



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

كلية علوم الطبيعة والحياة

Département de Microbiologie Appliquée et Sciences Alimentaires

قسم الميكروبيولوجيا التطبيقية وعلوم التغذية

Technologie des alicaments

Polycopié de cours

Master I Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Code du cours selon le canevas de formation : UEF3

Préparé par Dr BEKKA-HADJI Fahima

MCA

2025/2026

Ref.....

Table des matières

Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
Liste des abréviations	vi
I. Introduction aux alicaments	1
I.1. Définition	3
I.1.1. Aliment et nutriment	3
I.1.2. Médicament.....	3
I.1.3. Alicaments	3
I.1.4. Concept des alicaments.....	3
I.1.5. Complément alimentaire	4
I.1.6. Aliments fonctionnels	5
I.2. Distinction entre les aliments fonctionnels, nutraceutiques et compléments alimentaires.....	6
I.3. Aspect juridique des alicaments.....	7
I.3.1. Allégations nutritionnelles	7
I.3.2. Allégations nutritionnelles fonctionnelles	7
I.3.3. Allégations santé.....	8
I.3.4. Allégations thérapeutiques.....	8
II. Alicaments.....	9
II.1. But	9
II.1.1. Intérêts vis-à-vis des alicaments	9
II.1.1.1. Intérêt des consommateurs	9
II.1.1.2. Intérêt de l'industrie	9
II.1.1.3. Intérêt des autorités publiques	10
II.1.1.4. Progrès technologiques.....	10
II.2. Classification	10
II.2.1. Alicaments allégés.....	10
II.2.2. Alicaments enrichis	10
II.2.3. Alicaments ajoutés.....	10
II.2.4. Aliment dans lequel un composant néfaste a été substitué.....	11
II.3. Efficacité des alicaments	11
II.3.1. Cadre législatif et réglementation des allégations de santé	11
II.3.2. Évaluation scientifique et validation de l'efficacité des alicaments.....	11
II.3.3. Incertitudes liées aux effets à long terme des alicaments	12
II.4. Ethique dans le domaine de la vente	12
III. Alicaments et évolution du secteur agroalimentaire	13
III.1. Produits riches en antioxydants.....	15
III.1.1. Stress oxydant	15
III.1.1.1. Définition	15
III.1.1.2. Origine du stress oxydatif	15
III.1.1.3. Conséquences du stress oxydant	18
III.1.2. Antioxydants	20
III.1.2.1. Types d'antioxydants	21
III.1.2.2. Catégories des antioxydants	22
III. 2. Produits à base de probiotiques et de prébiotiques	27
III. 2.1. Définition	27

III. 2.2. Quelques espèces ayant une activité probiotique	28
III. 2.3. Allégation santé des bactéries probiotiques	29
III.2.4. Quelques aliments probiotiques	30
III.2.5. Prébiotiques	30
III.2.6. Aliments riches en prébiotiques	30
III.3. Produits enrichis en fibres alimentaires	31
III.3.1. Prébiotique et fibres alimentaire	31
III.3.2. Effet bénéfique de la consommation des prébiotiques	32
III.3.3. Effet indésirables de la consommation des prébiotiques	32
III. 4. Produits riches en bonnes graisses	33
III.4.1. Cholestérol	33
III.4.1.1. Définition	33
III.4.1.2. Rôle du cholestérol	33
III.4.1.3. Double origine du cholestérol	34
III.4.1.4. Problèmes liés à la présence de cholestérol	34
III.4.2. Acides gras essentiels « oméga 3 » et « oméga 6 »	34
III.4.2.1. Définition et caractéristiques	35
III.4.2.2. Sources naturelles	35
III.4.2.3. Rôle et Mécanismes d'action	37
III.4.2.4. Carences	37
III.4.3. Phytostérols	37
III.4.3.1. Définition et caractéristiques	37
III.4.3.2. Sources	38
III.4.3.3. Mécanismes d'action	38
III.4.3.4. Quelques alicaments renfermant des phytostérols et phytostanols	38
III.5. Produits minceur adaptés au contrôle du poids	38
III.5.1. Surpoids et obésité	39
III.5.2. Conséquences de la surcharge pondérale	39
III.5.3. Régimes amaigrissants	39
III.5.4. Régimes alimentaires	39
III.5.5. Types de régimes amaigrissants	40
III.5.6. Exemples de produits minceurs	40
III.5.6.1. Capteurs de graisses	40
III.5.6.2. Bruleurs de graisses	41
III.5.6.3. Aliments fonctionnels et compléments à visée minceur	42
III.6. Produits destinés pour les enfants	43
III.6.1. Préparations lactées pour nourrissons	43
III.6.2. Utilisation des nutriments ou ingrédients à l'origine de l'effet fonctionnel	44
III.6.3. Aliments fonctionnels pour bébés	
IV. Technologie des alicaments	45
IV.1. Alicaments allégés et technologies utilisées	45
IV.1.1. Centrifugation	45
IV.1.2. Procèdes membranaires	45
IV.1.3. Décantation	50
IV.1.4. Traitements biologique	50
IV.1.4.1. Hydrolyse enzymatique du lactose	50
IV.1.4.2. Fermentation contrôlée	51
IV.2. Alicaments enrichis et technologies utilisées	51
IV.2.1. Concentration et évaporation	51
IV.2.2. Biotechnologie microbienne	51

