont utilisées sous forme d'alcoolature ou d'infusion. Les concentrations les plus fortes en constituants actifs sont dans les jeunes pousses. Ces dernières auraient des propriétés expectorantes, antispasmodiques, modératrices du système parasympathique et antioxydantes. On peut trouver du thé vert de Goji fait à partir d'une greffe de Goji sur du thé vert, donnant des feuilles possédant 95% des valeurs nutritionnelles de *Lycium barbarum* L. Elles renferment divers composés tels que des flavonoïdes (quercétine, kaempférol, rutine, nicotiflorine et isoquercitrine) mais aussi d'autres molécules comme l'acide vanillique, l'acide salicylique et l'acide nicotinique. (MAITRE M., 2011)

→ Selon la médecine traditionnelle chinoise, l'écorce des racines serait utilisée comme antibactérien, sous forme d'infusion ou de poudre. Cette écorce agirait également comme antipyrétique et apaiserait la toux. Cette partie serait utilisée pour d'autres indications, telles que les hémorragies internes, la tuberculose, l'épistaxis et l'asthme. Toutes ces propriétés s'expliquent par une richesse en composés phytochimiques tels que des peptides cycliques, un glycoside dérivé du tryptophane, des dérivés nitrogénés, des alcaloïdes, des composés phénoliques, de l'apigénine et des terpénoïdes. (MAITRE M., 2011)

→ Dans les fleurs, de la diosgénine, du β -sitostérol, et du lanostérol ont été retrouvés. (POTTERAT O., 2010)

V ANALYSE COMPAREE DU GOJI ET AUTRES SUPERFRUITS

Dans une étude récente, les teneurs minérales de certains superfruits exotiques ont été analysées et comparées. Parmi les fruits étudiés, figuraient le Goji, la grenade, le chia (*Salvia hispanica* L.), l'açaï et le mangoustan (*Garcinia mangostana* L.). Ces fruits étaient analysés sous différentes formes (le jus, les baies, les graines, et les capsules). Les concentrations des minéraux relevées ont été calculées par spectrométrie de masse, couplé à un plasma inductif. Parmi les résultats obtenus, les concentrations minérales les plus élevées dans les jus, étaient celle du Goji et du chia. En conclusion de cette étude, la consommation de 20 g par jour de baies de Goji séchées apporterait des apports journaliers recommandés en cuivre et potassium et 5 à 10 % pour les autres minéraux (par rapport aux apports journaliers recommandés). Il serait préférable pour des raisons d'assimilation, de consommer le Goji sous forme de baies plutôt que de jus. (LLORENT-MARTINEZ E. J. *et al.*, 2013). Les tableaux situés en ANNEXE 1, 2 et 3, récapitulent les teneurs nutritionnelles chiffrées disponibles des fruits étudiés.

TROISIEME PARTIE

Lycium barbarum L. : POUVOIR ANTIOXYDANT- LIMITES D'UTILISATION

Depuis ces dernières années, le *Lycium barbarum* L., surnommé «fruit de la longévité » connaît un véritable engouement scientifique. Les études à son sujet se multiplient, confirmant son potentiel thérapeutique dans le ralentissement du vieillissement cellulaire. Ces bienfaits s'expliquent par la richesse et la diversité de ses composés chimiques, dont certains particulièrement antioxydants (polysaccharides spécifiques). (réf.22)

I RAPPEL SUR LE STRESS OXYDATIF

Les dysfonctionnements métaboliques et le vieillissement sont accélérés par un excès de « stress oxydatif ». Nous rappellerons par quel mécanisme celui-ci agit sur l'organisme, afin de comprendre l'intérêt thérapeutique des fruits de Goji.

En 1956, le chercheur américain Denham Harman émet l'hypothèse que le vieillissement serait la conséquence de dommages moléculaires et cellulaires, provoqués par les espèces réactives de l'oxygène : ERO. (DELATTRE J. *et al.*, 2007) Le stress oxydant est défini comme un déséquilibre entre les systèmes oxydants (radicaux libres) et les capacités antioxydantes (enzymatiques ou non enzymatiques) d'un organisme, d'une cellule ou d'un compartiment cellulaire. Ces deux phénomènes peuvent être associés. (BAROUKI R., 2006 ; MEDART J., 2009).

L'organisme est soumis au vieillissement naturel lié à l'âge, mais également à diverses attaques du quotidien favorisant une oxydation excessive. Parmi ces facteurs, on peut citer l'exposition aux radiations ionisantes (dues aux rayons ultra-violets (UV) du soleil ou les radiations artificielles), la pollution, le stress, le tabac, l'alcool, certains médicaments, le contact avec des solvants, des pesticides ou de l'amiante, certaines maladies chroniques comme le diabète ou la maladie de Crohn. Le stress oxydant est également favorisé par le sport en excès ou par des processus entraînant une surcharge des réactions de détoxification hépatique, lors de pertes de poids importantes par exemple. (MEDART J., 2009) Nous verrons qu'une alimentation déséquilibrée peut aussi s'avérer comme un facteur aggravant. (*cf.* II.2)

1. Molécules mises en jeu

La chaîne respiratoire est une voie métabolique, formée de 5 complexes enzymatiques et localisée dans la membrane interne des mitochondries. Elle permet l'oxydation de coenzymes transporteurs d'atomes d'hydrogène ou d'électrons, couplée à la phosphorylation de l'ADP en ATP, en présence d'oxygène (par la respiration). (KOECHLIN-RAMONATXO C., 2006)

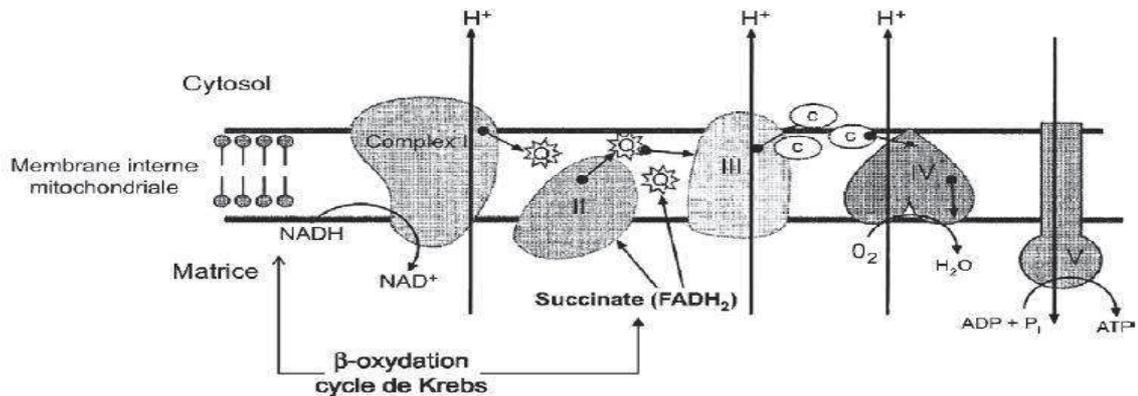


Figure 95 : L'oxygène moléculaire dans la phosphorylation oxydative (KOECHLIN-RAMONATXO C., 2006)

Dans les conditions physiologiques, 2 à 5 % de l'oxygène respiratoire, utilisé dans les mitochondries, sont partiellement réduits par des électrons et s'échappent des transporteurs de la chaîne mitochondriale. (MEDART J., 2009)

Le dioxygène (O₂), dont l'oxygène atmosphérique que nous respirons (20 % de l'atmosphère), possède une structure di-radicalaire dans son état fondamental. Deux électrons célibataires occupent son orbitale externe, l'orbitale de plus haute énergie. Ils sont représentés en rouge sur la Figure 96. (DELATTRE J. *et al.*, 2007 ; VERCAUTEREN J., 2013)

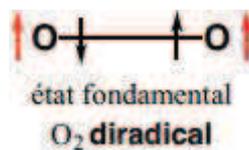


Figure 96 : L'oxygène à l'état triplet (VERCAUTEREN J., 2013)

La molécule peut former des espèces partiellement réduites en arrachant des électrons autour d'elle, entraînant la formation en chaîne de nouveaux radicaux libres. L'oxygène peut agir également comme un réducteur, en cédant un électron non apparié. L'équilibre de l'oxygène est très fragile. Les cellules humaines y sont constamment exposées.

L'ensemble des espèces réactives de l'oxygène (ERO) désigne généralement les radicaux libres et leurs précurseurs. Toutes sont des formes activées de l'oxygène et sont très réactives. On parle de stress oxydatif lorsque la production endogène ou exogène de radicaux libres produits, dépasse les capacités antioxydantes des cellules ou des tissus de l'organisme qu'ils traversent. (FAVIER A., 2006 ; VERCAUTEREN J., 2013)

Un radical libre peut être défini par une espèce chimique possédant un ou plusieurs électrons non appariés sur sa couche externe. Tous les radicaux libres du stress oxydatif comportent un électron célibataire sur un atome d'oxygène de leur couche externe. Ils sont fortement instables et peuvent appairer leur électron avec des molécules plus stables. Un composé est stable lorsque les électrons de la couche externe sont appariés deux à deux. (DELATTRE J. *et al.*, 2007 ; VERCAUTEREN J., 2013)

On peut distinguer deux formes principales activées de l'oxygène. L'une est produite par l'excitation des photons lumineux des rayons ultraviolets (UV) sans transfert d'électrons, et l'autre est constituée de formes issues de réductions radicalaires : (DELATTRE J. *et al.*, 2007 ; VERCAUTEREN J., 2013)

Les espèces réactives de l'oxygène sont générées par des réductions univalentes séquentielles illustrées dans la Figure 97.

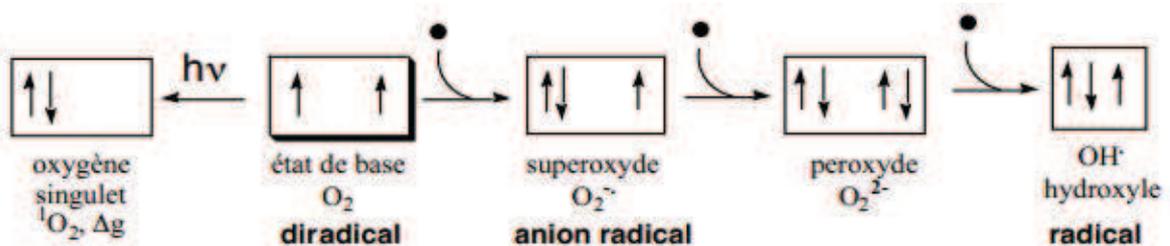


Figure 97 : Configurations électroniques de l'oxygène et de ses différentes formes activées (VERCAUTEREN J., 2013)

Lorsque l'oxygène de l'organisme capte un électron (en cas d'apport énergétique suffisant, fuite des mitochondries ou oxydases), cette réaction conduit à la formation du chef de file des espèces réactives de l'oxygène (ERO) par mono-réduction : l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$). Cet anion va générer par chaînes d'oxydoréductions, la formation d'espèces très réactives. Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) non radicalaire, mais à forte toxicité, est généré par l'apport d'un second électron et par combinaison avec 2 ions hydrogène (H^+). Les radicaux hydroxyles ($\cdot OH$) sont formés par réduction supplémentaire (par contact entre ions ferreux et peroxyde d'hydrogène ou par l'interaction entre les superoxydes et l'oxyde nitrique, via la formation de peroxynitrites ($ONOO^-$)). (VERCAUTEREN J., 2013) (réf.7)

Les radicaux libres du stress oxydant sont aussi : l'oxygène singulet (1O_2), l'ozone (O^3), les radicaux perhydroxyles ($HO_2\cdot$), peroxydes ($RO_2\cdot$) et alkoxydes ($RO\cdot$) et pour certains auteurs le monoxyde d'azote, sous sa forme radicalaire ($NO\cdot$) et les peroxynitrites ($ONOO^-$). (KOECHLIN-RAMONATXO C., 2006 ; DELATTRE J. *et al.*, 2007 ; GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003)

→ L'oxygène singulet (1O_2), forme « excitée » de l'oxygène moléculaire, est généré sous l'apport d'énergie produit par les rayons UVA et UVB (différant par leurs longueurs d'onde UVA : 320-400 nm et UVB : 290- 320 nm) sur le dioxygène. Il est très instable et très réactif mais de durée de vie courte.

→ L'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), possède une faible réactivité vis-à-vis des composés biologiques mais une durée de vie longue, lui permettant d'atteindre ses cibles (Superoxyde Dismutase (SOD), les ions ferriques ou encore la vitamine C). Lorsque ces radicaux réagissent avec le peroxyde d'hydrogène ou le monoxyde d'azote, ils produisent respectivement des radicaux toxiques, hydroxyles ($\cdot OH$) et peroxynitrites ($ONOO^-$).

→ Les radicaux hydroxyles ($\cdot OH$), sont les radicaux les plus délétères et les plus toxiques lors d'un stress oxydant. Ils possèdent une durée de vie limitée mais sont extrêmement réactifs. Ils peuvent arracher un électron, un hydrogène ou bien s'ajouter aux doubles liaisons. Leurs cibles regroupent des molécules organiques et inorganiques (Acide Désoxyribonucléique (ADN), protéines, lipides, acides aminés, sucres et minéraux). Les radicaux hydroxyles sont produits lors de réaction de Fenton ou Haber Weiss en présence de cations métalliques. (Figure 98).

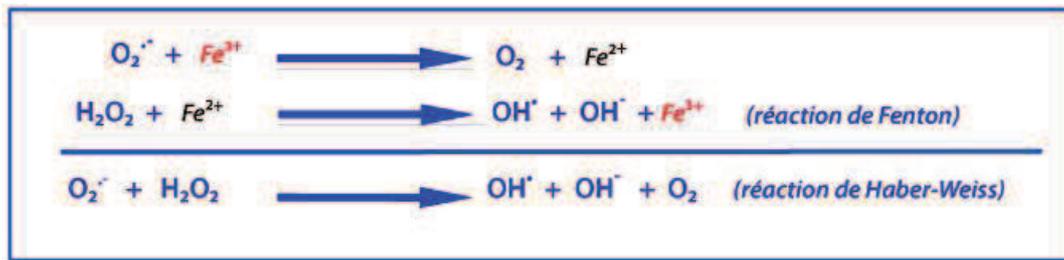


Figure 98 : Formation des radicaux hydroxyyles, (réf.7)

→ Le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), pénètre facilement les membranes biologiques et peut engendrer la dégradation des protéines, la libération de fer ferreux ainsi que l'oxydation de l'acide désoxyribonucléique (ADN), des lipides, de radicaux thiols et d'enzymes. En forte concentration, ces radicaux génèrent par réaction de Fenton (en présence de sels métalliques), des radicaux hydroxyyles ($\cdot\text{OH}$) et des anions (OH^-). (réf.7)

Ces réactions radicalaires peuvent s'articuler en trois phases distinctes ; la phase d'initiation, la phase de propagation et la phase de terminaison. (MADDALUNO J. *et al.*, 2013) (réf.17)

2. Localisation des espèces réactives de l'oxygène

→ Origine extracellulaire : les espèces réactives de l'oxygène (ERO) peuvent être produites directement par les rayons ultraviolets (UV), dans les couches externes de notre épiderme et par des xénobiotiques. Elles peuvent également être formées au niveau extracellulaire, lors d'excès de sucres réducteurs comme le glucose ou le fructose.

→ Origine endocellulaire : les espèces réactives de l'oxygène (ERO) peuvent provenir des mitochondries, du réticulum endoplasmique, de la membrane plasmique, des peroxysomes et du cytoplasme. (BAROUKI R., 2006)

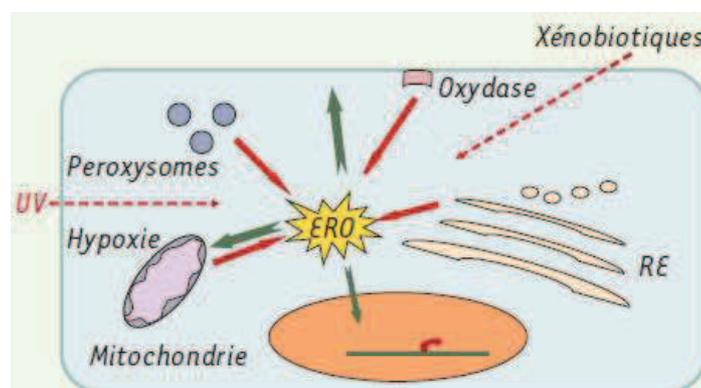


Figure 99 : Origine des espèces réactives de l'oxygène (BAROUKI R., 2006)

Au niveau intracellulaire, environ 5% de l'oxygène n'oxydant pas le glucose au sein des mitochondries (à l'origine de la production d'adénosine triphosphate (ATP)), génère par ces infimes fuites la production de nouveaux radicaux hydroxyle, peroxyde, anions superoxydes, mais aussi hypochlorites, peroxydite et chloronium. (VERCAUTEREN J., 2013)

La production basale des radicaux libres reste néanmoins indispensable à de nombreuses fonctions et ne doit pas être supprimée. Son apport en quantité limitée permet certains rôles physiologiques. Les leucocytes peuvent détruire notamment les bactéries grâce à une production intracellulaire d'espèces réactives de l'oxygène (ERO). Ces radicaux entraînent des réponses adaptatives, telles que la croissance cellulaire ou la surexpression d'enzymes oxydants. En revanche, la production excessive d'ERO est à l'origine de nombreux dommages et favorise de multiples pathologies. (MEDART J., 2009)

3. Stress oxydatif et désordres moléculaires

Lorsque les espèces réactives de l'oxygène sont libérées en quantité excessive dans l'organisme, elles peuvent être à l'origine de dégâts cellulaires irréversibles au niveau des lipides, des acides nucléiques et des protéines. (MEDART J., 2009)

3.1. Peroxydation lipidique

Les lipides des membranes cellulaires, subcellulaires et mitochondriales sont une cible majeure d'attaques radicalaires. La peroxydation lipidique correspond aux oxydations radicalaires des acides gras par des phénomènes de cascades métaboliques. L'espèce oxygénée réactive réagit en arrachant un hydrogène au niveau d'un acide gras (L), pour former un radical alkyle (L \cdot) (phase d'initiation). En présence d'oxygène, il y a formation d'un radical alkyle peroxyde (LOO \cdot) qui peut à son tour oxyder un acide gras (phase de propagation). (Figure 100) (réf.7)

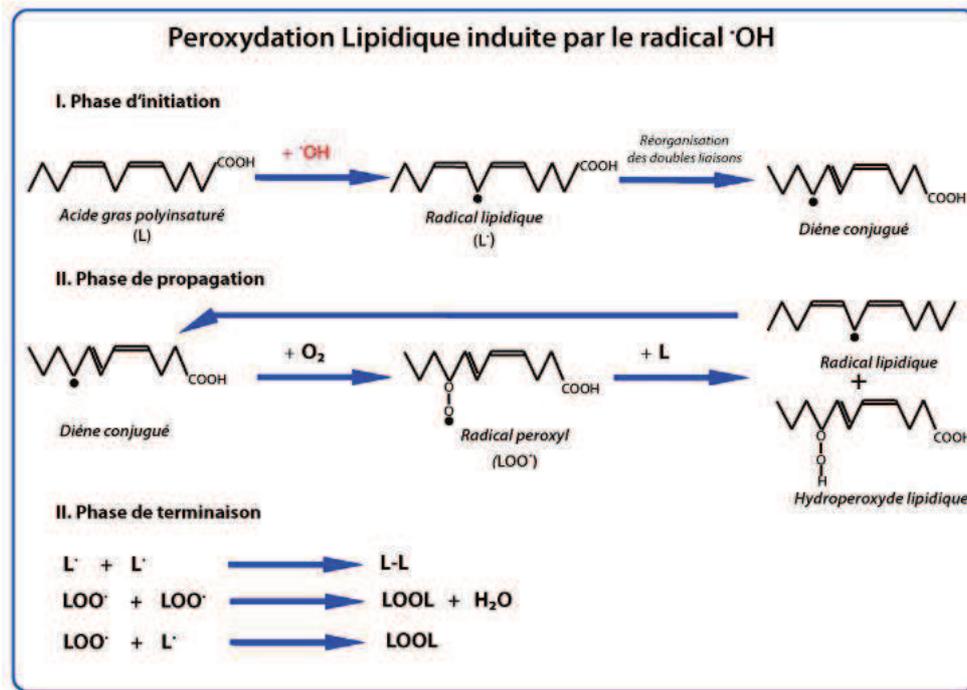


Figure 100 : Peroxydation lipidique (réf.7)

Il en résulte la formation de nombreux produits primaires (hydroperoxydes) et secondaires (aldéhydes) réagissant avec les protéines et l'Acide désoxyribonucléique (ADN). Ces étapes correspondent aux trois phases des réactions radicalaires, la Figure 100 illustre la peroxydation lipidique dans le cas d'une attaque par un radical hydroxyle.

La réaction radicalaire est stoppée par la phase de terminaison, soit par la réaction de 2 radicaux ou l'intervention d'un antioxydant, soit par la dégradation des hydroperoxydes en aldéhydes volatils. (HENNEBELLE T. *et al.*, 2004) Ces derniers sont responsables, entre autres, de l'odeur liée au rancissement des graisses alimentaires. Les acides gras alimentaires sont susceptibles d'être oxydés par le même phénomène, altérant les qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits. Les acides gras polyinsaturés sont d'autant plus sensibles que leur nombre de doubles liaisons est grand. (CHANFORAN C., 2010)

Les produits de la peroxydation lipidique sont présents en quantités anormales lors de pathologies chroniques telles que l'athérosclérose. Ces réactions sont à l'origine *in vivo* d'une désorganisation et d'une déstructuration membranaire, impliquées dans le processus de vieillissement. (CHANFORAN C., 2010 ; MAITRE M., 2011)

3.2. Restructurations de l'ADN

Le stress oxydatif agit aussi au niveau de l'Acide désoxyribonucléique (ADN) en provoquant des restructurations : échange ou perte de bases, cassure des brins, mutations, en particulier au niveau des mitochondries. Les bases nucléiques sont susceptibles d'être oxydées, conduisant entre autres, à la formation de la 8-oxo-guanine, responsable de mutations génétiques. (Figure 101) (BAROUKI R., 2006)

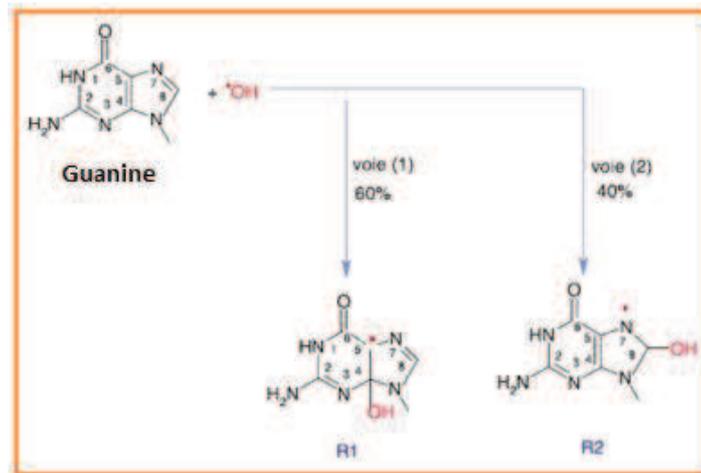


Figure 101 : Addition sur les doubles liaisons d'une base de l'ADN, la guanine, par les radicaux hydroxyles : deux radicaux libres R1 et R2 sont formés, ce dernier donnant naissance à la 8-oxo-guanine, un des principaux marqueurs du stress oxydant de l'ADN. (GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003)

Ces altérations nucléiques sont responsables de la modification de certains gènes, avec en conséquence la synthèse de protéines anormales. Ces modifications perturbent le cycle cellulaire, favorisant l'apoptose. (MAITRE M., 2011)

3.3. Oxydation protéique

Les protéines sont également la cible des espèces réactives de l'oxygène, en particulier au niveau de certains acides aminés (cystéine, méthionine, tyrosine). Les cations cuivriques (Cu^{2+}) et ferriques (Fe^{2+}) peuvent favoriser ces réactions. Ces oxydations entraînent la carbonylation des protéines (adjonction d'un groupe carbonyle) et leur dénaturation, les rendant inactives. (BAROUKI R., 2006 ; MAITRE M., 2011)

Le LDL cholestérol, (lipoprotéines de basse densité du cholestérol), peut être oxydé par les radicaux libres. Ces lipoprotéines ne sont alors plus reconnues et ne peuvent plus effectuer leur rôle de transporteur du cholestérol dans les membranes cellulaires. Ces protéines se localisent dans les vaisseaux où le cholestérol s'accumule, entraînant une agrégation de monocytes à l'origine des plaques d'athérome, favorisant le risque d'athérosclérose. (MEDART J., 2009)

Tous ces désordres moléculaires sont responsables par altération des liaisons cellulaires, par perte de l'intégrité cellulaire, voire par mort cellulaire, d'une accélération du processus de vieillissement et d'une recrudescence de pathologies de « civilisation ». Ces pathologies regroupent les maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer qui seraient favorisées par l'oxydation de l'ADN, des lipides et des protéines, entraînant une mort neuronale. Les pathologies cardiovasculaires comme l'athérosclérose, mais aussi les pathologies cancéreuses (par succession d'altération du matériel génétique), le diabète sucré, les allergies, les rhumatismes, et les troubles oculaires (cataracte, dégénérescence maculaire), sont également favorisées. (DELATTRE J. *et al.*, 2007 ; MEDART J., 2009 ; VERCAUTEREN J., 2013)

II ANTIOXYDANTS

L'ensemble des dommages radicalaires peut être limité en partie par l'action de molécules dites antioxydantes. Celles-ci empêchent les espèces réactives de l'oxygène (ERO) d'atteindre leurs cibles par différents mécanismes. Les antioxydants transforment les ERO en composés moins toxiques, empêchant les interactions entre les espèces chimiques ou bien encore en prévenant ou en réparant les lésions induites par les ERO. (GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003) (réf.7)

1. Systèmes naturels de défense antioxydante

Chaque être humain possède son propre potentiel antioxydant dans lequel les modes de vie, les habitudes alimentaires, les caractères génétiques, et l'environnement entrent en jeu.