IV.2.3. Microencapsulation, cas de probiotique.....	52
IV.2.3.1. Principaux critères de sélection des souches probiotiques.....	52
IV.2.3.2. Conservation et intégration des bifidobacteries dans un produit laitier.....	52
IV.2.3.2. Autres méthodes de préservation des probiotiques.....	54
IV.2.4. Enrichissement en composés bioactifs.....	56
IV.2.4.1. Extraction.....	56
IV.2.4.2. Enrichissement des huiles en antioxydants naturels.....	57
IV.2.4.3. Enrichissement des produits en fibres alimentaires.....	58
IV.2.4.4. Enrichissement des produits en phytostérols.....	59
IV.3. Alicaments avec ajout de composés nouveaux.....	60
IV.3.1. Alimentation fonctionnelle animale.....	60
IV.3.1.1. Enrichissement en oméga-3.....	60
IV.3.1.2. Enrichissement en vitamine E.....	62
IV.3.1.3. Enrichissement en CLA.....	62
IV.3.1.4. Enrichissement en sélénium.....	62
IV.3.2. Incorporation directe par procédé mécanique (homogénéisation).....	62
IV.3.3. Bio-ingénierie.....	63
IV.3.4. Fermentation contrôlée.....	63
IV.4. Alicaments avec substitution de composant néfaste.....	63
V. Aliment et pathologies.....	64
V.1. Alimentation saine.....	64
V.2. Fonctions des alicaments.....	65
V.2.1. Fonctions de renforcement.....	65
V.2.2. Fonctions de réduction du risque.....	65
V.2.3. Produits pour les excès et les déficiences.....	65
V.2.4. Rétablissement.....	65
V.3. Alicaments et pathologies liées au stress oxydant.....	65
V.3.1. Pathologies.....	65
V.3.1.1. Athérosclérose.....	65
V.3.1.2. Infection par le VIH.....	66
V.3.1.3. Diabète.....	66
V.3.2. Alicaments.....	66
V.3.2.1. Aliment à base de la vitamine E.....	66
V.3.2.2. Aliment à base de la vitamine C.....	67
V.4. Aliment et problèmes intestinaux.....	67
V.4.1. Aliment à base de probiotiques.....	67
V.4.2. Prébiotiques.....	68
V.4.2.1. Prévention du diabète type II.....	68
V.4.2.2. Bon fonctionnement du transit.....	68
V.4.2.3. Prévention de certains cancers.....	68
V.5. Aliment et phénomène inflammatoire.....	68
V.6. Athérosclérose et vitamine E.....	69
V.6.1. Définition.....	69
V.6.2. Étapes du développement de l'athérosclérose.....	69
V.6.3. Forme chimique et absorption de la vitamine E.....	70
V.6.4. Une supplémentation en α -tocophérol chez l'homme.....	72
VI. Conclusions.....	73
Références.....	74