Notre défense naturelle antioxydante (endogène), est constituée de systèmes enzymatiques (avec pour cofacteurs des oligoéléments) et moléculaires.

- Systèmes enzymatiques

→ La superoxyde dismutase (SOD), est le premier système de défense enzymatique. Ce dernier regroupe trois formes de métalloprotéines :

- superoxyde dismutase à manganèse (SOD-Mn), localisée dans la matrice et dans la membrane interne des mitochondries

- 2 formes de superoxyde dismutase associées au cuivre et au zinc (SOD-Cu-Zn) : l'une cytosolique et mitochondriale, et l'autre extracellulaire

Les SOD, induites dans la réponse face au stress oxydatif transforment les radicaux superoxydes ($O_2^{\cdot-}$) en peroxydes d'hydrogène (H_2O_2). Les radicaux superoxydes de l'espace intermembranaire des mitochondries en particulier, sont immédiatement dismutés par la SOD-Cu-Zn cytosolique, alors que la SOD-Cu-Zn extracellulaire protège les surfaces cellulaires et les protéines de la matrice contre ces radicaux. (MEDART J., 2009) (réf.7) Le peroxyde d'hydrogène formé est à son tour détruit par deux autres enzymes : la catalase et la glutathion peroxydase.

→ La catalase est une enzyme héminique constituée de 4 chaînes polypeptidiques. Elle exerce son activité en particulier dans les globules rouges, dans le foie et dans les reins.

Elle joue un rôle important dans la détoxification des peroxysomes en transformant les peroxydes d'hydrogène (H_2O_2) en eau (H_2O). (réf.7)

→ La glutathion peroxydase (GPx), est une enzyme sélénio-dépendante (Se-Gpx), mise en jeu dans la lutte contre les radicaux libres. Son activité nécessite la régénération de son cofacteur glutathion réduit (GSH), localisé dans le cytosol et dans les mitochondries. Ce système enzymatique neutralise les peroxydes d'hydrogène (H_2O_2) et les peroxydes lipidiques ($LOO\cdot$). (MEDART J., 2009) (réf.7)

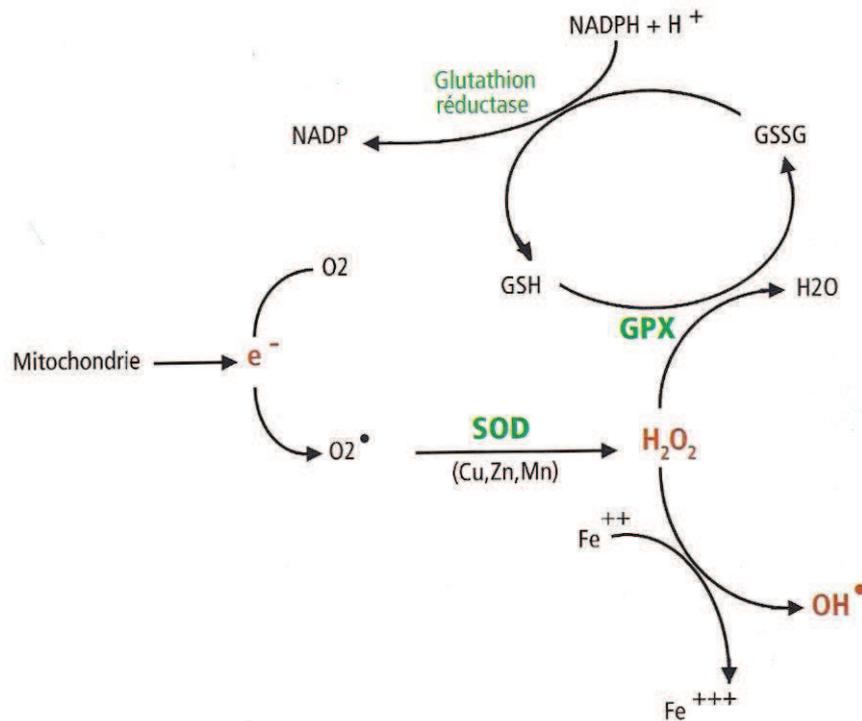


Figure 102 : Systèmes antioxydants enzymatiques : Superoxyde dismutase et Glutathion peroxydase (MEDART J., 2009)

- Oligoéléments

Certains oligoéléments apportés par l'alimentation sont des cofacteurs de l'activité de divers systèmes enzymatiques antioxydants (cf. PARTIE 3. II.1.). Parmi eux, les principaux acteurs sont le zinc, le sélénium et le manganèse.

→ Le zinc participe aux côtés du cuivre à la structure et à l'activité de la superoxyde dismutase au cuivre et au zinc (SOD-Cu-Zn), extracellulaire. Cet oligoélément contribue à limiter la production endogène des radicaux libres et protège de la diminution de la vitamine E. Une alimentation riche en zinc stimulerait également la production des métallothionéines, protéines riches en cystéine, capables de complexer le zinc en excès mais aussi le cuivre.

→ Le sélénium entre dans la constitution de la glutathion peroxydase au sélénium (Se-Gpx), participant au recyclage du glutathion et à la diminution de la peroxydation lipidique. Le sélénium interagit avec de nombreux métaux lourds, modulant leur toxicité. Associé aux vitamines C et E, cet oligoélément pourrait diminuer significativement l'incidence de certains cancers.

→ Le manganèse participe à l'activité de la superoxyde dismutase au manganèse (SOD-Mn) mitochondriale, en permettant la conversion de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène. (PASTRE J., 2005; OPARA E. C. et ROCKWAY S. W., 2006) (réf.24)

- Systèmes moléculaires

→ Le glutathion (GSH) est un tripeptide constitué de trois acides aminés (acide glutamique, cystéine et glycine). Il joue un rôle primordial dans la synthèse des protéines et des acides nucléiques, dans le transport des acides aminés et dans la détoxification cellulaire. Sa fonction thiol (SH) lui confère un rôle de réducteur (donneur d'électron ou d'hydrogène) vis-à-vis des radicaux hydroxyles ($\cdot\text{OH}$) et du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Il permet la réduction du peroxyde d'hydrogène en eau grâce à la glutathion peroxydase (Figure 102). Le glutathion permet également de chélater des ions cuivreux et ferreux (diminuant les réactions de Fenton). (GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003) (réf.7)

→ L'acide urique est formé par l'oxydation de l'hypoxanthine et de la xanthine par la xanthine oxydase. Il constitue un puissant piègeur des radicaux hydroxyles ($\cdot\text{OH}$), peroxydes ($\text{ROO}\cdot$) et nitroxydes ($\text{NOO}\cdot$). (réf.7)

On trouve également d'autres molécules antioxydantes comme l'acide lipoïque, l'ubiquinone ainsi que des protéines (ferritine, transferrine et céruléoplasmine). Celles-ci empêchent les métaux de s'activer pour former des espèces réactives oxygénées. (PINCEMAIL J. *et al.* 2002 ; UDANI J. K. *et al.*, 2011)

2. Antioxydants d'origine nutritionnelle

Les défenses naturelles peuvent être renforcées par des apports exogènes en antioxydants. La principale source d'approvisionnement de l'organisme en antioxydants est l'alimentation, d'origine végétale ou animale. Les fruits et les légumes en particulier, apportent de nombreuses molécules antiradicalaires telles que les vitamines E et C, les caroténoïdes, les polyphénols et certains oligoéléments. (PELT J.- M., 2009) (réf.7)

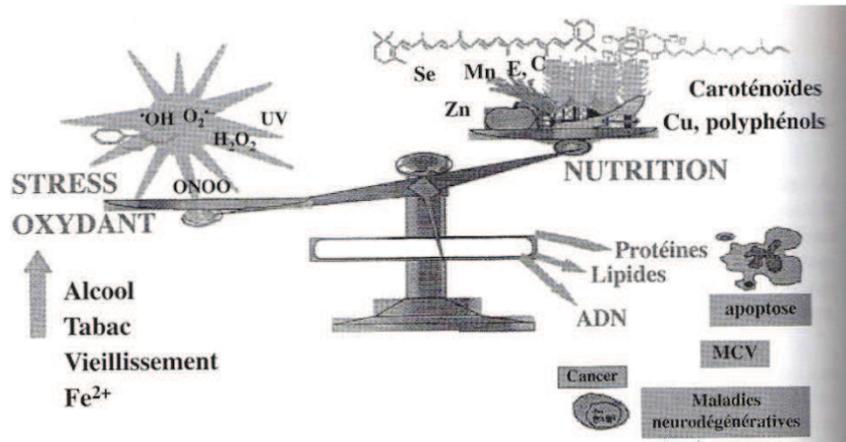


Figure 103 : Place des antioxydants d'origine nutritionnelle dans l'équilibre pro/antioxydants (DELATTRE J. *et al.*, 2007)

→ La vitamine E, en particulier sa forme la plus antioxydante l' α -tocophérol, agit aussi bien dans les lipoprotéines plasmatiques que dans les membranes cellulaires (*cf.* PARTIE 1, Vitamines). L'action principale des tocophérols est d'inhiber la peroxydation lipidique.

La vitamine E s'incorpore dans les membranes cellulaires et les protège de la peroxydation en neutralisant les radicaux lipidiques ; peroxydes, alkyles, et alcoyles ($\text{ROO}\cdot$). La vitamine E permet aussi la capture des radicaux superoxydes (forme protonée $\text{HO}_2\cdot$), hydroxyles ($\cdot\text{OH}$) et oxygènes singulets ($^1\text{O}_2$). (GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003) (réf.7) La figure ci-dessous illustre la réduction d'un peroxyde ($\text{ROO}\cdot$) par l' α -tocophérol, celui-ci oxydé en radical tocophéryle selon la réaction suivante : $\text{ROO}\cdot + \alpha\text{-TH} \rightarrow \text{RO}_2\text{H} + \alpha\text{-T}\cdot$ ($\text{ROO}\cdot$ = radical libre lipidique).

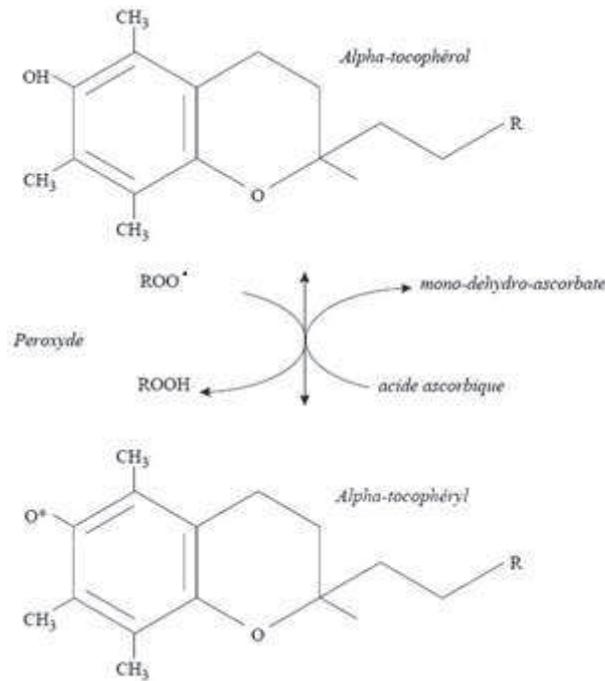


Figure 104 : Réduction d'un radical peroxyde au sein d'un acide gras par l' α -tocophérol (réf.52.a)

Le radical tocophéryle (α -tocophérol \cdot), très instable, est immédiatement transformé pour libérer un deuxième radical tocophéryle : α -T \cdot + ROO \cdot \rightarrow α -T-quinone + RO $_2$ H.

Les réactions de peroxydation ont lieu au niveau des double liaisons des acides gras. En cas d'ingestion de grandes quantités d'acides gras poly-insaturés, les besoins en vitamine E augmenteront. La vitamine C et le glutathion réagissent en synergie avec la vitamine E, en permettant sa régénération par réduction des radicaux tocophéryles. (réf.7, 52.a)

Cette propriété antioxydante confère aux tocophérols un rôle protecteur vis-à-vis de la lipoperoxydation des membranes cellulaires et mitochondriales, et également des parois vasculaires (particulièrement riches en vitamine E). Elle est aussi responsable d'une action anti-athérogène, liée à son activité antioxydante sur les lipoprotéines de basse densité (LDL). Les formes oxydées du cholestérol (en fortes concentrations dans les LDL), sont à l'origine des dépôts vasculaires formant les plaques d'athérome. (VASSON M.- P. *et al.*, 2007)

→ La vitamine C, sous sa forme ascorbate (Asch), est un très bon réducteur. Elle neutralise des radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles (OH \cdot) et superoxydes (O $_2^{\cdot-}$). Par blocage de la propagation du radical superoxyde, la vitamine C empêche de façon spécifique l'inactivation du fer ferreux (Fe $^{2+}$) et celle de la phosphatase 2B (PP2B ou calcineurine).

Cette enzyme joue un rôle majeur dans la synthèse de l'interleukine (IL₂) et de l'interféron γ (IFN γ), mis en jeu dans la défense de l'organisme. La vitamine C est également responsable de l'inhibition de la peroxydation lipidique membranaire, par synergie avec la vitamine E et le glutathion. La vitamine C restaure ces derniers selon les réactions suivantes : AscH + GS· → Asc·⁻ + GSH et AscH + αT· + Asc·⁻ + αTH (cf. figure ci-dessus) (GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003 ; VASSON M.- P. et JARDEL A., 2005) (52.a)

→ Les caroténoïdes jouent un rôle protecteur vis-à-vis du stress oxydatif en désactivant des espèces chimiques réactives telles que des radicaux peroxydes (ROO·) et radicaux alkyles (R·). Lors de cette réaction, les caroténoïdes sont alors convertis en radicaux stabilisés par des réactions de transfert (électrons ou atome d'hydrogène) ou d'addition électrophile. (Figure 105, dans le cas des radicaux peroxydes)



Figure 105 : Stabilisation des radicaux des caroténoïdes (CHANFORAN C., 2010)

Leur potentiel antioxydant dépend de la vitesse de réaction avec les radicaux libres, du radical impliqué, de l'environnement moléculaire et de la structure du caroténoïde. Les carotènes sont des piègeurs de radicaux plus efficaces que les xanthophylles. Tous sont capables de désactiver l'oxygène singulet (¹O₂), protégeant ainsi des dommages liés aux rayons ultra-violet de la lumière solaire.

La pression partielle en oxygène O₂ peut influencer le comportement antioxydant des caroténoïdes. Ceux-ci sont particulièrement actifs sous une faible teneur en dioxygène (O₂) (jusqu'à 0,1 mol/L) : le composé formé principalement est le ROO-CAR·, réagissant avec les radicaux ROO· pour former une espèce non radicalaire ou bien se décomposant pour former un époxyde de caroténoïde. (GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003 ; CHANFORAN C., 2010)

→ Les polyphénols possèdent un fort pouvoir réducteur et sont des donneurs d'atome d'hydrogène, ce qui leur permet de réagir rapidement avec les espèces réactives de l'oxygène. Parmi les composés phénoliques retrouvés principalement dans l'alimentation on peut citer la quercétine, l'acide caféique et les catéchines (Figure 106). (GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003)

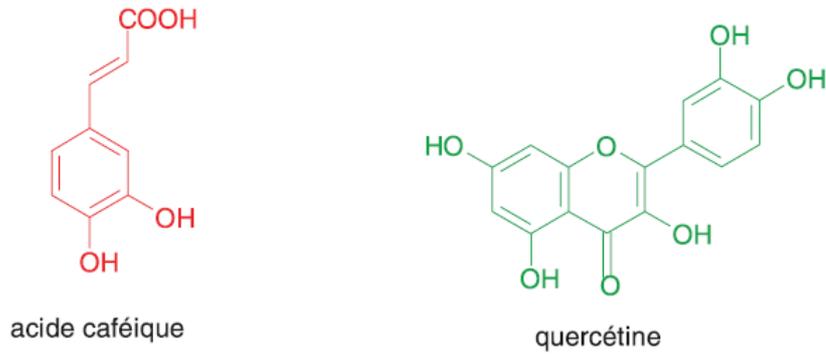


Figure 106 : Structure chimique de l'acide caféique et de la quercétine (GARDES-ALBERT M. *et al.*, 2003)

Selon leurs caractéristiques physico-chimiques, tous ces systèmes antioxydants, enzymatiques ou non, endogènes ou d'origine alimentaire, agissent sur différentes cibles cellulaires. Les substances liposolubles agiront préférentiellement au niveau des membranes cellulaires, alors que les substances hydrosolubles pourront agir dans le cytosol et/ou dans le milieu extracellulaire. Les différentes localisations cellulaires des antioxydants sont indiquées dans la Figure 107. (PASTRE J., 2005)

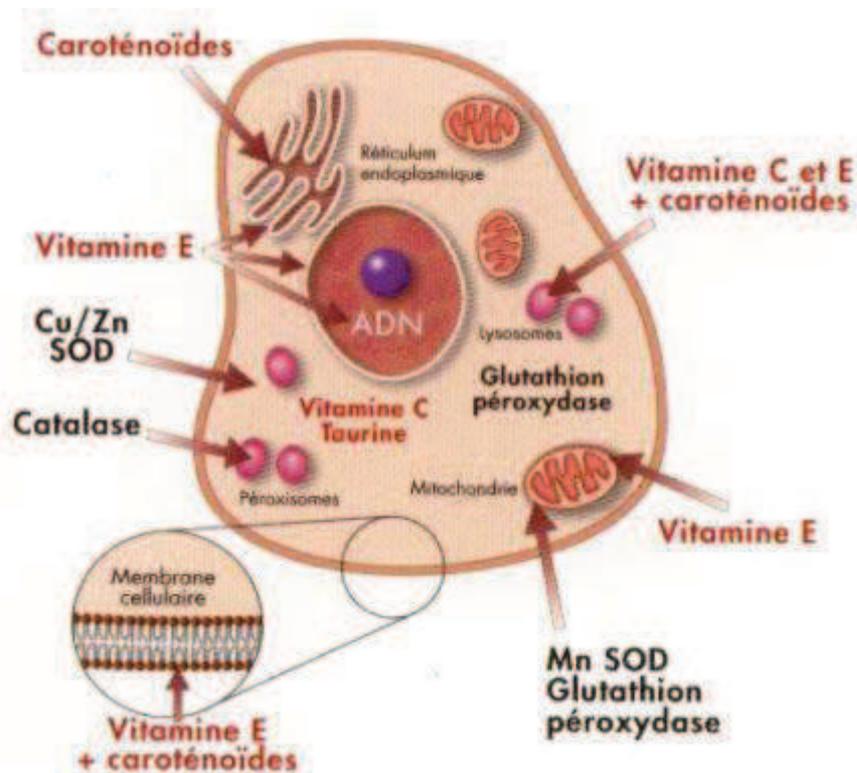


Figure 107 : Sites d'action des systèmes antioxydants endogènes et exogènes (PASTRE J., 2005)

III MESURE DU POUVOIR ANTIOXYDANT

Les méthodes de mesure du pouvoir antioxydant sont essentiellement classées en 2 catégories ; celles basées sur le transfert de l'atome d'hydrogène (méthode ORAC : capacité d'absorption des radicaux oxygénés) et celles basées sur le transfert d'électrons (méthode TEAC : capacité antioxydante en équivalent trolox). Bien que la méthode TEAC soit moins coûteuse et plus simple que la méthode ORAC, elle donne parfois une sous-estimation de la capacité antioxydante de produits alimentaires de nature plus complexe. (ZULUETA A. *et al.*, 2009)

1. Méthode ORAC : capacité d'absorption des radicaux oxygénés

La méthode ORAC créée aux États-Unis par l'Institut National de Santé, est une méthode utilisée par le Ministère de l'agriculture des États-Unis (USDA). Elle sélectionne des aliments possédant un fort pouvoir antioxydant. Cette mesure relie la quantité de radicaux oxygénés piégés à celle en antioxydants présents dans l'aliment testé. Cette méthode sensible et standardisée est adaptée aux matrices hydrophiles et lipophiles. Elle fait de par sa pertinence biologique, la méthode de choix pour quantifier le potentiel antiradicalaire de certains aliments.

Cette méthode est basée sur une analyse spectrofluorimétrique, qui mesure la dégradation de la fluorescéine en présence d'un radical libre stable, l'AAPH (2,2'-azobis-(2-amidinopropane) dihydrochloride). La présence d'un antioxydant entraîne le ralentissement de la dégradation de la fluorescéine (par oxydation et déstructuration d'une protéine) et un déclin de l'intensité de sa fluorescence. Ce dernier est quantifié par un fluorimètre. (ZULUETA A. *et al.*, 2009 ; EVERSLEY T. C., 2012)

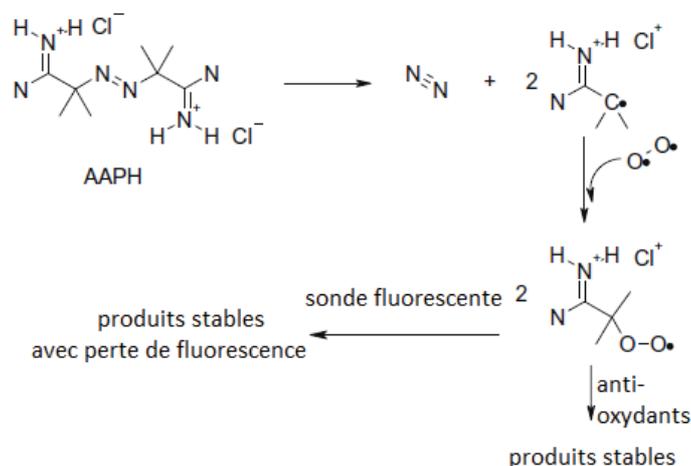


Figure 108 : Réaction du radical libre AAPH lors de la méthode ORAC (ZULUETA A. *et al.*, 2009)

Des courbes de décroissance de la fluorescence en fonction du temps sont tracées. (Figure 109). Les mesures des aires sous les courbes (en présence d'antioxydants ou non), sont calculées. Le potentiel antioxydant d'un composé est quantifié par rapport à l'action d'un antioxydant de référence le Trolox® (acide 6-hydroxy-2,5,7,8-tétraméthylchroman-2-carboxylique), analogue hydrosoluble de la vitamine E. (EVERSLEY T. C., 2012, MAITRE M., 2011)

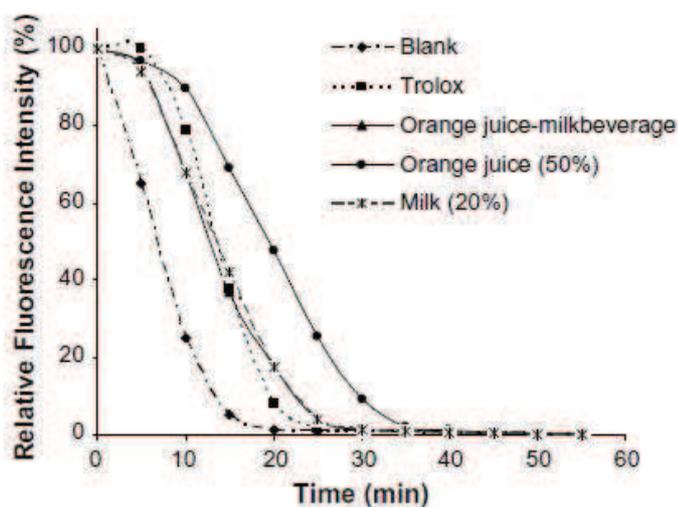


Figure 109 : Courbes de décroissance de la fluorescence au cours d'un test ORAC (ZULUETA A. et al., 2009)

Ces courbes résultent ici d'une étude portant sur l'analyse de jus et de boissons. Le calcul des aires sous la courbe détermine le pourcentage d'inhibition et le temps d'inhibition d'une réaction. L'inconvénient de cette méthode est qu'elle tient compte uniquement des radicaux peroxydes. Les chiffres obtenus sont exprimés en unités ORAC, équivalentes à des micromoles de TE (équivalents trolox) pour une quantité d'aliment testé en grammes. En France, l'apport journalier recommandé est compris entre 3000 et 5000 unités ORAC. (EVERSLEY T. C., 2012, MAITRE M., 2011)

2. Méthode TEAC : capacité antioxydante en Equivalent Trolox

La méthode TEAC (ou test ABTS), est un test de décoloration basé sur la capacité d'un antioxydant à piéger le radical (cationique) ABTS^{•+} (2,2 azinobis(acide 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique)). Ce radical possède une couleur caractéristique bleue-verte avec des maxima d'absorbance à 645, 734 et 815 nm (par spectrophotométrie). La présence d'antioxydants entraîne la formation d'ABTS⁺ non radicalaire (par piégeage d'un proton) et une décoloration (et une diminution de l'absorbance), proportionnelle à la concentration en antioxydants présents.

La valeur TEAC correspond à la concentration (en mg/l ou en mmol/l) de Trolox, ayant la même activité que la concentration unitaire du composé à tester. Les résultats TEAC restent difficiles à comparer avec d'autres études car cette méthode n'est pas standardisée. Elle fournit une première approche quantitative, en termes d'ordre de classement d'aliments antioxydants. (ZULUETA A. *et al.*, 2009)

IV MISE EN EVIDENCE DE L'ACTIVITE ANTIRADICALAIRE DU GOJI

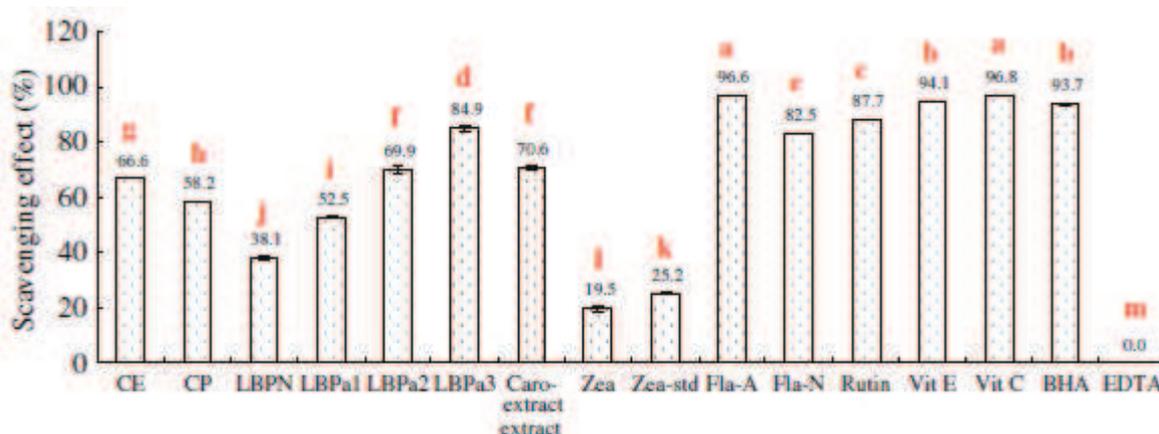
1. Antioxydants du Goji

Le Goji est aujourd'hui considéré comme un des leaders, en termes de superfruits, pour son éventail de nutriments antioxydants. Ce fruit renferme les vitamines C et E, des caroténoïdes et divers composés phénoliques en forte concentration (cf. PARTIE 2, IV.). Il contient également des polysaccharides qui lui sont propres, lui conférant un rôle particulier contre certains processus entrainés par le stress oxydatif et dans diverses pathologies liées au vieillissement.

- Actions antioxydantes des composés du Goji (caroténoïdes, polyphénols et polysaccharides)

→ L'activité antioxydante des composés de *Lycium barbarum* L. a été analysée par le test au radical libre DPPH· (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle). (WANG C. C. *et al.*, 2010) L'efficacité d'un antioxydant se mesure en quantifiant la diminution de la coloration bleue, due à une recombinaison des radicaux DPPH·. Celle-ci est mesurable par méthode de spectrophotométrie (à 515-518 nm). (POPOVICI V. *et al.*, 2009; MAITRE M., 2011; PUNGIER V., 2012)

Le diagramme ci-dessous rapporte les résultats obtenus en pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH· en fonction du composé testé :



CE : Extrait pur de polysaccharides ; CP : polysaccharides purs ; LBPn : Fraction neutre de polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (LB) ; LBPa₁, LBPa₂, LBPa₃ : Fraction acide de polysaccharides de LB éluée avec 0,1 M, 0,26 M et 0,6 M de NaCl, Caro-extract : extrait de caroténoïdes ; Zea : Fraction de zéaxanthine ; Zea-std : Zeaxanthine standard ; Fla-A : flavonoïdes (groupes acides) ; Fla-N : flavonoïdes (groupes neutres) ; Rutin : rutine ; Vit E : vitamine E ; Vit C : vitamine C ; BHA : hydroxynisole butylé (additif alimentaire) ; EDTA : acide éthylène diamine tétraacétique

Figure 110 : Piégeage du radical DPPH· par les antioxydants du Goji (WANG C. C. *et al.*, 2010)

Certains composés sont majoritairement responsables de cette activité : la vitamine C (96,8%), suivie des acides flavonoïques (96,6%), de la vitamine E (94,1%), de la rutine (87,7 %), et de la fraction acide LBP a 3 (84,9 %). (WANG C. C. *et al.*, 2010)

→ Cette étude a également permis d'analyser l'activité des antioxydants de *Lycium barbarum* L. sur les radicaux superoxydes $O_2^{\cdot-}$. Ces derniers sont neutralisés essentiellement par la rutine (28,3 %) et une fraction acide LBP a₃ (14,1 %). Les caroténoïdes, et certains polysaccharides (LBP a₂) de *Lycium barbarum* L., contribuent également à ce mécanisme (Figure 111). (WANG C. C. *et al.*, 2010)

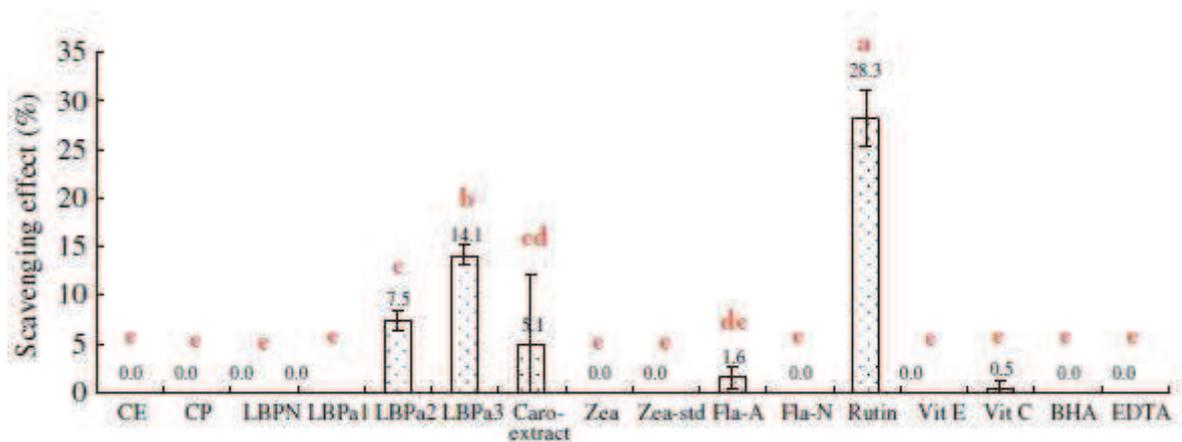


Figure 111 : Piégeage du radicaux superoxydes $O_2^{\cdot-}$ par les antioxydants du Goji (WANG C. C. *et al.*, 2010)

→ Dans cette étude, le piégeage des radicaux libres hydroxydes OH^{\cdot} a été observé. (WANG C. C. *et al.*, 2010)

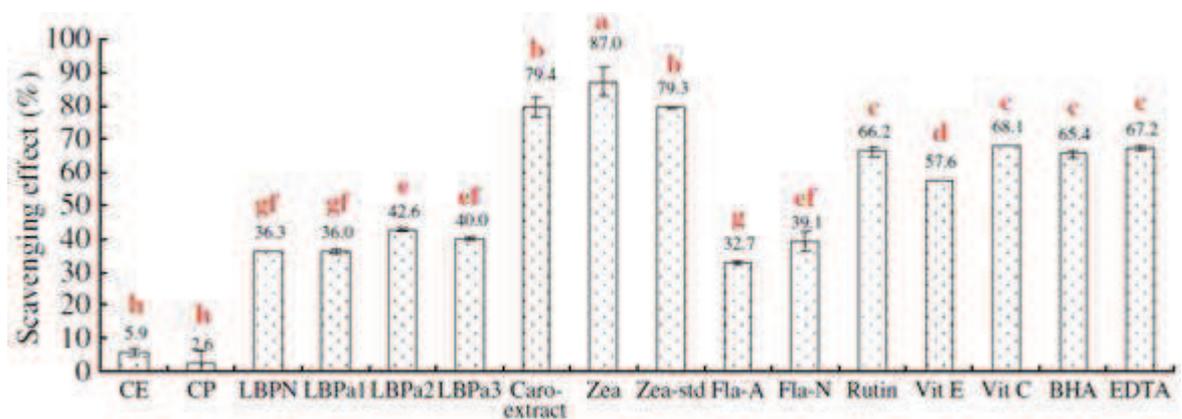


Figure 112 : Piégeage des radicaux hydroxydes OH^{\cdot} par les antioxydants du Goji (WANG C. C. *et al.*, 2010)

Les caroténoïdes occupent nettement la première place en termes d'antioxydants. Leurs résultats en pourcentage de piégeage des radicaux hydroxyles sont de 87 % pour la fraction de zéaxanthine, 79,4 % pour l'extrait de caroténoïdes et 79,3 % pour la zéaxanthine standard. (WANG C. C. *et al.*, 2010) Les vitamines C (68,7 %) et E (57,6 %) exercent une activité considérable comparée aux fractions polysaccharidiques (36 à 42,6 %) et acides flavonoïques (32,7 %) et flavonoïdes (39 %) dont l'action est plus faible. (WANG C. C. *et al.*, 2010)

→ Les antioxydants de *Lycium barbarum* L. possèdent un pouvoir chélateur des ions métalliques, tels que le fer et le cuivre. Ces métaux de transition sont indispensables à des réactions comme celle de Fenton, à l'origine de la production de radicaux hydroxyles très réactifs. Le blocage de ces ions métalliques induit par inhibition de production de radicaux libres, une activité antioxydante. L'activité des antioxydants du Goji (majoritairement les acides phénoliques (94,4 %), les flavonoïdes (86,4 %) et la fraction acide LBP_{a2} des polysaccharides (95,3 %) est exprimée en pourcentage de l'effet chélateur et illustrée dans la Figure 113. (WANG C. C. *et al.*, 2010)

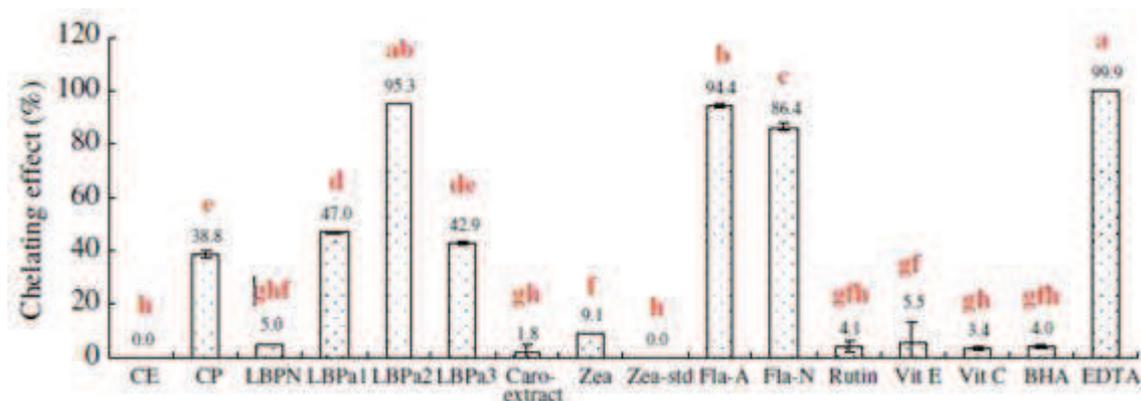


Figure 113 : Pouvoir chélateur des antioxydants du Goji (WANG C. C. *et al.*, 2010)

L'activité chélatrice de la fraction LBP_{a2} s'explique par la capacité de ses groupements acide (acide galacturonique) à chélater les ions. (WANG C. C. *et al.*, 2010)

→ Le pouvoir réducteur d'un composé est lié à son activité antioxydante. Les échantillons des composés du Goji ont réagi avec du tampon phosphate, du ferricyanure de potassium puis de l'acide chloroacétique et du chlorure de fer. Le pouvoir réducteur est mesuré grâce la mesure de l'absorbance des solutions à une longueur d'onde donnée, par spectrophotométrie. L'absorbance est la mesure de la capacité d'un milieu à capter la lumière qui le traverse. Plus l'absorbance est élevée, plus le pouvoir réducteur est fort. (Figure 114) (WANG C. C. *et al.*, 2010)

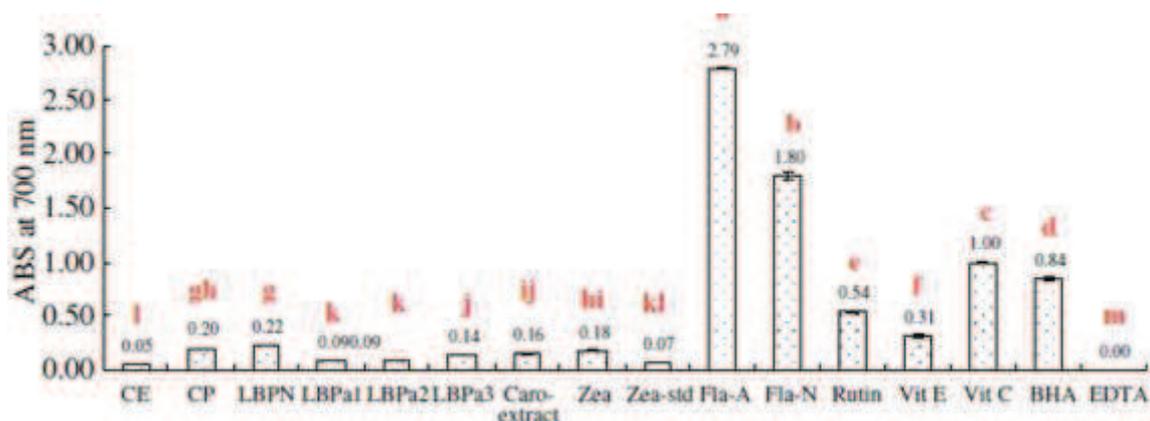


Figure 114 : Pouvoir réducteur des composés du Goji (WANG C. C. *et al.*, 2010)

L'absorbance des échantillons est relevée à une longueur d'onde de 700 nm : les acides phénoliques (2,79) et les flavonoïdes (1,80) du Goji exercent un pouvoir réducteur significatif grâce à leur groupe catéchol, suivis de la vitamine C (1,00), de la rutine (0,54), de la vitamine E (0,31), et des polysaccharides (0,22). (WANG C. C. *et al.*, 2010)

- Actions spécifiques des polysaccharides de *Lycium barbarum* L.

Diminution de la production de NO·

→ Le monoxyde d'azote traduit une augmentation du stress oxydatif. Chez des souris suivant un régime riche en graisses le taux de monoxyde d'azote était supérieur à celles suivant un régime alimentaire équilibré. L'administration des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. chez des souris, a démontré son efficacité par la diminution du radical monoxyde d'azote NO· de façon dose-dépendante, dans le foie et dans le sang. (WU H. T. *et al.*, 2010)

Blocage de la peroxydation lipidique

→ Les polysaccharides de *Lycium barbarum* L. jouent le rôle prépondérant d'antioxydant en bloquant la peroxydation lipidique et en stimulant l'expression d'enzymes antioxydantes. (cf. PARTIE 3. V. 1. Anti âge) (WU H. T. *et al.*, 2010)

Modulation immunitaire

→ Selon une étude, les LB Gp 3p et LB Gp 4p, sont responsables d'une modulation de l'immunité innée et secondaire, par des effets indirects ou par action directe sur les cellules, par antagonisme des toxines. Ces modulations immunitaires peuvent agir sur d'autres systèmes et organes tels que le système nerveux ou les tumeurs cancéreuses. (MAITRE M., 2011)

2. Etude comparative de *Lycium barbarum* L. et des autres superfruits

Il est important de garder un œil critique sur les valeurs ORAC. Celles-ci sont constamment détournées par les entreprises de fabrication alimentaire pour promouvoir leurs produits et orienter le choix alimentaire des consommateurs. (réf.5)

Ces scores peuvent être exprimés de différentes manières selon l'étalon choisi. De plus, certains diagrammes référencent des aliments qui ne sont pas comparables selon leur forme ou leur quantité, ce qui peut porter à confusion.

Parmi les sources disponibles à ce jour, les différents scores ORAC référencés ici, sont en μmolTE , par gramme de fruit frais.

SCORE ORAC ($\mu\text{molTE/g}$ DE FRUIT FRAIS)	
GOJI	250 – 329
ACAI	185
GRENADE	44,8 – 105
CANNEBERGE	95
MYRTILLE	44,6 – 80
CASSIS	36,9 – 93

Figure 115 : Valeurs ORAC de certains superfruits (MAILLEFERT O., 2010; MAITRE M., 2011; HARTMANN T., 2012) (réf.2, 27.a)

Les scores sont donnés sous forme d'intervalles, représentant les minimas et maximas des différents résultats retrouvés dans la littérature.

Le Goji obtient un score maximal avec 329 $\mu\text{molTE/g}$. Ces données confirment que le *Lycium barbarum* L. fait partie des aliments les plus riches en antioxydants.

D'autres valeurs ont été trouvées comme 48,6 $\mu\text{molTE/ml}$ (pulpe d'açaï) ou 1026 à 2649 $\mu\text{molTE/g}$ (poudre d'açaï). Cette dernière valeur, très élevée, s'explique par la forme poudre très concentrée. (ABITBOL S, 2011 ; UDANI J. K. *et al.*, 2011 ; BURLE A., 2012)

Le score peut varier considérablement selon la méthode d'extraction utilisée pour le fruit à tester. C'est le cas dans une expérience réalisée sur le noni donnant des résultats allant de 5 à 214 $\mu\text{molTE/g}$. (CHEN C. H. *et al.*, 2009)

Dans une étude réalisée sur le *Lycium barbarum* L., les deux méthodes ORAC et TEAC, ont été mises en parallèles pour évaluer les capacités antioxydantes de quatre formes d'échantillons. L'étude est réalisée à partir de baies séchées de Goji, réduites en fine poudre, puis soumises à une décoction. Deux extraits sont obtenus à partir du résidu de la décoction ; un extrait méthanolique et un extrait hydrosoluble. Les deux autres échantillons sont un extrait brut des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. et une des fractions purifiées de ces polysaccharides. Dans les deux méthodes, une solution standardisée de Trolox est préparée et utilisée comme étalon. Les résultats sont exprimés en μmol de Trolox par 100 g (masse sèche) et illustrés par les diagrammes suivants. (LUO Q. *et al.*, 2004)

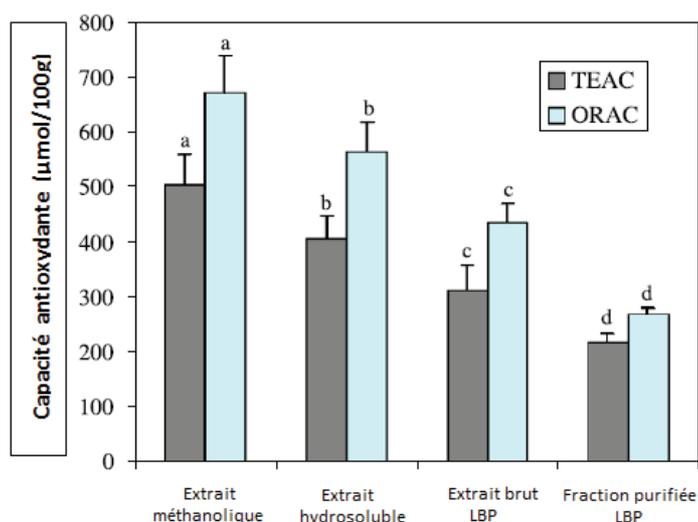


Figure 116 : Capacités antioxydantes TEAC/ORAC de différents extraits/fractions issus du fruit de *Lycium barbarum* L. (LUO Q. *et al.*, 2004)

Les résultats obtenus avec la méthode TEAC sont significativement comparables à ceux obtenus par la méthode ORAC. En revanche, la capacité antioxydante des différents échantillons varie selon l'ordre décroissant suivant ; extrait méthanolique, extrait hydrosoluble, extrait brut de polysaccharides et fraction purifiée de polysaccharides. (LUO Q. *et al.*, 2004)

3. Prévention des dommages liés au stress oxydatif

3.1. Prévention de la lipoperoxydation

Le Goji possède des teneurs considérables en vitamine E, antioxydant particulièrement impliqué dans le blocage de la peroxydation lipidique selon les réactions préalablement citées (*cf.* PARTIE 3 II.2.).