Liste des tableaux

Tableau 1: Approved FOSHU Products	4
Tableau 2 : Liste et doses journalières maximales (DJM) de vitamines et minéraux.....	5
Tableau 3 : Différences entre un complément alimentaire et un médicament.....	5
Tableau 4 : Allégations nutritionnelles autorisées en Suisse pour les vitamines et les sels minéraux.....	8
Tableau 5 : Définition des vertus	13
Tableau 6 : Comportements classiques des vertus du vendeur / du marketer	13
Tableau 7 : Liste des espèces ayant une activité probiotique	28
Tableau 8 : Procédés de séparation par membrane : caractéristiques et applications.....	46
Tableau 9 : Représentation comparative des procédés de séparation membranaire sous pression .	47
Tableau 10 : Plage de taille de certains composés bioactifs issus des aliments	49
Tableau 11 : Exemples de procédés sous pression appliqués au traitement des résidus de fruits	
Tableau 12 : Résumé des différentes méthodes d'extraction des produits naturels	49
Tableau 13 : Effet hypocholestérolémiant des phytostérols	56
Tableau 14 : Facteurs de multiplication les plus favorables obtenus en nourrissant les animaux avec de l'ALA	60
Tableau 15 : Facteurs de multiplication les plus favorables obtenus en nourrissant les animaux avec des huiles de poissons (EPA+DHA)	61

Liste des Figures

Figure 1 : NADPH oxydase membranaire	16
Figure 2 : Xanthine oxydase catalyse l'oxydation de la xanthine en acide urique	17
Figure 3 : Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène	18
Figure 4 : Nature de quelques modifications des chaînes latérales d'acides aminés des protéines après attaque radicalaire	20
Figure 5 : Structure chimiques de BHT	22
Figure 6 : Structures chimiques des molécules de BHA.....	22
Figure 7 : Structure chimique de TBHQ	23
Figure 8 : Structure chimique de la vitamine C	24
Figure 9 : Structure chimique de la vitamine E.....	24
Figure 10 : Propriétés réductrices des polyphénols.....	25
Figure 11 : Chélation de métaux par les flavonols.....	26
Figure 12 : Structures chimiques de β -carotène et astaxanthine	26
Figure 13 : Diagramme schématique illustrant le principe de l'électrodialyse	48
Figure 14 : Procédé d'encapsulation par extrusion	53
Figure 15 : Procédé d'encapsulation par émulsification	54
Figure 16 : Différents types de microparticules obtenus à partir des procédés d'encapsulation	54
Figure 17 : Structures des tocophérols, des tocotriénols	70
Figure 18 : Structure d'une lipoprotéine	71

Liste des abréviations

ALA	Acide alpha linoléique
AGM	Aliments Génétiquement Modifiés
GAPDH	Glycéraldéhyde-3- Phosphate-Déshydrogénase
BHA	Hydroxyanisolebutylé
BHT	Hydroxytoluènebutylé
CLA	Conjugated Linoleic Acid
DHA	Acide docosahexaénoïque
EDTA	Acide Ethylène-Diamine-Tétra Acétique
EPA	Acide eicosapentaénoïque
HDL	High Density Lipoprotein
OGM	Organismes Génétiquement Modifiés)
OI	Osmose Inverse
TBHQ	Tert-butylhydroquinone
TNF	Tumor Necrosis Factor
LDL	Low Density Lipoprotein
MF	Microfiltration
NF	Nanofiltration
UF	Ultrafiltration
VIH	Virus de l'Immunodéficience Humaine

I. Introduction aux aliments

À l'origine, les aliments avaient pour principale fonction de satisfaire les besoins nutritionnels de l'être humain. Avec la révolution industrielle du XVIII^e siècle, ils sont devenus des produits fabriqués et commercialisés à grande échelle. Les progrès des technologies de transformation et de conservation, associés à l'utilisation d'additifs alimentaires, ont permis d'améliorer leur qualité et leur sécurité, tout en prolongeant leur durée de conservation.

Dès le début du XX^e siècle, la tendance change et se tourne vers l'amusement et le plaisir. Ce sont alors les denrées riches en graisses et en sucres qui ont les faveurs des consommateurs et paradoxalement, dès les années 1970 la tendance s'inverse complètement et un retour à une meilleure hygiène alimentaire soutenue par l'apparition des produits «light» a été observé. Suivant cette tendance, après être apparus pour la première fois en 1980 au Japon, les aliments ou aliments fonctionnels (aliments enrichis) arrivent sur les marchés européens en 1990 pour connaître le succès grandissant et la controverse dont il est actuellement question.

Bien que le terme aliment soit apparu récemment, l'idée de «se nourrir pour se guérir» n'est pas nouvelle en soi, celle-ci fut déjà exprimée à plusieurs reprises dans le passé: «Que ton aliment soit ta médecine et que ta médecine soit ton aliment» (Hippocrate) ou «Tout menu est une ordonnance» (Jean Rostand).