En plus de ce mécanisme, plusieurs études ont mis en évidence le rôle protecteur des polysaccharides de *Lycium barbarum* L., dans la peroxydation lipidique. Les dommages oxydatifs au niveau des lipides sont généralement reflétés par des paramètres spécifiques. Les concentrations des biomarqueurs de la peroxydation, tels que les hydroperoxydes, les aldéhydes (substances réagissant avec l'acide thio-barbiturique (TBARs)) et le malondialdéhyde (MDA), sont mesurées. Les métabolites terminaux plasmatiques ou urinaires de l'acide arachidonique (isoprostanes) sont également étudiés. (ROUSSEL A.- M., 2009)

La supplémentation en polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (LB P) chez des souris suivant un régime riche en graisses (stress oxydatif accru) a montré une diminution de leur taux de TBARs. Le taux de TBARs augmente de manière dose-dépendante avec la supplémentation en LB P, pour se rapprocher des taux de TBARs des souris « contrôle », suivant une alimentation équilibrée. Cette diminution de TBARs dans le foie, dans les poumons et dans les reins des souris reflètent un blocage de la peroxydation lipidique et une diminution du stress oxydatif. (MING M. *et al.*, 2009) Par le même raisonnement, cette hypothèse est confirmée dans une étude analysant le taux de malondialdéhyde (MDA), chez des sujets adultes, après 30 jours de supplémentation en jus de Goji. La baisse du MDA constatée, révèle une diminution de la lipoperoxydation. (AMAGASE H. *et al.*, 2009) Une autre étude a constaté des résultats similaires sur la baisse du MDA liée à l'administration de polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (WU H. T. *et al.*, 2010) (*cf.* PARTIE 3, V,2)

Dans l'étude de LI X. L. *et al.* (2007), l'irradiation par rayons gamma a été utilisée sur des membranes mitochondriales de cellules hépatiques de rats, pour la peroxyder et produire des radicaux libres. La supplémentation par un extrait de polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (à partir du fruit sec) chez ces rats, a mis en évidence une activité protectrice contre la peroxydation lipidique. Les marqueurs TBARS et LOOH (hydroperoxydes : produits primaires de l'oxydation lipidique) ont été observés. Les valeurs obtenues par une supplémentation en vitamine E (VE) ont été mises en parallèle. (LI X. L. *et al.*, 2007)

Group	TBARS (nmol/mg protein)
Nonirradiation control	0.11 ± 0.02
Irradiation control	1.87 ± 0.10 ^b
Irradiation + LBP (10 mg/ml)	1.61 ± 0.26 ^c
Irradiation + LBP (30 mg/ml)	1.01 ± 0.15 ^d
Irradiation + LBP (60 mg/ml)	0.71 ± 0.05 ^d
Irradiation + VE (10 mg/ml)	1.40 ± 0.16 ^d
Irradiation + VE (30 mg/ml)	1.27 ± 0.12 ^d
Irradiation + VE (60 mg/ml)	1.05 ± 0.06 ^d

Group	LOOH (nmol/mg protein)
Nonirradiation control	0.10 ± 0.02
Irradiation control	6.39 ± 0.51 ^b
Irradiation + LBP (10 mg/ml)	3.25 ± 0.40 ^d
Irradiation + LBP (30 mg/ml)	1.02 ± 0.11 ^d
Irradiation + LBP (60 mg/ml)	0.07 ± 0.03 ^d
Irradiation + VE (10 mg/ml)	5.72 ± 0.74
Irradiation + VE (30 mg/ml)	4.95 ± 0.33 ^d
Irradiation + VE (60 mg/ml)	3.38 ± 0.12 ^d

Figure 117 : Effet des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. sur les marqueurs TBARS et LOOH induits par irradiation, dans les cellules hépatiques de rats (LI X. L. *et al.*, 2007)

Les polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (LBP) ont montré à des concentrations de 10, 30 et 60 mg/ml, une diminution de la peroxydation lipidique de 13,9%, 46% et 62% par rapport aux taux de TBARS et de 49,1%, 84% et 98,9% par rapport aux radicaux LOOH. A concentrations égales, les LBP affichent une activité antioxydante supérieure à celle de la vitamine E (VE). (LI X. L. *et al.*, 2007)

3.2. Prévention de l'oxydation protéique

Dans cette même étude, l'action des polysaccharides extraits de *Lycium barbarum* L. (LBP), a été mise en évidence dans la prévention des dommages sur des protéines mitochondriales de cellules hépatiques de rats. Les radicaux libres produits par l'irradiation ionisante sont également responsables de l'augmentation des protéines carbonylées. La mesure de ces protéines dans le plasma, est un marqueur des dommages induits par le stress oxydatif sur les protéines. D'après les résultats de cette étude (Figure 118), le taux de protéines carbonylées chez les rats sous LBP diminue de façon dose-dépendante. Les taux de protéines carbonylées sont plus élevés après apport à concentrations égales en vitamine E qu'en LBP. La supplémentation chez les rats en LBP à 60 mg/ml apporte 60 % de protection contre la formation de protéines carbonylées alors qu'elle n'est que de 28 % pour la vitamine E à concentrations égales. Ces résultats démontrent l'efficacité des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. dans la prévention de l'oxydation des protéines. Cette activité est supérieure à celle de la vitamine E seule à 10, 30 et 60 mg/ml. (LI X. L. *et al.*, 2007)

Group	Protein carbonyls (nmol/mg protein)
Nonirradiation control	1.17 ± 0.18
Irradiation control	1.60 ± 0.19 ^b
Irradiation + LBP (10 mg/ml)	1.41 ± 0.17
Irradiation + LBP (30 mg/ml)	1.32 ± 0.16 ^d
Irradiation + LBP (60 mg/ml)	0.64 ± 0.08 ^d
Irradiation + VE (10 mg/ml)	1.58 ± 0.22
Irradiation + VE (30 mg/ml)	1.42 ± 0.14 ^c
Irradiation + VE (60 mg/ml)	1.22 ± 0.12 ^d

Figure 118 : Diminution de l'oxydation protéique par les polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (LI X. L. *et al.*, 2007)

La diminution du nombre de protéines carbonylées après administration de LBP démontre leur effet protecteur sur les mitochondries vis-à-vis de l'oxydation des protéines induites par irradiation. (LI X. L. *et al.*, 2007)

La peroxydation lipidique et l'oxydation protéique pourraient être reliées. En effet, les produits de l'oxydation lipidique, primaires (hydroperoxydes) et secondaires (aldéhydes et cétones) réagiraient avec les protéines, induisant leur oxydation. Les complexes carbonylés formés par interaction des protéines et des lipides se forment rapidement, sont stables et représentent un marqueur de l'oxydation protéique. (LI X. L. *et al.*, 2007)

3.3. Prévention des dommages causés sur l'ADN

L'effet du Goji a été analysé au cours d'une étude dans laquelle les dommages sur l'ADN de testicules de souris étaient induits par un facteur chimique, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Cette espèce réactive oxygénée permet de mettre évidence les conséquences du stress oxydatif sur l'ADN de cellules. Il entraîne l'apoptose de la moitié des cellules de souris par fragmentation de l'ADN. Grâce à une technique d'électrophorèse sur microgel d' H_2O_2 dit « test comète », il est possible de détecter par microscope à fluorescence les dommages et les réparations de cellules. (SINGH N. P.*et al.*, 1988 ; LUO Q. *et al.*, 2006)

Trois échantillons de cellules testiculaires de souris sont testés selon cette méthode : un échantillon « test normal » soumis à une double distillation à l'eau, un échantillon « test négatif » soumis à l'action du peroxyde d'hydrogène et un échantillon traité avec un extrait de polysaccharides et soumis au peroxyde d'hydrogène « LBP + H_2O_2 ». A partir des images obtenues grâce au microscope à fluorescence (Figure 119), on observe dans l'échantillon « test normal » (A), des noyaux d'ADN ronds et très fluorescents sans queue, l'ADN n'est pas endommagé. Dans le « test négatif » (B), les noyaux forment par migration une queue (comète). Cette migration s'explique par la rupture des brins de la chaîne d'ADN. Plus la queue est grande et fluorescente, plus l'ADN est endommagé. (LUO Q. *et al.*, 2006)

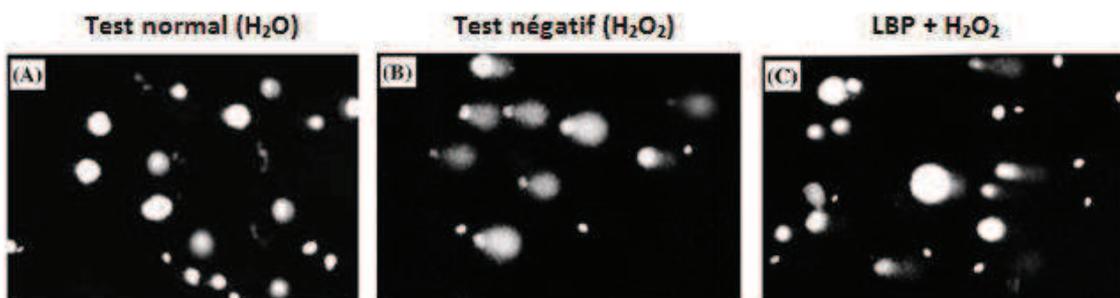


Figure 119 : Diminution de l'apoptose des cellules soumises à l' H_2O_2 en présence d'un extrait de Goji (LUO Q. *et al.*, 2006)

Dans l'échantillon (C), la fréquence des cellules avec une queue (migration) diminue et les fragments ont une queue plus courte. Les dommages sur l'ADN sont sensiblement atténués par rapport au témoin négatif. Les polysaccharides de *Lycium barbarum* L. sont responsables d'un effet protecteur contre les dommages induits sur l'ADN des cellules testiculaires de souris, et ce de manière dose-dépendante. (LUO Q. *et al.*, 2006)

Cette étude reflète les propriétés antioxydantes du Goji et son intérêt dans la prévention des dommages induits sur l'ADN des cellules.

V INTERETS THERAPEUTIQUES DE L'ACTION ANTIOXYDANTE DU GOJI

A ce jour, les études faites sur le fruit de *Lycium barbarum* L., lui attribuent plusieurs actions thérapeutiques, présentées ci-dessous. (AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011) Ces actions sont toutes liées à des mécanismes antioxydants. Le Goji intervient dans le traitement de pathologies (le glaucome, la dégénérescence maculaire liée à l'âge et Alzheimer) par d'autres mécanismes que nous évoquerons, sans trop les détailler.

1. Action anti-âge

Avec l'âge s'installe progressivement un déséquilibre pro/antioxydant étroitement lié à l'hyperproduction mitochondriale d'ERO et une baisse des défenses antioxydantes.

L'élévation du stress oxydant chez les personnes âgées est un facteur causal majeur de divers troubles physiologiques, se traduisant par la recrudescence de pathologies telles que les cancers, les maladies cardiovasculaires et les maladies neurodégénératives. (ROUSSEL A.- M., 2009)

Dans l'étude de LI X. M. *et al.* (2007), les changements liés au vieillissement de l'activité des enzymes antioxydantes, de la fonction immunitaire et de la peroxydation lipidique, ont été étudiés.

Cette étude a testé les effets des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (LBP) et de la vitamine C sur des souris âgées. (Figure 120). Le groupe I est constitué de souris jeunes, le groupe II de souris âgées non traitées et les groupes III, IV, V, VI et VII de souris âgées, traitées respectivement avec des doses de LBP de 200, 350 et 500 mg/kg de poids corporel, des LBP à 500mg/ kg de poids corporel et de la vitamine C (1/1). (LI X. M. *et al.*, 2007)

Parameters	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V	Group VI	Group VII
Poumon							
SOD	11.41 ± 1.13	10.18 ± 0.77 ^c	9.98 ± 0.58 ^b	12.98 ± 0.60 ^d	13.99 ± 1.21 ^d	15.52 ± 0.78 ^d	11.59 ± 1.64 ^c
CAT	4.82 ± 0.57	4.52 ± 0.47	4.46 ± 0.46	4.68 ± 0.64	5.05 ± 0.56 ^d	5.47 ± 0.61 ^b	4.74 ± 0.39
GSH-Px	3.11 ± 0.61	2.77 ± 0.39	3.98 ± 0.47 ^b	4.43 ± 0.33 ^b	5.92 ± 0.53 ^b	6.21 ± 0.65 ^b	3.91 ± 0.43 ^b
TAOC	1.13 ± 0.09	0.96 ± 0.06 ^c	1.04 ± 0.14	1.32 ± 0.14 ^b	1.49 ± 0.13 ^b	1.71 ± 0.09 ^b	1.30 ± 0.13 ^b
MDA	2.34 ± 0.49	2.85 ± 0.34 ^c	2.37 ± 0.23 ^b	2.20 ± 0.27 ^b	2.03 ± 0.24 ^b	1.87 ± 0.21 ^b	2.51 ± 0.17 ^c
Foie							
SOD	8.70 ± 0.67	7.58 ± 0.66 ^d	8.45 ± 0.38 ^b	9.45 ± 1.15 ^b	15.88 ± 1.06 ^b	18.17 ± 0.94 ^b	14.02 ± 0.97 ^b
CAT	2.14 ± 0.20	1.65 ± 0.19 ^d	1.80 ± 0.11 ^a	1.92 ± 0.15 ^b	2.15 ± 0.17 ^b	2.86 ± 0.40 ^b	1.86 ± 0.16 ^a
GSH-Px	10.91 ± 0.92	8.78 ± 0.81 ^d	10.41 ± 0.81 ^b	12.69 ± 1.18 ^b	14.24 ± 1.07 ^b	17.62 ± 1.53 ^b	10.97 ± 0.84 ^b
TAOC	2.01 ± 0.19	0.84 ± 0.11 ^d	1.16 ± 0.19 ^b	1.36 ± 0.13 ^b	1.87 ± 0.28 ^b	2.44 ± 0.41 ^b	1.48 ± 0.16 ^b
MDA	13.46 ± 0.96	15.64 ± 0.64 ^d	14.53 ± 0.66 ^b	12.87 ± 1.11 ^b	10.56 ± 0.75 ^b	8.75 ± 0.41 ^b	9.83 ± 0.73 ^b
Cœur							
SOD	16.44 ± 0.83	14.53 ± 0.94 ^d	15.12 ± 0.72	16.58 ± 0.55 ^b	22.58 ± 0.91 ^b	28.43 ± 0.69 ^b	16.91 ± 0.68 ^b
CAT	2.25 ± 0.32	1.55 ± 0.26 ^d	1.58 ± 0.21	1.65 ± 0.21	1.86 ± 0.19 ^b	1.91 ± 0.20 ^b	1.65 ± 0.27
GSH-Px	9.91 ± 1.22	8.84 ± 0.53 ^d	9.54 ± 0.23 ^b	10.38 ± 0.25 ^b	10.97 ± 0.51 ^b	11.93 ± 0.48 ^b	10.52 ± 0.93 ^b
TAOC	0.98 ± 0.17	0.71 ± 0.09 ^d	0.85 ± 0.11 ^b	0.97 ± 0.08 ^b	1.31 ± 0.13 ^b	1.77 ± 0.08 ^b	1.06 ± 0.12 ^b
MDA	3.97 ± 0.29	5.13 ± 0.30 ^d	4.67 ± 0.17 ^b	3.96 ± 0.21 ^b	3.57 ± 0.24 ^b	2.95 ± 0.12 ^b	4.69 ± 0.12 ^b
Cerveau							
SOD	19.11 ± 0.97	17.8 ± 0.51 ^d	18.54 ± 1.05	20.58 ± 1.32 ^b	23.89 ± 1.35 ^b	27.82 ± 1.12 ^b	20.63 ± 0.86 ^b
CAT	4.41 ± 0.37	4.12 ± 0.24	4.23 ± 0.45	4.95 ± 0.11 ^b	5.21 ± 0.27 ^b	5.76 ± 0.31 ^b	4.31 ± 0.09 ^b
GSH-Px	4.30 ± 0.50	2.95 ± 0.43 ^b	3.35 ± 0.32	4.41 ± 0.52 ^b	6.03 ± 0.75 ^b	8.16 ± 0.48 ^b	5.73 ± 0.33 ^b
TAOC	0.92 ± 0.23	0.70 ± 0.08 ^d	0.76 ± 0.17	1.84 ± 0.37 ^b	2.33 ± 0.11 ^b	2.89 ± 0.19 ^b	2.04 ± 0.09 ^b
MDA	9.74 ± 1.38	11.28 ± 1.23 ^c	10.71 ± 0.88	8.27 ± 1.51 ^b	6.56 ± 0.85 ^b	4.27 ± 0.16 ^b	7.95 ± 0.63 ^b
Serum							
MDA	17.34 ± 2.12	32.49 ± 2.97 ^d	28.78 ± 2.04 ^b	23.83 ± 1.77 ^b	19.56 ± 1.83 ^b	16.63 ± 1.55 ^b	24.82 ± 2.79 ^b

Figure 120 : Effet des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. sur l'activité des enzymes antioxydantes de souris âgées (LI X. M. *et al.*, 2007)

La TAOC (capacité antioxydante totale) est plus faible chez le groupe II par rapport au groupe I, confirmant sa diminution avec l'âge. D'après les résultats obtenus (*cf.* Figure 120), l'activité des enzymes antioxydantes (SOD, CAT et GSH-px) et la capacité antioxydante dans les cellules des différents organes, sont plus importantes chez les souris traitées par LBP et vit C (groupe VI). A doses d'administration égales, les résultats entre le groupe V et le groupe VII, montrent une meilleure efficacité des LBP par rapport à la vitamine C. (LI X. M. *et al.*, 2007) Ces résultats sont confirmés dans une autre étude démontrant l'effet stimulant des enzymes antioxydantes (SOD, CAT, GSH-Px) par les LBP, de manière dose-dépendante. (WU H. T. *et al.*, 2010)

Le taux de lipofuscine, marqueur du stress oxydatif, a été calculé dans les différents groupes. La lipofuscine est un pigment cellulaire, fortement concentré dans les cellules (neurones, cœur, peau) des personnes âgées, à l'origine entre autres, des taches de vieillesse. La lipofuscine est plus importante dans les cellules de souris âgées (groupe II) et diminue particulièrement en présence de LBP et vitamine C associés. (LI X. M. *et al.*, 2007)

Chez les souris âgées les résultats ont rapporté une augmentation de la peroxydation lipidique (en corrélation avec les résultats de l'étude de LI X. L. *et al.*, 2007 (cf. PARTIE 3. I, 3,3.1), une diminution de l'activité des enzymes antioxydantes et une diminution de la fonction immunitaire, par rapport à des souris jeunes. L'altération de la fonction immunitaire se traduit par une diminution du thymus, du poids de la rate, de l'indice phagocytaire et celle de l'activité phagocytaire. L'administration des LBP augmente ces paramètres et stimule ainsi, la fonction immunitaire. L'exact mécanisme de cet effet immunostimulant n'est pas connu mais il a été supposé que le *Lycium barbarum* L. agirait par l'intermédiaire de l'induction d'enzymes antioxydantes et par la diminution des peroxydes lipidiques. (LI X. M. *et al.*, 2007)

2. Prévention des complications du diabète de type II

Le patient diabétique de type II (diabète sucré) présente généralement une hyperglycémie et une hyperlipidémie. Ces dérèglements entraînent la glycation du sucre en excès et des protéines tissulaires, la formation de radicaux libres, et la peroxydation lipidique. Ces phénomènes associés sont responsables d'un stress oxydatif, endommageant les cellules et les tissus, et favorisant le développement de complications du diabète (athérosclérose, obésité, néphropathie, rétinopathie, maladies cardiovasculaires). (RAHIMI R. *et al.*, 2005) Les ERO mitochondriales inhiberaient également la sécrétion d'insuline par les cellules β du pancréas. (SAKAI K. *et al.*, 2003) Ces processus peuvent conduire à une insulino-résistance. (WU H., *et al.* 2006)

Dans différentes études de l'action des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. dans le diabète sucré (LUO Q. *et al.*, 2004, WU H., *et al.* 2006, LI X. M., 2007), l'augmentation du stress oxydatif et la diminution du potentiel antioxydant chez des animaux diabétiques ont été rapportées. Dans l'étude de LI X. M., 2007, les rats diabétiques (induit par streptozocine) et non diabétiques, sont répartis en 5 groupes : (LI X. M., 2007)

- groupe I : contrôle normal, rats non diabétiques, sans traitement
- groupe II : contrôle diabétique, rats diabétiques, sans traitement
- groupe III : rats diabétiques traités par LBP à 50mg/kg/j (*per os*) pendant 30 jours
- groupe IV : rats diabétiques traités par LBP à 100mg/kg/j (*per os*) pendant 30 jours
- groupe V : rats diabétiques traités par LBP à 200mg/kg/j (*per os*) pendant 30 jours

	I	II	III	IV	V
SOD (U/ml)	120.65 ± 15.53	88.87 ± 7.63	93.65 ± 8.73	116.7 ± 17.21	132.74 ± 10.74
MDA (nmol/ml)	2.21 ± 0.24	4.85 ± 0.53	4.24 ± 0.55	3.17 ± 0.38	2.53 ± 0.31
Total cholesterol (mmol/L)	4.78 ± 0.52	6.95 ± 0.57	6.05 ± 0.63	5.67 ± 0.6	4.95 ± 0.32
HDL-cholesterol (mmol/L)	0.41 ± 0.03	0.24 ± 0.02	0.28 ± 0.02	0.34 ± 0.02	0.38 ± 0.03
Triglyceride (mmol/L)	0.46 ± 0.03	0.75 ± 0.06	0.68 ± 0.07	0.54 ± 0.04	0.49 ± 0.04
LDL-cholesterol (mmol/L)	2.85 ± 0.23	3.97 ± 0.32	3.67 ± 0.44	3.45 ± 0.26	2.98 ± 0.37

Figure 121 : Effet des LBP sur l'activité de la SOD et autres indices biochimiques sanguins chez les rats diabétiques (LI X. M., 2007)

Les tests montrent chez les rats diabétiques non traités (II), une activité de superoxyde dismutase SOD et un taux d'HDL cholestérol plus faibles et des taux de malondialdéhyde (MDA), de cholestérol total, de triglycérides et de LDL plus élevés en comparaison aux rats sains (I). L'activité antioxydante est diminuée et la peroxydation lipidique augmentée, chez les rats diabétiques. Chez ces mêmes rats (II), on note une forte glycémie et un faible taux d'insuline plasmatique par rapport au contrôle normal (I). Ces paramètres sont associés au stress oxydatif. (LI X. M., 2007)

	I	II	III	IV	V
Blood glucose (mg/dl)	98.43 ± 7.65	270.76 ± 30.65	258.9 ± 26.43	180.43 ± 16.43	113.53 ± 10.72
Plasma insulin (μU/ml)	13.88 ± 14.52	4.87 ± 0.53	5.78 ± 0.64	7.04 ± 0.83	9.57 ± 1.13

Figure 122 : Effet des LBP sur la glycémie et niveau d'insuline plasmatique des rats diabétiques (LI X. M., 2007)

Après 30 jours de traitement sous LBP, la glycémie a diminué de manière dose-dépendante et l'insuline plasmatique a nettement augmenté par rapport aux rats diabétiques non traités (Figure 122). Les résultats (Figure 121 (V)) montrent que l'administration de LBP a rétabli de manière dose-dépendante l'activité de la SOD, le taux de MDA, les taux lipidiques vers des valeurs proches du contrôle normal (I). (LI X. M., 2007)

L'activité des enzymes antioxydantes des foies et reins de rats diabétiques a été observée. L'administration de LBP augmente de manière dose-dépendante l'activité de la superoxyde dismutase (SOD), de la catalase (CAT), de la glutathion peroxydase (GSH-px) et de la glutathion réductase (GR) et diminue le taux de MDA, vers des valeurs proches de celles du contrôle normal. Les LBP réduisent les dommages oxydatifs induits par la streptozotocine et restaure les taux anormaux des produits de la peroxydation lipidique, réduisant par conséquent la glycémie. (LI X. M., 2007)

Des résultats similaires ont été obtenus chez des rats alimentés par un régime riche en graisses, et trois groupes supplémentés à des faibles, moyennes et fortes doses de polysaccharides de *Lycium barbarum* L.. Les LBP induisent l'augmentation de la capacité totale antioxydante (TAOC) et l'activité des enzymes antioxydantes (SOD, GSH-px et CAT), associée à la diminution de la peroxydation lipidique, reflétée par la diminution du MDA. (Figure 123) (WU H. T. *et al.*, 2010)

Group	SOD (U/ml)	GSH-Px (U/ml)	CAT (U/ml)	TAOC (U/ml)	MDA (nmol/ml)
Control	199.3 ± 15.5	43.30 ± 2.97	8.11 ± 0.39	12.04 ± 0.83	16.21 ± 0.77
High-fat model	83.5 ± 4.4**	20.27 ± 1.34**	2.83 ± 0.17**	5.14 ± 0.22**	26.14 ± 0.89**
Polysaccharides ^a	109.3 ± 7.7**	31.66 ± 2.54**	4.92 ± 0.31**	7.81 ± 0.38**	20.22 ± 1.01**
Polysaccharides ^b	151.1 ± 14.1**	47.29 ± 3.29**	6.32 ± 0.41**	9.01 ± 0.73**	18.33 ± 0.67**
Polysaccharides ^c	190.7 ± 8.8**	60.29 ± 5.02**	8.03 ± 0.42**	11.71 ± 0.45**	17.23 ± 0.91**

Figure 123 : Taux de MDA et potentiel antioxydant (sérum) en fonction de l'apport en polysaccharides de *Lycium barbarum* L., (groupes supplémentés en polysaccharides à faibles : a, moyennes : b et fortes doses : c) (WU H. T. *et al.*, 2010)

Les LBP améliorent également les dommages causés sur l'ADN par le stress oxydatif lié à l'hyperglycémie, chez les rats diabétiques de type II. (WU H., *et al.* 2006)

Dans une étude, l'effet hypolipidique et hypoglycémique des LBP a été observé dans 3 formes d'échantillons différents : l'eau de décoction de la baie entière, un extrait brut de LBP et des fractions purifiées de LBP. L'eau de décoction et l'extrait brut montrent une activité antioxydante et un effet hypolipidémiant supérieurs à celle des fractions purifiées de polysaccharides. Ces résultats montrent que les autres composants antioxydants de la baie (caroténoïdes, vitamine C, vitamine E, flavonoïdes) jouent un rôle synergique dans l'effet hypolipidémiant. (LUO Q. *et al.*, 2004)

Les LBP améliorent la capacité antioxydante, et diminuent la glycémie et la lipidémie, chez les patients diabétiques (non insulino-dépendants). Ils sont impliqués dans la diminution de la peroxydation lipidique et améliorent les dommages causés sur l'ADN de ces rats. Ainsi, les LBP entrent en jeu dans le traitement et dans la prévention des complications liées au diabète de type II.

3. Protection hépatique

Selon la Médecine Traditionnelle Chinoise, le *Lycium barbarum* L. serait utilisé pour « nourrir » le foie. Les études suivantes ont montré l'effet hépato-protecteur des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (LBP) via son action antioxydante. (XIAO J. *et al.*, 2012)

La consommation chronique d'alcool est un des facteurs entraînant un stress oxydatif hépatique, par la formation d'espèces réactives de l'oxygène et par la réduction de la capacité antioxydante, entraînant par conséquent une peroxydation lipidique. Cette dernière est elle-même responsable de désordres des cellules hépatiques. Dans une étude (CHENG D. et KONG W., 2011), des rats sains sans traitement (contrôle) sont comparés à un groupe de rats sous éthanol et à un autre groupe alcoolisé, supplémenté en LBP. Les résultats confirment la présence d'un stress oxydatif et d'une augmentation de la peroxydation lipidique pour les rats sous éthanol, par rapport au groupe contrôle. L'activité des enzymes antioxydantes (SOD, CAT, Gpx (GSHpx), GSH) diminue, et le taux de MDA augmente dans le groupe sous alcool, par rapport au groupe contrôle. On remarque que ces effets sont moins importants dans le groupe sous alcool, supplémenté en LBP (Figure 124).(CHENG D. et KONG W., 2011)

	MDA (nmol/mg protein)	SOD (U/mg protein)	CAT (U/mg protein)	GPx (U/mg protein)	GSH (µg/mg protein)
Control group	7.27 ± 0.76	12.53 ± 4.47	19.88 ± 3.79	4.03 ± 0.87	7.49 ± 0.89
Ethanol group	10.19 ± 1.36	6.98 ± 2.85	12.79 ± 3.17	1.46 ± 0.58	5.10 ± 0.64
Ethanol+LBP group	7.47 ± 0.90	12.07 ± 4.15	17.06 ± 3.73	3.50 ± 0.70	6.57 ± 0.54

Figure 124 : Effets des LBP sur les paramètres du stress oxydatif dans le foie de rats (CHENG D. et KONG W., 2011)

Ces résultats reflètent l'action protectrice des LBP sur le stress oxydatif induit par l'alcool dans le foie. Cette action s'explique par un mécanisme antioxydant. Les LBP montrent des effets similaires dans 2 autres études : dans l'une, le foie des souris est soumis à un stress oxydatif induit par un agent chimique (XIAO J. *et al.*, 2012), le tétrachlorure de carbone (CCl₄) et dans l'autre par un régime riche en graisses imposé à des souris. (WU H. T. *et al.*, 2010)

L'élévation des enzymes hépatiques, l'aspartate aminotransférase (ASAT) et l'alanine aminotransférase (ALAT) sont généralement associés à une blessure du foie et/ou une inflammation des cellules hépatiques. Dans l'étude de CHENG D. et KONG W., 2011, les concentrations sériques d'ALAT et d'ASAT sont significativement plus importantes dans les rats sous alcool, par rapport au groupe contrôle.

Les concentrations sériques de ces enzymes sont moins importantes dans le groupe supplémenté en LBP, par rapport au groupe sous alcool uniquement. Ces résultats confirment le rôle des LBP dans la prévention des dommages hépatiques. (CHENG D. et KONG W., 2011)

On remarque également dans le groupe sous alcool (Figure 124), des taux élevés de triglycérides (TG), de cholestérol total et de LDL-cholestérol, associés à une diminution du HDL-cholestérol. (CHENG D. et KONG W., 2011) Les LBP ont montré sur des souris, des effets préventifs sur les dommages induits sur le foie par une alimentation riche en graisses. (WU H. T. *et al.*, 2010) Ainsi les LBP, en diminuant considérablement l'accumulation des lipides, jouent un rôle dans l'amélioration voire la réparation, des dysfonctionnements lipidiques induits par la consommation d'alcool.

Une action supplémentaire des LBP dans la protection hépatique a été démontrée dans 2 études ; l'inhibition de l'expression du cytochrome p 450 (2E1) des hépatocytes. (GU *et al.*, 2007 ; XIAO J. *et al.*, 2012) Cette enzyme est impliquée dans le métabolisme de l'alcool (détoxification). Son hyperstimulation, lors de consommation chronique d'alcool, entraîne la formation de grandes quantités de radicaux libres par la production d'acétaldéhyde. (réf.33) L'inhibition du cytochrome p 450 (2E1) participe à la prévention du stress oxydatif induit par la consommation chronique d'alcool.

La protection hépatique des LBP restaure de manière dose-dépendante la morphologie des cellules hépatiques endommagées par le stress oxydatif. L'histologie des cellules hépatiques rapporte des résultats comparables entre différentes études (Figure 125). (CHENG D. et KONG W., 2011 ; XIAO J. *et al.*, 2012)

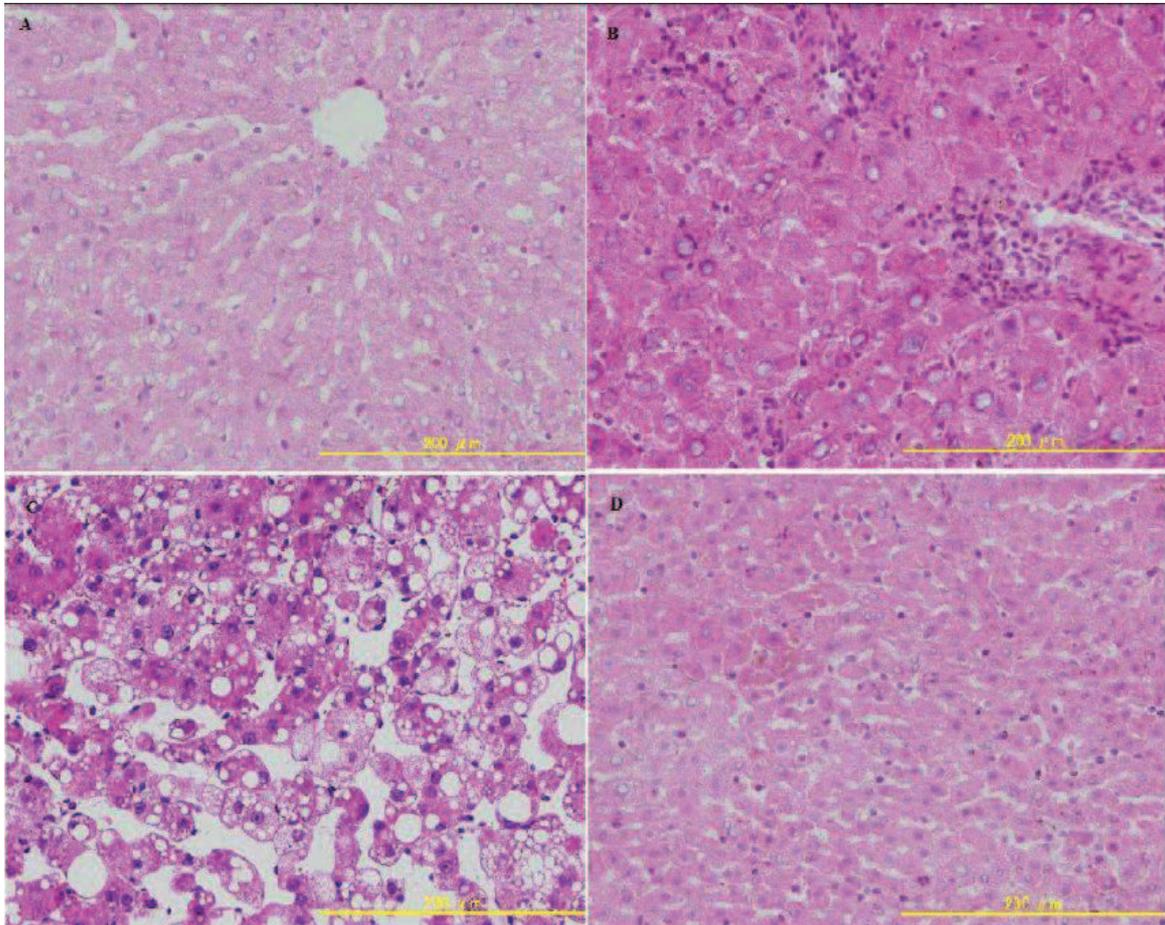


Figure 125 : Effet des LBP sur les cellules hépatiques (CHENG D. et KONG W., 2011)

La photographie A correspond à l'analyse des cellules hépatiques de rats du groupe contrôle (sain), avec cytoplasme préservé, un noyau et une veine centrale distincts. L'alcool administrés chez les rats dans les photographies B et C montrent une infiltration lymphocytaire, l'étranglement de la veine centrale(B), et une nécrose et destruction membranaire (C) au niveau des cellules hépatique. La photographie D correspond à un groupe de rats traités par LBP, l'architecture cellulaire est comparable à celle du groupe contrôle.

Les polysaccharides de *Lycium barbarum* L. protègent le foie des lésions induites par le stress oxydatif (alcoolisme chronique, régime riche en graisses entre autres), prévenant par conséquent de complications telles que la stéatose, la cirrhose et le cancer.

4. Prévention de l'infertilité masculine

Le Goji est depuis longtemps utilisé dans la Médecine traditionnelle Chinoise pour traiter l'infertilité masculine. Les récentes études démontrent la corrélation entre le stress oxydatif et son rôle dans l'infertilité masculine. (FAURE C. *et al.*, 2011)

La production excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) dans le plasma séminal par stress oxydatif, peut endommager l'ADN nucléaire des spermatozoïdes et altérer la spermatogenèse. (LUO Q. *et al.*, 2006)

L'étude de LUO Q. *et al.* (2006) a mis en avant l'effet protecteur des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. (LBP) sur des cellules testiculaires de rats. L'activité de la superoxyde dismutase (SOD) et les taux de malondialdéhyde (MDA) reflètent le degré des dommages induits par les ERO sur les tissus testiculaires (en particulier O_2^- et $\cdot OH$). L'hyperthermie est utilisée dans cette étude, comme facteur physique pour induire par stress thermique, la production d'ERO dans les cellules testiculaires. (LUO Q. *et al.*, 2006)

Le groupe « contrôle normal » ne subit pas d'hyperthermie, les scrotas des rats du groupe « contrôle négatif » sont immergés dans l'eau à 43° pendant 15 min et les autres groupes reçoivent après exposition à la chaleur, des doses respectives de LBP à 10, 50, 100 et 200 mg/kg/jour, Figure 126. (LUO Q. *et al.*, 2006)

Group	Testes (mg/100 g body weight)	Epididymides (mg/100 g body weight)	SOD (U/mg protein)	MDA (nmol/mg protein)	T (nmol/L)	LH (IU/L)	FSH (IU/L)
Normal control ^b	519±122*	192±33**	302.87±67.72**	0.78±0.49**	24.35±3.43**	11.09±0.91*	4.19±1.01*
Negative control (43 °C) ^b	367±56	132±13	206.30±24.55	2.78±1.26	16.09±4.92	8.71±1.48	2.92±0.59
10 mg/kg-per day LBP (43 °C)	549±78**	209±24**	387.41±44.38**	1.11±0.44**	27.05±4.17**	12.60±1.96**	4.71±1.24**
50 mg/kg-per day LBP (43 °C)	526±69*	186±31**	274.41±18.98*	1.24±0.50*	19.51±5.65	10.61±1.62	3.94±0.85
100 mg/kg-per day LBP (43 °C)	493±77*	165±17*	270.08±47.60*	1.39±0.66*	18.41±5.51	10.93±1.84**	3.67±1.42
200 mg/kg-per day LBP (43 °C)	465±86	169±33	272.64±28.22*	1.69±0.90*	17.21±4.61	10.98±1.99*	3.41±0.71

Figure 126 : Effets protecteurs des LBP sur des cellules de rats endommagées par l'hyperthermie (LUO Q. *et al.*, 2006)

L'hyperthermie est responsable de l'altération des cellules reproductrices et de la spermatogenèse. D'après les résultats, elle est corrélée à une diminution de l'activité de la SOD (thermosensible) et une augmentation du taux de MDA dans les tissus testiculaires. Cela indique que le système antioxydant chez les rats témoins, a été endommagé par la production de radicaux libres. Dans les quatre groupes traités sous LBP, l'activité de la SOD est augmentée. Les LBP, par piégeage des radicaux libres restaurent les dommages induits par l'hyperthermie, et ainsi favorisent la spermatogenèse.

Dans ces mêmes groupes, le taux de MDA diminue, traduisant une diminution de la peroxydation lipidique. D'après les résultats (Figure 126), l'efficacité du traitement est maximale à la dose de 10 mg de LBP/kg par jour. Les effets protecteurs du Goji s'expliquent ici par des mécanismes anti-oxydants. (LUO Q. *et al.*, 2006)

La chaleur diminue le poids des organes reproducteurs (testicules et épидидymes) ainsi que le taux d'hormones sexuelles : la testostérone, l'hormone lutéinisante (LH) et l'hormone folliculostimulante (FSH) (Figure 126). Les LBP atténuent ces variations pour ramener ces valeurs à la valeur normale (contrôle normal) voire supérieures à celles-ci, à des doses de 10 mg/kg par jour. (LUO Q. *et al.*, 2006)

L'histologie des tissus testiculaires de rats montre des tubules fortement endommagés en présence de chaleur (*cf.* B) par rapport au contrôle normal (*cf.*A) (Figure 127). (LUO Q. *et al.*, 2006)



Figure 127 : Structure et morphologie des tubules séminifères de testicules de rats, A : contrôle normal B : exposés à la chaleur C : administration de 10 mg/kg/jour de LBP après exposition à la chaleur (LUO Q. *et al.*, 2006)

L'administration de LBP restaure la structure morphologique des tubules séminifères endommagés (*cf.*C) (Figure 127), en particulier à la dose de 10 mg/kg par jour. (LUO Q. *et al.*, 2006)

Dans cette présente étude, les cellules de rats ont été soumises à du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), facteur chimique oxydant responsable de lésions de l'ADN des cellules testiculaires de souris et d'une augmentation de la peroxydation lipidique. Selon la méthode « comète », l'analyse au microscope montre que les LBP sont responsables d'un effet protecteur contre les lésions induites par le H_2O_2 (*cf.* PARTIE 3, IV, 3, 3.3). Les LBP par stimulation d'enzymes antioxydantes (superoxyde dismutase, catalase, glutathion peroxydase) protègent des dommages induits par le stress oxydatif. Dans cette étude, l'augmentation de la SOD et la diminution du taux de MDA confirme l'effet protecteur des LBP sur les testicules et les spermatozoïdes, contre les dommages oxydatifs et la peroxydation lipidique. (LUO Q. *et al.*, 2006)

Des effets stimulants sur la fonction reproductive et le comportement sexuel ont été également répertoriés après administration de LBP. La quantité des spermatozoïdes et leur mobilité, ainsi que le poids de certains organes sexuels accessoires (prépuce, prostate, levator ani), sont augmentés sous l'effet des LBP chez des rats hémicastrés (Figure 128). (LUO Q. *et al.*, 2006)

Group	n	Foreskin gland (mg/100 g)	Seminal vesicle-prostate (mg/100 g)	Laevator ani muscle (LAM) (mg/100 g)	Sperm count (no. sperm × 10 ⁶ /mL)	Sperm motility (%)
Normal control (saline) ^a	10	9.55 ± 14.21*	520.51 ± 162.75*	61.46 ± 12.80*	13.15 ± 3.36**	63.00 ± 10.69**
Negative control (HC + saline) ^a	12	33.96 ± 10.05	349.97 ± 88.55	43.22 ± 14.57	7.47 ± 2.75	45.17 ± 11.59
Positive control (HC + TP) ^b	12	55.53 ± 17.12**	1032.88 ± 235.16**	81.62 ± 23.94**	13.63 ± 2.29**	64.46 ± 12.67**
HC + LBP ^c	12	48.83 ± 14.36*	509.33 ± 175.10*	60.65 ± 19.90*	12.56 ± 3.74**	63.36 ± 11.91**

Figure 128 : Effet des LBP sur la fonction reproductive de rats hémicastrés (LUO Q. *et al.*, 2006)

5. Protection vis-à-vis de la cardiotoxicité de la doxorubicine

La doxorubicine est un agent chimiothérapeutique (intercalant) très efficace dans le traitement des tumeurs solides et hématopoïétiques. Cependant, sa cardiotoxicité dose-dépendante limite son utilisation. La doxorubicine induit la formation de radicaux oxygénés (superoxydes, hydroxyles, peroxyde d'hydrogène), responsables de désordres cellulaires (lipides, protéines, ADN). Les cardiomyocytes possèdent un taux relativement bas d'enzymes antioxydantes, rendant le cœur plus susceptible au stress oxydatif. (XIN Y. F. *et al.*, 2007)

L'effet de *Lycium barbarum* L. sur la cardiotoxicité de la doxorubicine a été analysé sur des rats répartis en 4 groupes. 2 groupes ont reçu de l'eau distillée par irrigation gastrique et 2 autres groupes ont été supplémentés par voie orale avec un extrait aqueux de *Lycium barbarum* L., pendant 3 semaines. 1 de chaque traitement (eau et extrait de LB) ont reçu par intraveineuse de la doxorubicine (5mg/kg) au 7^{ème}, 14^{ème}, et 21^{ème} jour de traitement. Le taux de mortalité obtenu chez les rats traités sous doxorubicine est de 38 % pour seulement 13 % chez les rats traités par l'extrait de LB, sous doxorubicine. (XIN Y. F. *et al.*, 2007)

L'analyse des paramètres électrographiques montrent un électrocardiogramme (ECG) normal chez les groupes traités par eau distillée et par extrait de *Lycium barbarum* L. . La doxorubicine induit des variations de l'ECG, atténuées dans le groupe traité préalablement par *Lycium barbarum* L, améliorant les arythmies et les conductions anormales. (XIN Y. F. *et al.*, 2007)

L'activité de la superoxyde dismutase et le taux de MDA dans des homogénats de cœurs des rats testés ont été analysés. Les résultats obtenus figurent dans la Figure 129:

	MDA (nmol/g tissue)	SOD (U/mg protein)
Control	36.1 ± 2.5	54.7 ± 5.7
LB	37.9 ± 2.1	47.1 ± 3.6
DOX	51.0 ± 3.6	36.6 ± 1.7
LB + DOX	39.6 ± 1.5	55.8 ± 3.3

Figure 129 : Effet de *Lycium barbarum* L. et/ou doxorubicine sur le MDA et la SOD cardiaques (XIN Y. F. *et al.*, 2007)

Le taux de MDA dans les groupes contrôle (eau distillée) et LB (extrait de *Lycium barbarum* L.) est similaire. La doxorubicine (DOX) entraîne une augmentation de MDA par rapport au groupe contrôle, atténuée en présence de *Lycium barbarum* L. (LB+DOX) Parallèlement, l'activité de la SOD est nettement diminuée par la doxorubicine, alors qu'elle est stimulée par la présence de LB. Ces résultats confirment le lien entre le stress oxydatif associé à la peroxydation lipidique et la toxicité cardiaque de la doxorubicine. Le *Lycium barbarum* L. préserve les taux d'enzymes antioxydantes (SOD) et diminue la peroxydation lipidique au niveau cardiaque. (XIN Y. F. *et al.*, 2007)

En parallèle, le traitement par *Lycium barbarum* L. a montré une réduction des enzymes cardiaques (sériques), révélatrices de dommages myocardiques (en particulier la créatinine phosphokinase et l'aspartate amino-transférase). L'analyse histopathologique des tissus cardiaques a mis en évidence la réduction partielle par le *Lycium barbarum* L. des dommages induits par la doxorubicine (vacuolisation cytoplasmique et désarrangement myofibrillaire). (XIN Y. F. *et al.*, 2007)

Le *Lycium barbarum* L. apparaît utile comme adjuvant cardio-protecteur vis-à-vis du stress oxydatif occasionné par les chimiothérapies de doxorubicine.

6. Préventions des pathologies oculaires : DMLA, cataracte

Certains caroténoïdes présents en fortes quantités dans la baie de Goji représentent un élément intéressant dans la prévention de la cataracte et dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). Le stress oxydatif lié au vieillissement, cible les jonctions des protéines assurant l'intégrité de l'épithélium rétinien et entraîne la dénaturation des protéines du cristallin. Les caroténoïdes (xanthophylles) tels que la zéaxanthine et la lutéine, sont présents dans la macula de la rétine.

Selon l'étude in vivo de BUCHELI P. *et al.* (2012), deux groupes de patients de 65 à 70 ans ont été observés : l'un supplémenté pendant 90 jours avec un lait formulé à base de baie de goji, l'autre avec un lait placebo (sans apport en baie de Goji).

Sur les 75 sujets sous placebo, 13 ont montré une progression avec une hypopigmentation de la rétine, ainsi que 2 à 5 druses. 11 sujets ont eu une augmentation significative de ces dépôts rétinien. Parallèlement, les témoins supplémentés ont conservé la pigmentation de leur rétine et les druses n'ont pas évolué. Leur taux de zéaxanthine plasmatique a augmenté de 26 % et la capacité antioxydante évaluée par chromatographie liquide haute performance, de 57 %. Plus les concentrations plasmatiques en zéaxanthine et en lutéine sont élevées, plus les risques de dégénérescence maculaire liée à l'âge diminueraient. Ainsi, une consommation régulière en baie de Goji serait bénéfique dans la prévention d'une DMLA, en augmentant la concentration d'antioxydants totaux (en particulier la zéaxanthine). Elle réduirait l'hypopigmentation maculaire et la formation de dépôts rétinien. (BUCHELI P. *et al.*, 2012)

Ces antioxydants permettent une meilleure acuité visuelle et une protection de la rétine contre les menaces des rayons UV et la formation de radicaux libres liée au stress oxydatif.