Le rôle essentiel de l'alimentation est de fournir des substances nutritives nécessaires pour couvrir les besoins nutritionnels d'un individu. Cependant, plusieurs scientifiques soutiennent l'hypothèse que quelques produits alimentaires et composants de l'aliment ont des effets physiologiques et psychologiques bénéfiques, en plus de leur rôle d'apport de molécules de base, c'est de la nutrithérapie. La recherche des composants biologiquement actifs dans les produits alimentaires devient un axe de recherche très attirant, essentiellement dans les industries agroalimentaires.

Depuis de nombreuses années, de faibles quantités d'iode et de fluor sont ajoutées au sel de cuisine, afin de prévenir l'apparition de carie, d'aider au bon fonctionnement de la glande thyroïde et de lutter contre l'hypothyroïdie congénitale.

Nés de la contraction d'aliment et de médicament (aliment + médicament = aliment), ces produits intègrent une composante 'santé' et se distinguent des aliments conventionnels par les propriétés qui les rapprochent des médicaments au-delà de leur apport nutritif de base.

Affublés de noms scientifiques : aliments fonctionnels, nutraceutiques, nutraliments, cosméto-food.... Le succès des lancements d'aliments santé a fait de ce marché un terrain où se disputent l'industrie agro-alimentaire et la pharmacie, à tel point que la réglementation de ces

produits est tombée dans une zone grise située entre les aliments et les drogues. Les alicaments ne sont donc pas des médicaments, ils sont une nouvelle catégorie de produits alimentaires. Par conséquent, ils sont localisés entre les frontières des aliments et médicaments d'où l'appellation d'aliments. Les définitions de ce terme sont multiples, ceci révélant une législation encore floue dans ce domaine, permettant une grande liberté d'action aux industriels.

Le marché des alicaments connaît une croissance importante dans le monde qui est expliquée par une double dimension, santé publique et avantage économique. Le public est encouragé vers l'utilisation des alicaments pour maintenir un bon état de santé. Ce choix est soutenu par les études épidémiologiques et les informations cliniques qui ont montré l'efficacité des alicaments dans la prévention des maladies. De plus, ces alicaments trouvent leur place chez les consommateurs les plus préoccupés de leur santé. La dimension économique des alicaments s'articule essentiellement dans le fait qu'ils sont moins chers et présentent des risques secondaires réduits.

Chaque jour, l'organisme a besoin d'un apport suffisant en vitamines, en fer, en magnésium et en divers autres nutriments. Les alicaments pourraient ainsi contribuer à couvrir les besoins nutritionnels quotidiens. Toutefois, seules certaines catégories de personnes (nouveau-nés, femmes enceintes, sans-abri, etc.) sont susceptibles de présenter des carences graves. La prise de tels aliments n'est, apparemment pas justifiée pour tous les individus. De plus, L'Office Fédéral de la Santé Publique signale qu'il existe un risque potentiel pour les consommateurs qui pourraient commettre de graves erreurs alimentaires en pensant «à tort» protéger leur santé par le recours aux alicaments. En effet, une surconsommation de vitamines peut s'avérer aussi dangereuse qu'une carence, pouvant même entraîner une hypervitaminose ou survitaminose (intoxication due à un apport excessif de vitamines, principalement A et D). Les alicaments peuvent avoir des effets négatifs sur la santé humaine. Pour donner un exemple concret, la surconsommation de β -carotène visant à réduire les cancers du foie et de l'oesophage, avait provoqué l'apparition du cancer du poumon dans certains cas. Les risques liés aux effets à long terme des AGM (aliments génétiquement modifiés) sur la santé doivent rendre le public plus consciente à leurs consommations (car ils contiennent des caractères qui pourraient avoir des effets à long terme).

Face à ce problème, le recours aux alicaments d'origines naturelles (non modifiés génétiquement) suscite un intérêt croissant en raison de leur potentiel bénéfique pour la santé. Pour de nombreux médecins, les effets supposés bénéfiques pour la santé, de ces produits restent à prouver. En effet, les études sur de larges populations et sur une longue période, qui seules

pourraient vraiment répondre à nos interrogations font vraiment défaut.

I.1. Définition

I.1.1. Aliment et nutriment

a) Aliment

Un aliment est toute substance ou tout produit, transformé, partiellement transformé ou non transformé, destiné à être ingéré par l'être humain afin de satisfaire ses besoins nutritionnels et physiologiques.

b) Nutriment

Espèce chimique utilisable telle quelle dans l'alimentation des cellules vivantes (protéines, glucides, lipides, fibres alimentaires, sodium, vitamines et sels minéraux).