7. Photoprotection cutanée

Dans une étude, l'administration orale de jus de Goji chez des souris a mis en évidence ses effets photo-protecteurs, vis-à-vis des dommages cutanés induits par les rayonnements UV.

Le *Lycium barbarum* L. agirait au niveau cutané en diminuant la peroxydation lipidique (en accord avec les études préalablement citées) induite par les UVA. En parallèle, d'autres mécanismes ne sont pas clairement élucidés mais impliqueraient la forme OH-1 de l'hème oxygénase et les métallothionéines. Ces enzymes endogènes inductibles sont antioxydantes et protectrices du système immunitaire cutané. (REEVE V., *et al.*, 2010)

8. Autres

→ Action neuroprotectrice

L'excitotoxicité du glutamate est impliquée dans de nombreuses pathologies neurodégénératives incluant entre autres, la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson et la maladie de Huntington. (HO Y. S. *et al*, 2009)

L'étude de HO Y. S. *et al*. (2009), a mis en évidence l'action neuro-protectrice d'un extrait aqueux (LBA) de polysaccharides de *Lycium barbarum* L. contre la toxicité induite par le glutamate dans des cultures de neurones corticales de rats. Le LBA réduit significativement la mort et l'apoptose cellulaire induite par le glutamate. (HO Y. S. *et al*, 2009) Ce phénomène s'explique par la diminution de la phosphorylation de la protéine c-Jun N-terminale kinase 1 (JNK 1) induite par le glutamate et impliquée dans la modification de certains gènes amplificateurs de l'apoptose cellulaire. (réf.27.b)

→ Propriétés immunostimulantes

Les effets immuno-modulateurs de *Lycium barbarum* L. sont attribués à ses polysaccharides. Ils régulent aussi bien la réponse immunitaire innée, qu'adaptative. Ils favorisent entre autres la synthèse et l'activation des lymphocytes T, celles des cellules dites NK (Natural Killer) ainsi que la prolifération et différenciation des cytokines telles que IL₂ et le TNF- α (Tumor Necrosis Factor Alpha). Cet effet indirect permet de lutter contre les maladies d'origine infectieuse. (CHANG R. C. C., SO K. F., 2008)

Le polysaccharide LBP 3 augmente l'expression de l'ARN messager de l'interleukine 2 (IL2) et du TNF- α des cellules mononucléaires sanguines. Ces deux molécules sont impliquées dans l'immunité anti-tumorale. L'IL 2 stimule la prolifération des lymphocytes T cytotoxiques, des lymphocytes T-helper, des cellules NK et des macrophages, tous induits dans le mécanisme anti-tumoral. Le polysaccharide LBP 4 par sa teneur en glucides, stimulerait la prolifération des splénocytes isolés et des lymphocytes B. (CHANG R. C. C., SO K. F., 2008)

Dans une étude réalisée sur des cellules du cristallin, en 2003, il a été observé que la présence des polysaccharides de *Lycium barbarum* L. induisait une augmentation de la protéine Bcl-2 (B-cell lymphoma 2) en particulier Bax, une protéine pro-apoptotique. La famille des protéines Bcl-2 possède une activité sur l'apoptose, qui permet un équilibre physiologique en éliminant les cellules endommagées par autodestruction en réponse à un signal mais aussi en évitant la prolifération excessive de certaines cellules. Or dans divers cancers, on a pu retrouver plusieurs membres de la famille de la Bcl-2 à l'expression altérée, laissant supposer qu'un trouble de l'apoptose peut être à l'origine de cancers. (CHANG R. C. C. et SO K. F., 2008) Ainsi le *Lycium barbarum* L. jouerait un rôle dans les processus anti-tumoraux.

→ Prévention des complications du glaucome

L'augmentation de la pression intraoculaire dans le glaucome a été considérée comme le facteur de risque principal dans la perte progressive des cellules ganglionnaires rétiniennes. (CHAN H. C. *et al*, 2007)

Une étude a mis en évidence l'effet de l'administration orale d'un extrait aqueux de baies séchées de *Lycium barbarum* L. sur un groupe de rats présentant une hypertension oculaire (induite par photo-coagulation au laser des veines épisclérales et limbiques). (CHAN H. C. *et al*, 2007)

L'administration orale de *Lycium barbarum* L. chez des rats a montré une diminution de cette perte de cellules mais aucune variation significative de l'hypertension oculaire. Le *Lycium barbarum* L. apparaît dans cette étude comme un potentiel agent contre la neurodégénérescence de la rétine dans la pathologie du glaucome. (CHAN H. C. *et al*, 2007)

→ Divers

Selon cinq études récentes réalisées aux États-Unis en parallèle avec un placebo, une consommation quotidienne à base de jus de Goji standardisé GoChi© (soit 120 mL équivalent à 150g de fruit frais) a montré des effets notables chez les receveurs de cette boisson, dont des sentiments de bien-être général, une réduction de l'asthénie et du stress, une meilleure endurance et une meilleure performance sportive. (AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011). Le *Lycium barbarum* L. serait également diurétique, expectorant et antispasmodique. (COUPLAN F., 1983)

VI LIMITES DE L'UTILISATION DU GOJI

1. Qualité du fruit

- Facteurs influençant la qualité du fruit

La qualité et la richesse nutritionnelle de *Lycium barbarum* L. dépendent de multiples facteurs (le terrain, les conditions météorologiques, la situation géographique, la saison de récolte et les conditions d'entreposage), entrant en jeu dès la formation de la plante et modifiant ses conditions de croissance. (WANA H. W. *et al.*, 2006 ; LIU C. *et al.*, 2007)

La qualité du Goji dépendra directement de celle du sol. On peut voir sur la Figure 130, les conditions idéales du pour une croissance optimale (pastilles orange).

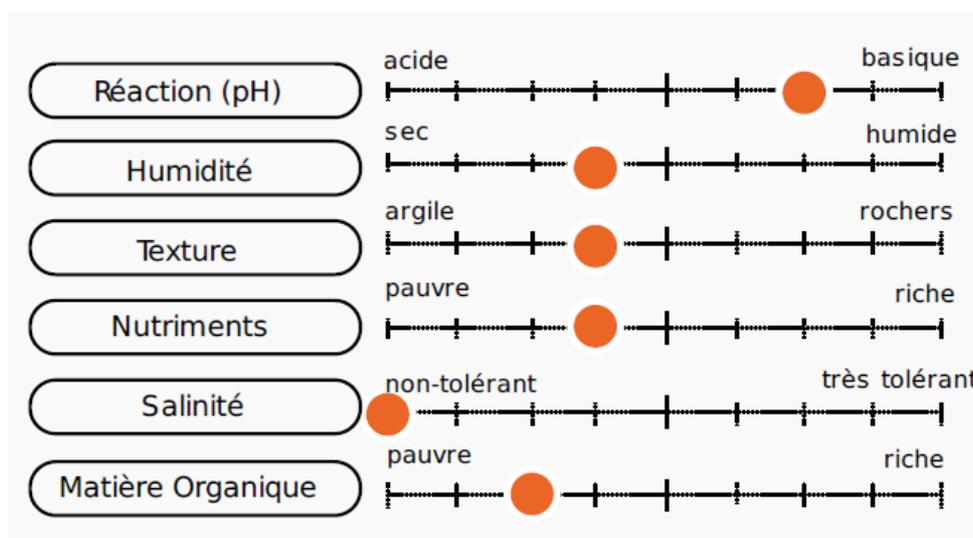


Figure 130 : Caractéristiques du sol pour la croissance optimale de *Lycium barbarum* L. (réf.47.a)

Le *Lycium barbarum* L. pousse préférentiellement dans un sol légèrement sec, alcalin, aussi bien pauvre et poreux qu'argileux. La teneur en nutriments de ce sol est moyenne et faible en matière organique. Cette plante ne pousse pas dans les terrains salins. (réf.47.a)

Les conditions climatiques influent également sur la qualité du Goji lors de sa récolte.

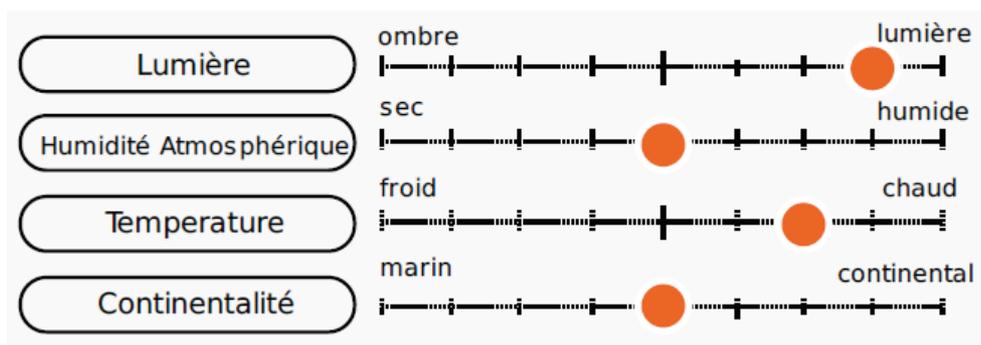


Figure 131 : Conditions climatiques influençant le développement de *Lycium barbarum* L. (réf.47.a)

La qualité de ce fruit sera optimale dans des conditions de forte exposition au soleil, de température chaude avec un taux d'humidité moyen. La plante ne résiste pas à des températures inférieures à 23°C et nécessite au minimum 180 jours d'ensoleillement sans gel pour un bon développement. (MAITRE M., 2011) (réf.47.a)

A l'état naturel, le Goji donnera une pleine production après 4 ans environ. A la suite de la floraison qui a lieu de mai à août, les fruits mûrissent du mois d'août au mois d'octobre. Les fruits deviennent comestibles lorsqu'ils sont bien mûrs. (MAITRE M., 2011)

Les microorganismes peuvent diminuer la qualité du Goji frais dans le lieu de récolte ou plus couramment lors du transport et ou du stockage. Le Goji est facilement contaminé lors de forte humidité et hautes températures, favorisant le développement de microorganismes. De plus en plus de pays pratiquent la technique d'irradiation des produits alimentaires, comme traitement et de conservation, sans chauffage et sans addition de conservateur. (WANA H. W *et al.*, 2006)

- Les contrôles

→ La qualité des baies de Goji peut être évaluée selon 2 critères précis comprenant le potentiel germinatif et l'aptitude à la culture des moisissures.

- Le potentiel germinatif correspond au pouvoir vital des graines. Pour estimer ce potentiel, les baies séchées sont mises en conditions optimales de température, d'hygrométrie et d'exposition lumineuse. Si au bout de 30 jours la germination n'apparaît pas, cela signifie que les graines ont été irradiées. Si quelques jeunes pousses apparaissent cela signifie qu'il n'y a pas eu d'irradiation. (réf.40)

- L'aptitude à la culture des moisissures est évaluée dans des boîtes de Petri. Les graines de Goji séchées, réhydratées et broyées forment le milieu de culture d'une souche d'*Aspergillus*. L'absence ou la présence de pesticides est détectée selon l'apparition d'unité formant des colonies UFC, et leur nombre. (réf.40)

L'irradiation diminue la teneur en microorganismes mais détruit également certains principes actifs. Une traçabilité optimale du fruit lors de son transport et de son stockage, serait préférable pour assurer la garantie de la conservation de ses composés actifs.

→ Des normes européennes existent pour garantir des doses maximales de pesticides, sulfites ou autres dépôts retrouvés sur les aliments. Certains lots de baies de Goji importés et vendus sous forme séchée ont déjà été identifiés avec des traces de pesticides et sulfites supérieures à ces normes. (PUNGIER V., 2012). Les analyses phytosanitaires différencient aujourd'hui le Goji non biologique du biologique, ce dernier ne devant pas renfermer un taux de pesticides supérieur à 0,01 mg/kg.

→ La certification biologique du Goji est soumise à différentes obligations. Tous les intervenants de l'importation à la transformation de baies, doivent analyser systématiquement les fruits et remettre les résultats de chaque lot au laboratoire. En outre, ils doivent fournir un état de stock et un historique d'analyse. Chacun des distributeurs de Goji doit en pratique réaliser des analyses multi-résidus pour chaque lot et chaque arrivage. En cas de lots non conformes, ces opérateurs ont pour obligation d'informer leurs partenaires et leurs clients. (MAITRE M., 2011)

→ La forme « jus » de baie de Goji est soumise à une législation précise. Ces jus doivent être sans conservateurs et non pasteurisés. En l'absence de ces deux traitements, les fabricants doivent irradier le jus pour éviter toute prolifération microbienne (ionisation obtenue par exposition aux rayonnements de cobalt₆₀ ou de césium₁₃₇). (réf.40)

→ Dans une analyse de la teneur minérale des baies de Goji séchées obtenues dans des supermarchés espagnols, différents éléments toxiques ont été retrouvés à faible teneur ; moins de 90, 230 et 40 ng/g pour le cadmium, plomb et l'étain respectivement. Ces doses ne représentent pas un risque pour la santé aux doses usuelles. Il convient cependant de rester prudent sur la provenance et les contrôles de ces aliments. (LLORENT-MARTINEZ E. J. *et al*, 2013)

2. Interactions

Quelques cas d'interactions ont été révélés, notamment sur des patients sous anticoagulants, en particulier la warfarine. Cette molécule est métabolisée par le cytochrome P 450, comme de nombreux autres substrats, et peut être ainsi la cause de diverses interactions moléculaires.

Un cas d'interaction lié au Goji fut rapporté chez une femme de 71 ans qui était sous warfarine depuis 3 mois, suite à une chirurgie. Elle fut hospitalisée pour une élévation importante de son INR*(International Normalized Ratio) accompagnée de signes hémorragiques (épistaxis et selles sanglantes). Cette hausse est apparue suite à la prise de jus de Goji, 4 jours avant l'hospitalisation. Hormis cette consommation de jus, elle n'avait changé aucune habitude alimentaire. Après arrêt de la boisson à base de Goji et remplacement de la warfarine par la phytonadione, l'INR est redescendu en 2 jours. De la même manière, 2 autres cas à ce jour, on peut confirmer la relation entre la prise de *Lycium barbarum* L. et l'augmentation de l'effet anticoagulant de la warfarine. (RIVERA C. *et al.*, 2012)

Ce même phénomène a été rapporté dans une étude réalisée sur une femme chinoise âgée de 80 ans et polymédicamentée (diabète, hypertension, autres désordres cardiovasculaires). La warfarine figurait parmi ses traitements. L'analyse de son INR a mis en évidence 2 pics d'élévation à 4,97 et 3,86, illustrés au niveau des flèches vertes dans la Figure 132. Ces hausses d'INR traduisent un risque hémorragique augmenté, 5 étant la limite au-delà de laquelle le risque est important. Chacune de ces augmentations sont apparues suite à la prise de thé à base de *Lycium barbarum* L., ce qui confirme l'interaction entre warfarine et Goji. (LEUNG H. *et al.*, 2008 ; MAITRE M., 2011)

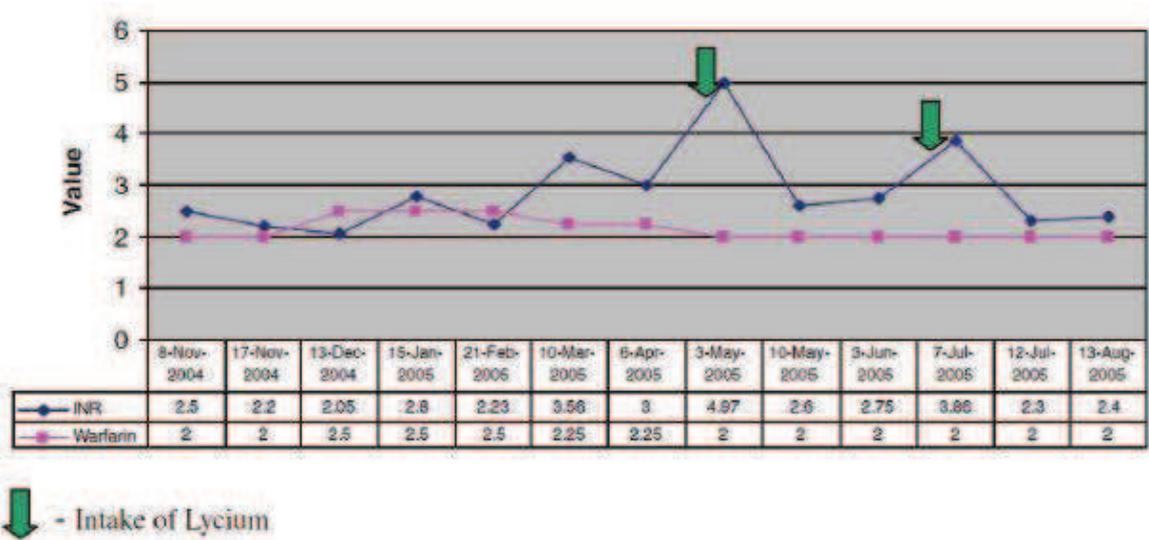


Figure 132 : Variation de l'INR en fonction du dosage de la warfarine et de la prise de *Lycium barbarum* L. (LEUNG H. *et al.*, 2008)

Un avis médical est donc indispensable pour les personnes traitées sous warfarine avant toute prise de *Lycium barbarum* L. (MAITRE M., 2011)

3. Effets indésirables

Depuis plus de 2500 ans la baie de Goji a été utilisée en tant qu'aliment et herbe médicinale selon la tradition chinoise et très peu d'effets adverses ont été rapportés suite à sa consommation. (AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011)

Cependant, à ce jour, aucune étude n'a été réalisée au long cours pour tester la toxicité de ce fruit sur l'Homme. Une étude a été réalisée sur 201 patients au total, dont un groupe, receveurs de 120 ml de jus standardisé de Goji par jour, durant 14 à 30 jours. Cette étude n'a montré aucune toxicité, aucun effet indésirable ou changement anormal aussi bien dans le groupe consommant le jus que dans le groupe placebo. Comme de nombreuses plantes issues de la famille des Solanacées, le *Lycium barbarum* L. présente des alcaloïdes comme l'atropine ou la scopolamine. En revanche, leur infime teneur ne comporte aucun risque de toxicité pour l'organisme humain. (AMAGASE H. et FARNSWORTH N. R., 2011 ; PUNGIER V., 2012)

Cette absence de toxicité a été confirmée dans un livre sur la matière médicale chinoise certifiant que la dose létale DL50 pour un extrait aqueux de baies de Goji serait de 8,32 g/kg par voie sous-cutanée chez la souris. (MAITRE M., 2011)

On compte parmi les quelques cas retrouvés, des réactions allergiques telles que des urticaires et des éruptions papuleuses. Les sujets allergiques aux aliments issus des Solanacées peuvent ne pas tolérer ces fruits. (PUNGIER V., 2012)

→ Parmi les rares effets adverses, un cas de photosensibilité systémique a été rapporté chez un homme de 53 ans. L'examen physique a révélé un érythème diffus, persistant pendant deux semaines, au niveau des zones exposées au cours d'une journée ensoleillée (Figure 133). Ce patient avait ingéré durant les derniers mois une cuillère à soupe de baie de Goji chaque matin, ainsi qu'une ou plusieurs infusions à base de liane du Pérou (*Uncaria tomentosa* (Willd. ex. Roem. & Schult.) DC.), une autre plante médicinale.

Ne portant aucun antécédent de photosensibilité, des recherches ont été réalisées en mesurant la dose érythémateuse minimale pour les rayons ultra-violet B (MED UVB), après photo-provocation et ingestion de Goji et de liane du Pérou, distinctivement. La MED UVB diminue après ingestion de baie de Goji alors qu'il reste normal après consommation de liane du Pérou. Ces résultats confirment un possible risque de photosensibilisation induite par le Goji. (GOMEZ BERNAL S. *et al.*, 2011)



Figure 133 : Erythème diffus induit par photosensibilisation après consommation de baies de Goji (GOMEZ BERNAL S. *et al.*, 2011)

→ Un cas d'hépatotoxicité a été rapporté également sur une femme Chinoise, âgée de 60 ans. Elle fut hospitalisée suite à différents symptômes ; asthénie, diarrhée non sanglante, arthralgie, colique abdominale ainsi qu'un érythème généralisé et un rash prurigineux. Durant les 10 jours qui précédaient ces symptômes, la patiente avait consommé, 3 fois par jour, du thé à base de Goji. L'hémogramme et le taux de prothrombine étaient normaux, alors que le bilan sanguin montrait une atteinte hépatique avec augmentation des enzymes hépatiques (ALAT, ASAT, γ GT, LDH). Ce mécanisme de l'atteinte n'a pas été élucidé mais serait probablement dû à des modulations d'expression des cytochromes CYP 2E1 et CYP 2C9. La conclusion de cette étude insiste sur la prévalence de l'analyse de la toxicité post-commerciale, en ce qui concerne les plantes médicinales comme le Goji. (ARROYO-MARTINEZ Q. *et al.*, 2011)

Il convient de rester prudent sur la provenance et l'identification des fruits, ainsi on déconseille toute consommation de baies à l'état sauvage. On retrouve dans certains ouvrages comme précaution d'éviter leur utilisation chez des personnes sujettes aux diarrhées ou fiévreuses. (MAITRE M., 2011)

De par le manque d'études réalisées, la Médecine Traditionnelle Chinoise préconise la prudence chez la femme enceinte et pendant l'allaitement. (PUNGIER V., 2012)

4. Conseils d'utilisation

Différentes formes de baies de Goji sont disponibles sur le marché.

→ La forme la plus couramment utilisée est la baie séchée (Figure 134). Elle peut être mangée séchée ou bien réhydratée. Elle peut être également infusée et plus ou moins filtrée si besoin, lors de fragilité intestinale par exemple. Cette baie présente une saveur âpre et légèrement sucrée à maturité. En Chine, le fruit est mangé frais et peut se conserver quelques jours. Sous forme séchée, sa conservation est d'environ 2 ans. (MAITRE M., 2011)



Figure 134 : Baie de Goji séchée (réf.6)

Selon les différentes sources, les doses recommandées diffèrent, allant de 5 à 30 g par jour de baies séchées, soit une quarantaine de baies. Pour un adulte, la ration journalière souhaitable équivaut à 20 à 30 g de baies séchées. Les baies provenant de cultures biologiques agréées par un organisme indépendant seront privilégiées. Des cures de 2 à 3 mois pourront être conseillées, au moins deux fois par an.

→ Le jus de Goji est également commercialisé, réputé sans conservateur et non pasteurisé (sinon irradié). La ration journalière dépend de la concentration en Goji.



Figure 135 : Jus de Goji (réf.20)

→ Les extraits secs de Goji en poudre sont commercialisés sous forme de gélules ou de comprimés. Les produits à base d'extraits végétaux sont plus concentrés que ceux à base de poudre totale de plante. On peut retrouver sur certains étiquetages certaines mentions comme « un extrait de Goji à 10 » signifiant que 10 kg de baies séchées ont été utilisées pour produire 1 kg d'extrait sec. La posologie conseillée est de 1 à 4 gélules à 250 mg d'extrait sec. Les gélules à 145 mg d'extrait sec de fruit de Goji comportent 58 mg de polysaccharides. En équivalence, 1 gélule correspondrait à la teneur en principes actifs de 10 baies de Goji.



Figure 136 : Extrait sec de baie de Goji en gélules (réf.37)

La synergie des différents composants de la baie joue un rôle important dans les propriétés, en particulier antioxydantes. Ainsi, les extraits de polysaccharides seraient moins efficaces que ceux de la baie entière. (LUO Q. *et al.*, 2004 ; PUNGIER V., 2012 ; LLORENT-MARTINEZ E. J. *et al.*, 2013)

Selon les formes d'utilisation, la teneur nutritionnelle peut varier. D'après une étude, les teneurs minérales retrouvées dans les jus à base de Goji étaient plus basses que celles contenues dans les baies séchées et celles des capsules similaires ou encore plus élevées. (LLORENT-MARTINEZ E. J. *et al.*, 2013)

CONCLUSION

Le recours à des thérapies traditionnelles telles que la phytothérapie, est en plein essor dans notre société actuelle. Qu'il s'agisse de professionnels médicaux ou de politiques gouvernementales, les bienfaits sur la santé d'un régime riche en fruits et légumes, sont de plus en plus valorisés. Dans l'effervescence marketing, est apparu le terme de « superfruit», regroupant un ensemble de fruits aux teneurs particulièrement élevées en nutriments et/ou en composés phytochimiques, tels que les antioxydants.

Ce travail nous a permis de présenter de façon synthétique les principaux superfruits européens (cassis, myrtille et épine-vinette) et exotiques (açai, acérola, canneberge, grenade, mûre, noni et papaye) avec leur composition, et de les comparer à la baie de Goji (*Lycium barbarum* L) dont nous avons particulièrement développé l'étude sous différents aspects.

Le Goji, arbrisseau originaire de l'Asie mineure, est depuis longtemps cultivé en Chine et utilisé dans la médecine traditionnelle chinoise. La composition chimique de sa baie a fait l'objet d'études scientifiques depuis les années 80, en raison de la présence de nombreux constituants, notamment aux activités anti-oxydantes intéressantes (majoritairement des polysaccharides spécifiques, mais aussi des caroténoïdes et des polyphénols).

Le stress oxydatif est en effet un facteur responsable de nombreux dommages cellulaires, induits par la production de radicaux libres. Les composés antioxydants permettent de lutter contre le vieillissement global de l'organisme, en diminuant ces attaques radicalaires. Certaines méthodes analytiques ORAC ou TEAC, permettant d'évaluer le potentiel antioxydant d'un aliment ont été présentées, et confirment le fort pouvoir antioxydant de la baie de Goji, par rapport à d'autres superfruits.

Au vu de ces résultats prometteurs, et dans un cadre de prévention de santé, le Goji suscite un engouement scientifique mais aussi une mouvance commerciale. D'où l'importance d'un contrôle rigoureux de sa provenance, de son identification exacte et de sa qualité en terme de teneur en pesticides.

Un gros travail reste à faire toutefois quant à sa traçabilité, garante d'une qualité optimale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABITBOL S., La baie d'acai : un superfruit, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Paris Descartes, 2011

AHMAD V. U. et SULTAN M. A., (1980), Isolation of betaine from *Lycium barbarum*, *J. Chem. Soc. Pak.*, Vol. 2, n°3, 1980

AMAGASE H., FARNSWORTH N. R., (2011), A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of *Lycium barbarum* fruit (Goji), *Food Research International*, 44, 1702–1717

AMAGASE H., SUN B., BOREK C., (2009), *Lycium barbarum* (goji) juice improves in vivo antioxidant biomarkers in serum of healthy adults, *Nutrition Research*, Vol. 29, 19-25

AMIOT M.- J., COXAM V., STRIGLER F., *Les phytomicronutriments*, Editions Lavoisier, Tech & Doc, 2012

ARAMWIT P., BANGA N., SRICHANA T., (2010), The properties and stability of anthocyanins in mulberry fruits, *Food Research International* 43, 1093-1097

ARNAL B., BUREAU L, LE JEUNE R., (2008), La canneberge d'Amérique, propriétés et indications, *Phytothérapie*, Vol. 6, 129-132

ARNAUD P., JAMART B., BODIGUEL J., BROUSSE N., *Chimie organique – Cours, QCM et applications*, 17^e édition revue et augmentée, Editions Dunod, Paris, 2006

ARROYO-MARTINEZ Q., JIMENEZ SAENZ M., ARGUELLES ARIAS F., SAN JUAN ACOSTA M., (2011), *Lycium barbarum*: A new hepatotoxic “natural” agent?, *Digestive and Liver Disease*, Vol. 43, Issue 9, 749

ATLINTAS A., KOSAR M., KIRIMER N., BASER K.H.C., DEMIRCI B., (2006), COMPOSITION OF THE ESSENTIAL OILS OF *Lycium barbarum* AND *L. ruthenicum* FRUITS, *Chemistry of Natural Compounds*, Vol. 42, n° 1

BAROUKI R., Stress oxydant et vieillissement, MEDECINE/SCIENCES, n°3, vol. 22, mars 2006, 266-272

BELIN N., L'acérola, (17 mars 2012). *Le Moniteur des pharmacies*, n°2925, Cahier 1, 66

BERTRAM J. S., VINE A. L., (2005), Cancer prevention by retinoids and carotenoids: Independent action on a common target, *Biochimica et Biophysica Acta* 1740, 170-178

BONNEFONT-ROUSSELOT D., GALINIER A., (2007), Vitamine B₂, *Cahier de formation Bioforma, Les vitamines*, 84-97

BONNIER G., *La grande flore en couleurs de Gaston Bonnier*, Editions Belin, Paris, 1990

BOTINEAU M., *Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs*, Editions Tech & Doc., LAVOISIER, 2010

BOULLARD B., *Plantes médicinales du monde – Croyances et réalités*, Editions ESTEM, 2001

BUBENICEK L., *Dictionnaire des plantes comestibles*, Editions l'Harmattan, 2001

BUCHELI P., VIDAL K., SHEN L., GU Z., ZHANG C., MILLER L. E., WANG J., (2012), Goji berry effects on macular characteristics and plasma antioxidant levels, *Optometry and Vision Science*, Vol. 88, n°2, 257-262

BURLE A., Baie d'acai : superfruit en devenir, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Paris-Sud, 2012

BRUNETON J., *Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales*, 4^{ème} édition, Editions TEC & DOC, 2009

BUTKHUP L., SAMAPPITO W., SAMAPPITO S., (2013), Phenolic composition and antioxidant activity of white mulberry (*Morus alba* L.) fruits, *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 934–940

CHAN H. C., CHANG R. C., KOON-CHING I., CHIU K., YUEN W. H., ZEE S. Y., SO K. F., (2007), Neuroprotective effects of *Lycium barbarum* Lynn on protecting retinal ganglion cells in an ocular hypertension model of glaucoma, *Experimental Neurology*, 203, 269-273

CHAN-BLANCO Y., VAILLANT F., MERCEDES PEREZB A., REYNESC M., BRILOUETC J.- M., BRATC P., (Sept.-Nov. 2006). The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.) : A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties, *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol. 19, Issues 6–7, 645-654

CHANFORAN C., Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate, Thèse de Doctorat en Sciences, Université d'Avignon, 2010

CHANG R. C. C., SO K. F., (2008), Use of anti-aging herbal medicine, *Lycium barbarum*, against aging-associated diseases. What do we know so far ? , *Cell Mol Neurobiol*, 28, 643-652

CHAPPUIS P., *Les oligoéléments en médecine et biologie*, Editions TEC & DOC, Paris, 1991

CHEN C. H., LIN T. P., CHUNG Y. L., LEE C. K., YE H. D. B., CHEN S. Y., (2009), Determination of antioxidative properties of *Morinda citrifolia* using near supercritical fluid extraction, *Journal of Food and Drug Analysis*, Vol. 17, No. 5, Pages 333-341

CHEN Y. W. *La pharmacopée chinoise. Les herbes médicinales usuelles*. 中药学, Editions You Feng, 2008

- CHENG D., KONG H., (2011), The Effect of *Lycium Barbarum* Polysaccharide on Alcohol-Induced Oxidative Stress in Rats, *Molecules*, 16, 2542-2550
- COUPLAN F., *Le régal végétal – Plantes sauvages comestibles*, Editions Debard, Paris, 1983
- COUSIN A., L'épine-vinette, *Berberis vulgaris L.* : étude phytochimique et activité biologique, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Paris Descartes, 2005
- CUVELIER I., (2007), Vitamine B₅, *Cahier de formation Bioforma, Les vitamines*, 114-124
- DAUVERGNE A., GALINIER A., (2007), Vitamine B₁, *Cahier de formation Bioforma, Les vitamines*, 74 – 83
- DELATTRE J., BEAUDEUX J.- L., BONNEFONT-ROUSSELOT D., *Radicaux libres et stress oxydant : aspects biologiques et pathologiques*, Editions Lavoisier, 2007
- DELAVEAU P., *Expliquez-moi les plantes, Voyage en botanique*, Paris, Editions Pharmathèmes, 2003
- DUPONT F., GUIGNARD J.- L., *ABREGES, Botanique, Les familles de plantes*, Editions Elsevier Masson, Issy-les-Moulineaux, 2012
- ERCISLI S., ORHAN E., (2007), Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits, *Food Chemistry*, 103, 1380-1384
- EVERSLEY T. C., Le potentiel antioxydant de l'alimentation tel qu'estimé par le score ORAC : une comparaison des apports des personnes âgées avec démence du type Alzheimer avec ceux des témoins sans problèmes cognitifs, Mémoire de Nutrition, Université de Montréal, 2012
- FATEHI M., SALEH T. M., FATEHI-HASSANABAD Z., FARROKHFAL K., JAFARZADEH M., DAVODI S., (2005), A pharmacological study on *Berberis vulgaris* fruit extract, *Journal of Ethnopharmacology*, 102, 46-52
- FAURE C., DUPONT C., SERMONDADE N., LEVY R., (2011), Antioxydants et infertilité masculine, *Médecine de la Reproduction, Gynécologie Endocrinologie*, 13 (4) : 275-83
- FAURE H., (2007), Les caroténoïdes, *Cahier de formation bioforma, Les vitamines*, 29-39
- FAVIER A., (2006), Stress oxydant et pathologies humaines, *Annales Pharmaceutiques Françaises*, Vol. 64, Issue 6, 390-396
- FEVRE F., METAILIE G., *Dictionnaire RICCI des plantes de Chine*, Les Editions du cerf, 2005
- FLEURENTIN J., *Plantes médicinales, Traditions et thérapeutique*, Rennes, Editions OUEST-France, 2008
- FUKUDA T., YOKOYAMA, OHASHI H., (2001), Phylogeny and biogeography of the Genus *Lycium* (Solanaceae): inferences from chloroplast DNA sequences, *Molecular phylogenetics and evolution*, vol. 19, Issue 2, 246-258

GAO Z., ALI Z., KHAN I. A., (2008), Glycerogalactolipids from the fruit of *Lycium barbarum*, *Phytochemistry*, 69, 2856–2861

GARCIA I., DRAI J., (2007), Niacine, *Cahier de formation bioforma, Les vitamines*, 98-113

GARCIA I., DRAI J., (2007), Vitamine B₆, *Cahier de formation bioforma, Les vitamines*, 125-140

GARDES-ALBERT M., BONNEFONT-ROUSSELOT D., ABEDINZADEH Z., JORE D., (Nov-dec. 2003), Espèces réactives de l’oxygène – Comment l’oxygène peut-il devenir toxique ? , *L’actualité chimique*, 91-96

GAYOSSO-GARCIA SANCHO L. E., GONZALEZ-AGUILAR G. A., YAHIA E. M.,(2011), Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD-MS/MS-ESI, *Food research international*, 44, 1284-1291

GEORGE PHILIP LTD., *Géographie, Atlas de poche*, Références Larousse, Paris, 1992, 343 p.

GERBAKA S., Le cassis (*Ribes nigrum* L.) : Etude botanique, chimique et effets thérapeutiques, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Grenoble, 2013

GIL M., TOMAS-BARBERAN F., HESS-PIERCE B., HOLCROFT M., KADER A., (2000), Antioxidant Activity of Pomegranate Juice and Its Relationship with Phenolic Composition and Processing, *J. Agric. Food Chem.* , 48, 4581-4589

GOMEZ BERNAL S., RODRIGUEZ PAZOS L., GARCIA MARTINEZ F. J., GINARTE M., TERESA M., GRANADOS R., TORIBIO J., (2011), Systemic photosensitivity due to Goji berries, *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, n° 27, 245-247

GRAVOT A., Introduction au métabolisme secondaire chez les végétaux, Cours de physiologie végétale, Université de Rennes, 2009

GU S., WANG P. L., JIANG R., (2007), A study on the preventive effect of *Lycium barbarum* polysaccharide on the development of alcoholic fatty liver in rats and its possible mechanisms, *Zhonghua Gan Zang Bing Za Zhi*, Mar 15 (3):204-8

GUEANT J.- L., VILLAUME C., COVI G., (2007), Folates, Vitamine B₉, *Cahier de formation bioforma, Les vitamines*, 151-162

GUILLAND J.- C., LE MOEL G., (2007), Vitamine C, *Cahier de formation bioforma, Les vitamines*, 176-189

GUILLAND J.- C., LEQUEU B., Encyclopédie des vitamines, Du nutriment au médicament, Volume 1 - Données fondamentales : métabolisme et fonctions, Editions TEC & DOC, Paris, 2009

GUILLAND J.- C., LEQUEU B., Encyclopédie des vitamines, Du nutriment au médicament, Volume 2 – Aspects nutritionnels, Editions TEC & DOC, Paris, 2009

GUILLERMINET P., L’acérola, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Lyon, 2007

HARTMANN T., Le *Lycium barbarum* et ses polysaccharides, Thèse de doctorat en pharmacie, Université de Strasbourg, 2012

HENNEBELLE T., SAHPAZ S., BAILLEUL F., (2004), Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif, *Phytothérapie*, n°1, 3-6

HEYWOOD V. H., *LES PLANTES A FLEURS, 306 familles de la flore mondiale*, Paris, Edition NATHAN, 2002

HO Y. S., YU M. S., YIK S.Y., YUEN W.H., CHANG R.C., (2009), Polysaccharides from wolfberry antagonizes glutamate excitotoxicity in rat cortical neurons, *Cell Mol Neurobiol.*, 29, 1233-1244

JOSSO A., Place de la busserole et de la canneberge dans la prise en charge des cystites aiguës simples, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Nantes, 2009

JUDD W. S., CAMPBELL C. S., KELLOGG E. A., STEVENS P., *BOTANIQUE SYSTEMATIQUE UNE PERSPECTIVE PHYLOGENETIQUE*, Paris, De Boeck Université, 2002, 467 p.

KOECHLIN-RAMONATXO C., (2006), Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydantes ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires, *Nutrition clinique et métabolisme*, Vol.20, 165-177

LANSKY E. P., NEWMAN R. A., (2007), Punica granatum (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer, *Journal of Ethnopharmacology*, 177-206

LEUNG H., HUNG A., HUI A. C. F., CHAN T. Y. F., (2008). Warfarin overdose due to the possible effects of *Lycium barbarum* L., *Food and Chemical Toxicology*, Vol. 46, 1860-1862

LI X. L., ZHOU A. G., LI X. M., (2007), Inhibition of *Lycium barbarum* polysaccharides and *Ganoderma lucidum* polysaccharides against oxidative injury induced by c-irradiation in rat liver mitochondria, *Carbohydrate Polymers*, Vol. 69, 172-178

LI X. M., (2007), Protective effect of *Lycium barbarum* polysaccharides on streptozotocin-induced oxidative stress in rats, *International Journal of Biological Macromolecules*, 40, 461–465

LI X. M., MA Y.L., LIU X.J., (2007), Effect of the *Lycium barbarum* polysaccharides on age-related oxidative stress in aged mice, *Journal of Ethnopharmacology*, 111, 504–511

LIM T. K., (2013), Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants, Volume 6, Fruits, Springer, p.240

LIU C., XUE Y., YE Y., YUAN F., LIU J., SHUANG J., (2007), Extraction and Characterization of Antioxidant Compositions From Fermented Fruit Juice of *Morinda citrifolia* (Noni), *Agricultural Sciences in China*, Vol. 6, Issue 12, 1494-1501

LLORENT-MARTINEZ E. J., FERNANDEZ-DE CORDOVA M. L., ORTEGA-BARRALES P., RUIZ-MEDINA A., (2013), Characterization and comparison of the chemical composition of exotic superfoods, *Microchemical Journal*, 110, 444-451

LUO Q., CAI Y., YAN J., SUN M., CORKE H., (2004), Hypoglycemic and hypolipidemic effects and antioxidant activity of fruit extracts from *Lycium barbarum*, *Life Sciences* 76, 137–149

LUO Q., LI Z., HUANG X., YAN J., ZHANG S., CAI Y. Z., (2006), *Lycium barbarum* polysaccharides: Protective effects against heat-induced damage of rat testes and H₂O₂-induced DNA damage in mouse testicular cells and beneficial effect on sexual behavior and Reproductive function of hemicastrated rats, *Life Sciences*, 79, 613–621

MADDALUNO J., BELLOSTA V., CHATAIGNER I., COUTY F., HARRISON-MARCHAND A., LASNE M.- C., ROUDEN J., GARCIA L., *Chimie organique – Tout le cours en fiches*, Editions Dunod, Paris, 2013

MAILLEFERT O., *Vaccinium myrtillus L. : une plante médicinale à anthocyanosides*, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Grenoble, 2010

MAITRE M., *Etude d'une plante traditionnelle du Tibet : le goji, Lycium barbarum (Solanaceae)*, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Besançon, 2011

MANG K., ZHANGA X. J., HANB Z. H., YUA H. Y., LINB Y., ZHANGA W. G., SUNA F. H., WANGA T. J., (2011), Extraction, purification of *Lycium barbarum* polysaccharides and bioactivity of purified fraction, *Carbohydrate Polymers*, Vol. 86, 136-141

MARTIN A., *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, 3^{ème} édition, Editions TEC & DOC, Paris, 2007

MASCLEF A., *Atlas des plantes de France utiles, nuisibles, et ornementales*, Editions Belin, Paris, 1987

MEDART J., *Manuel pratique de nutrition, L'alimentation préventive et curative*, 2^{ème} édition, Editions De Boeck, Paris, 2009

MERIENNE P., *Atlas mondial*, Rennes, Editions OUEST-France, 2009, 48 p.

MEZOUAR D., *Recherche d'activités biologiques de Berberis vulgaris*, Mémoire de Biologie, Algérie, 2012

MING M., GUANHUA L., ZHANHAI Y., GUANG C., XUAN Z., (2009), Effect of the *Lycium barbarum* polysaccharides administration on blood lipid metabolism and oxidative stress of mice fed high-fat diet in vivo, *Food Chemistry*, Vol. 113, 872–877

MOTALLEB G., HANACHI P., KUA S.H., FAUZIAH O., ASMAH R., (2005), Evaluation of phenolic content and total antioxidant activity in *Berberis vulgaris* fruit extract, *Journal of biological sciences*, Vol.5, Issue 5, 648-653

MOTOHASHI N., WAKABAYASHI H., KURIHARA T., FUKUSHIMA H., YAMADA T., KAWASE M., SOHARA Y., TANI S., SHIRATAKI Y., SAKAGAMI H., SATOH K., NAKASHIMA H., MOLNAR A., SPENGLER G., GYEMANT N., UGOCSAI K., MOLNAR J., (2004), Biological activity of Barbados cherry (*Acerola* fruits, fruit of *Malpighia emarginata* DC) extracts and fractions, *Phytotherapy research*, Vol. 18, 212-223

- NETO C., (2007), Cranberry and blueberry: Evidence for protective effects against cancer and vascular diseases, *Molecular nutrition & food research*, Vol. 51, 652-664
- OPARA E. C.; ROCKWAY S. W., (2006), Antioxidants and micronutrients, *Disease-a-Month*, Vol. 52, Issue 4, 151-163
- PASTRE J., INTERÊT DE LA SUPPLEMENTATION EN ANTIOXYDANTS DANS L'ALIMENTATION DES CARNIVORES DOMESTIQUES, Thèse de doctorat Vétérinaire, Université Paul-Sabatier de Toulouse, 2005
- PELLANDA H., Expression des enzymes de la reméthylation de l'homocystéine et effets épigénétiques de la mycotoxine FB1 (fumonisine) dans l'hépatocarcinome, Thèse de doctorat en Sciences de la Vie et de la Santé, Université de Lorraine, 2012
- PELT J.- M., *Ces plantes que l'on mange*, Paris, Editions Chêne, 2009, 183 p.
- PENG X., TIAN G., (2001), Structural characterization of the glycan part of glycoconjugate LbGp2 from *Lycium barbarum* L., *Carbohydrate Research*, 331 95–99
- PILLAI PIARU S., MAHMUD R., SHAH ABDUL MAJID A. M., DAOUD Z., NASSAR M., (2012), Antioxidant and antiangiogenic activities of the essential oils of *Myristica fragrans* and *Morinda citrifolia*, *Asian pacific journal of tropical medicine*, 294-298
- PINCEMAIL J., BONJEAN K., CAYEUX K., DEFRAIGNE J-O, (2002), Nutrition et stress oxydant - Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante, *Nutrition clinique et métabolisme*, 16, 233-239
- PLOTON C., Etude comparative de l'activité antiradicalaire de plusieurs espèces de *Ribes* en vue d'une utilisation cosmétique, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Lyon, 2001
- POPOVICI V., SAYKOVA I., TYLKOWSKI B., (2009), Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH, *Revue de génie industriel*, Vol. 4, 25-39
- POTTERAT O., (2010), Goji (*Lycium barbarum* and *L. chinense*): Phytochemistry, Pharmacology and Safety in the Perspective of Traditional Uses and Recent Popularity, *Planta Med*, 76, 7-19
- PUNGIER V., Les baies de goji, *Le Moniteur des pharmacies*, n°2947, Cahier 1, 8 septembre 2012, 70
- RAHIMI R., NIFKAR S., LARIJANI B., ABDOLLAHI M., (2005), A review on the role of antioxidants in the management of diabetes and its complications, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 59, 365–373
- REEVE V., ALLANSON M., ARUN S.J., DOMANSKI D., PAINTER N., (2010), Mice drinking goji berry juice (*Lycium barbarum*) are protected from UV radiation-induced skin damage via antioxidant pathways, *Photochem Photobiol Sci.*, 9, 601-607

RIVERA C., FERRO C. L., BURSUA A.J., GERBER B., (2012), Probable Interaction between *Lycium barbarum* (Goji) and warfarin, *Pharmacotherapy*, 32(3):298

ROUSSEL A.- M., (2009), Qui manque d'antioxydants, et comment le savoir ?, *Cahiers de nutrition et de diététique*, Vol. 44, 230-236

SAKAI K., MATSUMOTO K., NISHIKAWA T., SUEFUJI M., NAKAMARU K., HIRASHIMA Y., KAWASHIMA J., SHIROTANI T., ICHINOSE K., BROWNLEE M., ARAK E., (2003), Mitochondrial reactive oxygen species reduce insulin secretion by pancreatic b-cells, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 300, 216–222

SARASWATHI C. D., PRAKASH W. S., KUNAL P. W., (2012), Anti-arthritic activity of *Morinda citrifolia* L. fruit juice in Complete Freund's adjuvant induced arthritic rats, *Journal of Pharmacy Research*, Vol.5, Issue 2, 1236-1239

SHAMSA F., AHMADIANI A., KHOSROKHAVAR R., (1999), Antihistaminic and anticholinergic activity of barberry fruit (*Berberis vulgaris*) in the guinea-pig ileum, *Journal of Ethnopharmacology*, 64, 161-166

SHARAMON S., BAGINSKI B. J., *La baie de goji – Un fruit hors du commun au pouvoir antioxydant surpuissant*, Paris, Editions Médicis, 2009, 188 p.

SINGH N. P., McCOY M. T., TICE R. R., SCHNEIDER E. L., (1988), A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells, *Experimental Cell Research*, 175, 184-191

SPICHIGER R.- E., SAVOLAINEN V., FIGEAT M., JEANMONOD D., *Botanique systématique des plantes à fleurs Une approche phylogénétique nouvelle des Angiospermes des régions tempérées et tropicales*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, Collection Biologie, 2004, 413 p.

SPILLER G., SPILLER M., *Tout savoir sur les fibres, Un régime alimentaire riche en fibres, gage d'une bonne santé*, Editions le mieux-être, Montebello, 2007, 319 p.

STEPHEN INBARAJ B., LUA H., KAOA T.H., CHENA H., (2010), Simultaneous determination of phenolic acids and flavonoids in *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC–DAD–ESI–MS, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51 549–556

UDANI J. K., SINGH B. B., SINGH V. J., BARETT M. L., (2011), Effects of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) berry preparation on metabolic parameters in a healthy overweight population: A pilot study, *Nutrition journal*, 10:45

UNITE DE SURVEILLANCE ET D'EPIDEMIOLOGIE NUTRITIONNELLE, *Table de composition des aliments*, Editions Economica, Paris, 2013, 294 p.

VASSON M.- P., GOUDABLE J., HININGER-FAVIER I., *Conseil en compléments alimentaires*, Editions Groupe Liaisons SA, 2007

- VASSON M.- P., JARDEL A., Principes de nutrition pour le pharmacien, Editions TEC & DOC, Paris, 2005
- VERCAUTEREN J., *Plan, schémas, formules du cours de pharmacognosie*, Université de Montpellier, 2006
- VERCAUTEREN J., *Phytonutriments : intérêts nutritionnels et thérapeutiques*, Montpellier, 2013
- VILADOMIU M., HONTECILLAS R., LU P., BASSAGANYA-RIERA J., (2013), Preventive and prophylactic mechanisms of action of pomegranate bioactive constituents, *Hindawi Publishing corporation, Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Vol. 2013, 18 pages
- VIUDA-MARTOS M., FERNANDEZ-LOPEZ J., PEREZ-ALVAREZ J.A., (2010), Pomegranate and its any Functional Components as Related to Human Health: A Review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol.9, 635-654
- WANG C. C, CHANG S. C, CHEN B. H., (2009), Chromatographic determination of polysaccharides in *Lycium barbarum* Linnaeus, *Food Chemistry*, 116 595–603
- WANG C. C., CHANG S. C., INBARAJ S., CHEN B. H., (2010), Isolation of carotenoids, flavonoids and polysaccharides from *Lycium barbarum* L. and evaluation of antioxidant activity, *Food Chemistry*, 120, 184-192
- WANA H. W, CHUNGB H. P., CHOUB F. I., LINC I. H., HSIEHC P. C., (2006), Effect of gamma irradiation on microbial decontamination, and chemical and sensory characteristic of lycium fruit, *Radiation Physics and Chemistry*, Vol.75, 596-603
- WEST J. B., SABIN R. A., (2012), Efficacy of a *Morindia citrifolia* Based Skin Care Regimen, *Current Research Journal of Biological Sciences*, 4(3): 310-314
- WU H., GUO H., ZHAO R., (2006), Effect of *Lycium barbarum* Polysaccharide on the Improvement of Antioxydant Ability and DNA Damage in NIDDM rats, *The Pharmaceutical Society of Japan*, 126 (5), 365-371
- WU H. T., HEB X. J., HONG Y. K., MA T., XU Y. P., LI H. H., (2010), Chemical characterization of lycium barbarum polysaccharides and its inhibition against liver oxidative injury of high-fat mice, *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 46, 540-543
- XIAO J., LIONG A. C., CHING Y. P., CHANG. R. C. C., SO K. F., FUNG M. L., TIPOE G. L., (2012), *Lycium barbarum* polysaccharides protect mice liver from carbon tetrachloride-induced oxidative stress and necroinflammation, *Journal of Ethnopharmacology* 139, 462– 470
- XIN Y. F., ZHOU G. L., DENG Z. Y., CHEN Y. X., WU Y. G., XU P. S., XUAN Y. X., (2007), Protective Effect of *Lycium barbarum* on Doxorubicin-induced Cardiotoxicity, *Phytotherapy research*, 21, 1020-1024

ZOVKO KONCIC M., KREMER D., KARLOVIC K., KOSALEC I., (2010), Evaluation of antioxidant activities and phenolic content of *Berberis vulgaris* L. and *Berberis croatica* Horvat, *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2176–2180

ZHANG Z., XIAOMING LIU., ZHANG X., LIU J., HAO Y., YANG X., WANG Y., (2011), Comparative evaluation of the antioxidant effects of the natural vitamin C analog 2-O- β -D-glucopyranosyl-L-ascorbic acid isolated from *Goji* berry fruit, *Archives of Pharmacal Research*, Vol. 34, n°5, 801-810

ZULUETA A., ESTEVE M.J., FRIGOLA A., (2009), ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products, *Food Chemistry*, Vol. 114, 310-316

REFERENCES SITOGRAPHIQUES

1. www.acaibaie.com
 - <http://acaibaie.com/wp-content/uploads/2012/09/acai-minceur-dhea.jpg>, consulté en décembre 2013
2. www.acaiberry-australia.com
 - www.acaiberry-australia.com.au/ACAI_ORAC_table_5.pdf, consulté en mai 2014
3. www.aliments-riches.net
 - www.aliments-riches.net/aliments-riches-en-vitamine-b1/, consulté en mai 2014
4. www.anses.fr
 - a) <https://www.anses.fr/fr/content/vitamine-carot%C3%A9no%C3%AFdes-provitaminiques>, consulté en septembre 2013
 - b) <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/>, consulté en mai 2014
5. www.ars.usda.gov
 - <http://www.ars.usda.gov/services/docs.htm?docid=15866&pf=1>, consulté en décembre 2013
6. www.biologiquement.com
 - http://www.biologiquement.com/goji-certifie-green-food_1_goji-green-food-500g_goji-green-food-ningxia-coeur-d-himalaya-500-g__goji-seche-ningxia-super-fruit-anti-oxydant-lycium-barbarum-500-g.html, consulté en juin 2014
7. www.biologiedelapeau.fr
 - http://biologiedelapeau.fr/spip.php?page=forum&id_article=64#outil_sommaire_1, consulté en avril 2014
8. www.bonnier.flora-electronica.com
 - a) <http://bonnier.flora-electronica.com/menus/087-Solanees/Lycium%20afrum%203.html>, consulté en décembre 2013
 - b) <http://bonnier.flora-electronica.com/menus/087-Solanees/Lycium%20europaeum%202.html>, consulté en décembre 2013
9. www.centrum.ca
 - www.centrum.ca/sites/centrum.ca/files/Nov_2005_report.pdf, consulté en mai 2014
10. www.chambon.ac-versailles.fr
 - <http://www.chambon.ac-versailles.fr/science/sante/stress/mg/role.htm>, consulté en janvier 2014

11. <http://www.chem.umass.edu>
 - www.chem.umass.edu/~cmartin/Courses/Chem250/Sugars/index.html

12. www.chu-lyon.fr
 - http://www.chu-lyon.fr/web/attached_file/conseils_dietetiques.pdf?ComponentId=kmelia16&attachmentId=13962, consulté en mai 2014

13. www.chups.jussieu.fr
 - a) <http://www.chups.jussieu.fr/polys/biochimie/SGLbioch/POLY.Chp.2.html>, consulté en juin 2014
 - b) <http://www.chups.jussieu.fr/polys/biochimie/BMbioch/POLY.Chp.1.2.html>, consulté en mars 2014

14. www.cours-pharmacie.com
 - <http://www.cours-pharmacie.com/biologie-vegetale/architecture-vegetale.html>, consulté en janvier 2014

15. www.crdp.ac-besancon.fr
 - a) http://crdp.ac-besancon.fr/flore/Solanaceae/especes/lycium_barbarum.htm, consulté en mai 2014
 - b) http://crdp.ac-besancon.fr/flore/Solanaceae/especes/lycium_chinense.htm, consulté en mai 2014

16. www.e-campus.uvsq.fr
 - www.e-campus.uvsq.fr/claroline/backends/download.php?url=L0VQb3Vwb25QbGFuX2NoYXBpdHJlXzMucGRm&cidReset=true&cidReq=MPNC2010, consulté en mai 2014

17. www.erudit.org/
 - <http://id.erudit.org/iderudit/008122ar>, consulté en juillet 2013

18. www.fruitiers-rares.info
 - www.fruitiers-rares.info/articles87a92/article87pag1-fructification-murier-blanc.html, consulté en mai 2014

19. www.fsr.um5a.ac.ma
 - <http://www.fsr.um5a.ac.ma/cours/biologie/bakri/Glucides.pdf>, consulté en avril 2014

20. www.greenweez.com
 - <http://www.greenweez.com/elite-naturel-jus-de-goji-bio-500ml-p9336?ectrans=1&gclid=CNzR9NaX4b4CFQbMtAodjjMAMw>, consulté en juin 2014

21. www.gustaveroussy.fr

- http://www.gustaveroussy.fr/service.php?p_m=download&p_file=recherche/umr1018/consommation_elevee_beta_carotene.pdf, consulté en avril 2014
- 22. www.heds-ge.ch
 - http://www.heds-ge.ch/diet/encyclopedie/baie_de_goji_09.pdf, GIORDANO I., La baie de goji un trésor de la nature, Haute école de santé de Genève, consulté en mai 2013
- 23. www.ibflorestas.org.br
 - <http://ibflorestas.org.br/loja/mudas/muda-70a1m-acerola.html>, consulté en avril 2014
- 24. www.iep-eu.com
 - http://www.iep-eu.com/img-user/Stress_oxydant.pdf, consulté en mai 2014
- 25. www.inserm.fr
 - www.inserm.fr/espace-journalistes/le-resveratrol-un-polyphenol-aux-proprietes-benefiques, consulté en mai 2014
- 26. www.issg.org
 - <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=1559&lang=EN>, consulté en mai 2014
- 27. www.jle.com
 - a) http://www.jle.com/e-docs/00/04/4E/FD/vers_alt/VersionPDF.pdf, consulté en mai 2014
 - b) <http://www.jle.com/e-docs/00/04/0E/27/article.phtml>, consulté en juin 2014
- 28. www.legifrance.gouv.fr
 - http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=B0FD35740659320BE5052A873D6D023E.tpdjo09v_1?idArticle=LEGIARTI000022090209&cidTexte=LEGITEXT000006060365&dateTexte=20121216, consulté en octobre 2013
- 29. www.lesucre.com
 - http://www.lesucre.com/blocs/classification_chimique_des_glucides_v2-pdf.pdf, consulté en novembre 2013
- 30. www.medecine-integree.com/
 - http://www.medecine-integree.com/attachments/1642_Lycium_barbarum.pdf, consulté en juillet 2013
- 31. www.media.eol.org
 - http://media.eol.org/content/2012/01/25/03/08568_orig.jpg, consulté en mai 2014
- 32. www.mesarbustes.fr
 - a) www.mesarbustes.fr/media/catalog/product/cache/6/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/v/a/vaccinium_macrocarpon_canneberge.jpg, consulté en mai 2014

- b) [www.mesarbustes.fr/punica-granatuM.- P.rovence-grenadier-a-gros-fruit-grenade-comestible.html#.U3J9Nvl_uoM](http://www.mesarbustes.fr/punica-granatuM.-P.rovence-grenadier-a-gros-fruit-grenade-comestible.html#.U3J9Nvl_uoM), consulté en mai 2014
33. www.nutranews.org
- www.nutranews.org/sujet.pl?id=234, consulté en mai 2014
34. <http://nutriments.monalimentation.org/>, consulté en mai 2014
35. www.opinion-maker.org
- www.opinion-maker.org/2011/02/kashmir-the-lines-drawn-with-blood/, consulté en avril 2014
36. www.palmnutraceuticals.com
- <http://www.palmnutraceuticals.com/vite.htm>, consulté en janvier 2014
37. www.parapharmacie-naocia.com
- <http://www.parapharmacie-naocia.com/arkogelules-goji-tonus,fr,4,9829243.cfm>, consulté en juin 2014
38. www.passeportsante.net
- a) http://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/EncyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=paye_nu, consulté en décembre 2013
 - b) http://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=vitamine_a_betacarotene_ps, consulté en janvier 2014
 - c) http://www.passeportsante.net/fr/VivreEnSante/MieuxManger/Fiche.aspx?doc=mineraux-leurs-fonctions-les-meilleures-sources_vs, consulté en février 2014
 - d) http://www.passeportsante.net/fr/Therapies/Guide/ArticleInteret.aspx?doc=nutrition_proteus_th, consulté en juin 2014
 - e) http://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=cassis_ps, consulté en juin 2014
39. www.phytomania.com , consulté en septembre 2013
40. www.phytozen.eu
- www.phytozen.eu/sacreplanete33goji.pdf, consulté en juin 2014
41. www.pileje-micronutrition.fr
- www.pileje-micronutrition.fr/Le-resveratrol-la-molecule-anti, consulté en mai 2014
42. www.plant-pictures.de
- <http://pharm1.pharmazie.uni-greifswald.de/allgemei/koehler/koeh-029.jpg>, consulté en décembre 2013

43. www.rdchemicals.com
- http://www.rdchemicals.com/chemicals.php?mode=details&mol_id=6700, consulté en mai 2014
44. www.regime-mediterraneen.fr
- <http://www.regime-mediterraneen.fr/2009/10/20/la-vitamine-b1/>, consulté en février 2014
45. www.sti.ac-montpellier.fr
- http://sti.ac-montpellier.fr/IMG/pdf/Glucides_SBSSA.pdf
46. www.tahitiheritage.pf
- <http://www.tahitiheritage.pf/fiche-nono-morinda-citrifolia-136.htm>, consulté en décembre 2013
47. www.tela-botanica.org/site:accueil
- a) <http://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-40437-synthese>, consulté en novembre 2013
 - b) <http://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-54104-synthese>, consulté en mai 2014
48. www.themedicalbiochemistrypage.org
- <http://themedicalbiochemistrypage.org/vitamins.php#a>, consulté en janvier 2014
49. www.transplants.net
- <https://tranceplants.net/product-info.php?pid242.html>, consulté en décembre 2013
50. www.tropicos.org
- a) <http://www.tropicos.org/Image/100153454>, consulté en décembre 2013
 - b) <http://www.tropicos.org/Image/100109206>, consulté en décembre 2013
 - c) <http://www.tropicos.org/Image/85725>, consulté en décembre 2013
 - d) <http://www.tropicos.org/Image/100119115>, consulté en mai 2014
51. www.umm.edu
- <http://umm.edu/health/medical/altmed/supplement/vitamin-b2-riboflavin>, consulté en mai 2014
52. www.umvf.univ-nantes.fr
- a) http://umvf.univ-nantes.fr/nutrition/enseignement/nutrition_10/site/html/4.html, consulté en novembre 2013
 - b) http://umvf.univ-nantes.fr/nutrition/enseignement/nutrition_11/site/html/cours.pdf, consulté en février 2014

53. <http://unf3s.cerimes.fr>

- http://unf3s.cerimes.fr/media/paces/Grenoble_1112/seve_michel/seve_michel_p14/seve_michel_p14.pdf, consulté en avril 2014

54. www.who.int/fr/

- http://www.who.int/nutrition/publications/guidelines/potassium_executivesummary_fr.pdf?ua=1, consulté en avril 2014

55. www.wisplants.uwsp.edu

- www.wisplants.uwsp.edu/scripts/bigphoto.asp?bigphoto=RIBNIG_2.jpg&taxon=Ribes%20nigrum%20L.&phog=Botanical%20Illustration&spcode=RIBNIG, consulté en mai 2014

56. www.1000-arbres.fr

- <http://www.1000-arbres.fr/dossier/arbres/canneberge-a-gros-fruits>, consulté en mai 2014

ANNEXE 1 - COMPOSITION EN MACRONUTRIMENTS DES SUPERFRUITS

	Kcal	Eau (g)	MACRONUTRIMENTS **					
			Lipides	Acides ω 3	Acides ω 6	Protéines	Glucides	Fibres
GOJI***	215	-	0,5			12,5	40	21
CASSIS	46,3	80	0,6	0,10	0,15	1,3	9,0	5,8
MYRTILLE	45,9	83,8	0,3	0,06	0,07	0,7	10	2,4
EPINE- VINETTE								
ACAI								
ACEROLA	30,7	91,4	0,3	0,04	0,05	0,4	6,6	1,1
CANNEBERGE	49	86,5	0,2			0,4	12,6	2
GRENADE	71,3	81	0,3	0	0,06	1	16,2	1
MURE	49,4	86,3	0,2			1,4	9,7	1,7
NONI		90						
PAPAYE	35,5	87,7	0,2	0,04	0,01	0,6	7,8	2
AJR*	1800 (F) 2100 (H)	1,5/2L	30-35%	Rapport ω 6/ ω 3= 5/1		9-12%	30-35%	25 g (F) 38 g (H)

Les AJR correspondent aux apports journaliers recommandés

** Les macronutriments sont exprimés en grammes pour 100 grammes de fruits

*** A noter que les chiffres correspondent pour 100g de baies séchées de Goji

(F) femme, (H) homme

ANNEXE 2 - COMPOSITION EN MICRONUTRIMENTS DES SUPERFRUITS

	MICRONUTRIMENTS													β-carotène
	MINÉRAUX					VITAMINES								PRO-VIT. A
	Ca (mg)	B1 (mg)	B2 (mg)	B3 = PP (mg)	B5 (mg)	B6 (mg)	B9 (μg)	C (mg)	E (mg)		B9 (μg)	C (mg)	E (mg)	
GOJI***	112	0,14	1,3	4,5	1	-	-	129	-	7,4	-	129	-	7,4
CASSIS	58	0,04	0,04	0,3	0,4	0,1	8	187	1,40	130	8	187	1,40	130
MYRTILLE	6	0,03	0,04	0,41	0,12	0,05	6	10	1	32	6	10	1	32
EPINE-VINETTE														
ACAI														
ACEROLA	12	0,02	0,1	0,4	0,3	0,01	14	1678	0,18	459	14	1678	0,18	459
CANNEBERGE	7	0,01	0,02	0,1	0,3	0,1	1	13	1	36	1	13	1	36
GRENADE	3	0,03	0,03	0,3	0,6	0,2	6	11	0,55	20	6	11	0,55	20
MURE	37,5	0,5	0,1	0,5	0,3	0,1	19,5	23,2	0,55	4,5	19,5	23,2	0,55	4,5
NONI														
PAPAYE	22,5	0,03	0,03	0,3	0,2	0,03	17	60	1	542	17	60	1	542
AJR*	800	1,1	1,4	16	6	1,4	200	80	12		200	80	12	

ANNEXE 3 - COMPOSITION EN OLIGOELEMENTS DES SUPERFRUITS

	OLIGOELEMENTS					
	Fe (mg)	I (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	Mn (mg)	Se (µg)
GOJI***	9	-	1,1	1,8	1	50
CASSIS	1,4	1,4	0,1	0,3	0,3	1,1
MYRTILLE	0,3	0,5	0,1	0,2	0,3	0,1
EPINE-VINETTE						
ACAI						
ACEROLA	0,2	1,1	0,09	0,1	0,2	0,6
CANNEBERGE	0,2	-	0,06	0,1	0,2	0,6
GRENADE	0,3	0,9	0,1	0,1	0,1	0,6
MURE	1,7	0,4	0,6	0,2	1,1	-
NONI						
PAPAYE	0,5	0,8	0,03	0,1	-	0,6
AJR*	14	150	1	10	2	55

(CHAN-BLANCO Y. *et al.*, 2006 ; GUILLERMINET P. ,2007 ; SHARAMON S. et BAJINSKI B. J., 2009 ; MAILLEFERT O. , 2010 ; UNITE DE SURVEILLANCE ET D'EPIDEMIOLOGIE NUTRITIONNELLE, 2013) (réf.4.b, 28)

ANNEXE 4 - PRINCIPALES SOURCES ALIMENTAIRES DE VITAMINES ET DE MINÉRAUX

Vitamines, sels minéraux, oligoéléments	Aliments les plus riches	AQR (adulte)
<i>Vitamines liposolubles</i>		
A (rétinol)	Foie, carotte, légumes verts, beurre, thon, fromage, œuf...	600-800 ER
D (calciférol)	Poisson (surtout gras), huître, œuf, fromage gras...	3-5 µg
E (tocophérol)	Huiles végétales, œuf, asperge, épinard, chou vert, hareng, poisson de mer, crevette, légumes verts, mangue, pêche...	12 mg
K (phylloquinone)	Poisson, foie, chou, épinard, laitue...	45 µg
<i>Vitamines hydrosolubles</i>		
C (acide ascorbique)	Poivron cru, brocoli, kiwi, fraise, orange, cresson, mangue, légumes verts crus, melon, chou-fleur, mandarine, framboise...	100 mg
B1 (thiamine)	Viande de porc, œuf, pâtes complètes, petits pois, foie, thon, saumon...	1,5 mg
B2 (riboflavine)	Foie, fromages, œuf, chocolat, fruits secs, viandes, champignons...	1,6 mg
B3 (niacine, vitamine PP)	Foie, cacahuète, thon, sardine, viande, poisson, champignons...	14 mg
B5 (ac. pantothénique)	Œuf, viande, pain, chocolat, pomme de terre...	5 mg
B6 (pyridoxine)	Viande, pomme de terre, banane, carotte...	1,5-1,8 mg
B9 (ac. folique)	Foie gras, foie, cresson, chou vert, chou de Bruxelles, lentilles, germes de soja, épinard et autres légumes verts, asperge, œuf, fraise, fromage...	300-330 µg
B12 (cobalamine)	Foie, huître, moule, poisson...	2,4 µg
<i>Macroéléments</i>		
Calcium	Fromage, sardine avec arêtes, chou vert, cresson, chocolat au lait, lait, yaourt, fruits secs, cresson, épinard, pain complet, œuf...	900 mg
Magnésium	Fruits secs, lentilles, pâtes complètes, pain complet, chocolat, crevette, fromage, épinard, haricots blancs, sole, riz complet, poulet, sardine, thon...	400 mg
<i>Microéléments</i>		
Fer	Foie de veau, pâté de foie, foie gras, moule, huître, viande, poisson, fruits secs, œuf, carotte, épinards, lentilles, pain complet...	9-16 mg
Iode	Sel enrichi, cabillaud, huître, autres poissons	150 µg
Zinc	Huître, foie, foie gras, bœuf, fromages d'Édam et Gouda, agneau, camembert, autres fromages, veau, dinde, moule, porc...	11 mg
Cuivre	Foie, huître, fruits secs, fromage, lentilles, sole, pain complet, champignons, poulet, crevette, pâtes, cabillaud, avocat...	1,5-2 mg
Sélénium	Poisson, foie gras, crevette, sardine, thon, moule, pâté de foie, sole, huître, saumon, foie, œuf, viande...	60-70 µg

(MEDART J., 2009)



SERMENT DE GALIEN

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

D'exercer dans l'intérêt de la Santé publique ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur mais aussi les règles de l'Honneur, de la Probité et du Désintéressement.

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine.

De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma Profession.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois méprisé de mes Confrères si je manque à mes engagements.



LEROUX Manon

Place de la baie de Goji (*Lycium barbarum* L. Solanaceae) parmi les superfruits actuels : ses bienfaits antioxydants.

Th. D. Pharm., Rouen, 2013, p

RESUME

Le terme « superfruits » désigne aujourd’hui, un ensemble de fruits, dont les teneurs en nutriments et/ou en composés phytochimiques (notamment les anti-oxydants) sont considérables. Parmi eux, la baie de Gogi (*Lycium barbarum* L.), utilisée depuis des millénaires dans la médecine traditionnelle chinoise, jouit d’une popularité grandissante dans le monde occidental.

Les études scientifiques sur *Lycium barbarum* L. mettent en évidence sa forte densité nutritionnelle et permettent de le classer parmi les fruits les plus riches en antioxydants (polysaccharides essentiellement), utiles dans la prévention de pathologies liées au vieillissement (stress oxydatif), telles que la dégénérescence maculaire liée à l’âge, les complications du diabète de type II, certaines maladies neurodégénératives ou encore dans les dysfonctionnements hépatiques.

MOTS CLES : *Lycium barbarum* L.- Superfruit - Antioxydants - Polysaccharides - Stress oxydatif

JURY

Président : Mme Elisabeth SEGUIN, Professeur de Pharmacognosie

Membres : Mme Marie-Laure GROULT, Maître de conférences en botanique
Mme Blampied , Pharmacien d’officine