I.1.2. Médicament

Un médicament est défini par le code de la santé publique (art. L-511) : « toute substance ou composition présentée comme possédant des propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines ou animales, ainsi que tout produit pouvant être administré à l'homme ou l'animal, en vue d'établir un diagnostic médical ou de restaurer, corriger ou modifier leurs fonctions organiques ».

I.1.3. Aliments

Ce sont des aliments ou nutriments présentés comme possédant des propriétés curatives ou préventives à l'égard des maladies humaines. Il peut s'agir, par exemple, des yaourts aux probiotiques ou des margarines enrichies en phytostérols et des laits médicalisés (NOVALAC TRANSIT +1 400GR : ce type de lait facilite la digestion grâce à sa composition en protéine, et en lipides. Par ailleurs, sa teneur en lactose permet le développement de la flore intestinale. Aussi, le magnésium contenu dans Novalac transit accroît sa fonction laxative, par conséquent il majore la fréquence des selles).

Le Petit Larousse, lui, indique : « aliment considéré comme particulièrement bénéfique pour la santé ».

Enfin, selon l'*US Nutraceutical Advisory group*, un aliment est « n'importe quelle substance qui peut être définie comme un aliment ou composant d'un aliment et qui fournit un bénéfice médical (thérapeutique) ou de santé, incluant la prévention ou le traitement des maladies ».

I.1.4. Concept des aliments

Il existe d'importantes différences d'approche entre les pays occidentaux et le Japon dans la perception et la commercialisation des aliments. En effet, les Japonais considèrent ces

produits comme une classe d'aliments à part entière, une catégorie ayant bénéficié d'un label (étiquette ou marque) en 1991 en tant qu'aliments à usage médicinal spécifié « FOSHU » (Foods for Specified Health Use) (Tableau 1). Tandis que les pays occidentaux les intègrent dans la même catégorie que les autres aliments.

Tableau 1: Approved FOSHU Products (Produits FOSHU approuvés) (Ministry of Health, Labour and Welfare, 2025)

Utilisations spécifiques pour la santé (Specified Health Uses = FOSHU)	Principaux ingrédients (ingrédients exerçant des fonctions physiologiques)
Aliments destinés à améliorer les fonctions gastro-intestinales	Oligosaccharides, lactose, bifidobactéries, bactéries lactiques, fibres alimentaires (dextrine résistante, polydextrose, gomme guar, tégument de psyllium, etc.)
Aliments liés à la réduction du cholestérol sanguin	Chitosane, protéines de soja, alginate de sodium dégradé
Aliments liés à la régulation de la glycémie	Dextrine non digestible, albumine de blé, polyphénols du thé de goyave, L-arabinose, etc.
Aliments liés à la régulation de la pression artérielle	Lactotripeptides, dodécapeptide de caséine, glycosides de feuilles de Tochu (<i>Eucommia ulmoides</i>), peptide de sardine, etc.
Aliments favorisant l'hygiène bucco-dentaire	Palatinose (isomaltulose), maltitol, érythritol, etc.
Aliments agissant à la fois sur le cholestérol et les fonctions gastro-intestinales, ou sur les triglycérides et le cholestérol	Alginate de sodium dégradé, fibres alimentaires issues du tégument de psyllium, etc.
Aliments favorisant l'absorption des minéraux	Citrate-malate de calcium, phosphopeptides de caséine (CPP), fer hémique, fructo-oligosaccharides, etc.
Aliments favorisant l'ostéogenèse (formation osseuse)	Isoflavones de soja, MBP (protéines basiques du lait), etc.
Aliments liés à la réduction des triglycérides sanguins	Acides gras à chaîne moyenne (AGCM), etc.

I.1.5. Complément alimentaire

Les compléments alimentaires ou suppléments alimentaires sont définies comme des « produits destinés à être ingérés en complément d'une alimentation habituelle de façon à corriger les déficiences réelles ou anticipées dans les apports journaliers». Ils sont définis également comme étant des «denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés,

La notion de restauration (réparation) recouvre en partie la définition du médicament et que, par ailleurs, la plupart des formes décrites ici sont des formes pharmaceutiques, ce qui peut faire de nombreux compléments alimentaires des médicaments par présentation.

Les compléments considérés comme des aliments, ils étaient, à ce titre, soumis aux mêmes règles que les autres produits alimentaires, outre quelques dispositions spécifiques concernant, notamment, l'étiquetage. Ainsi, le cadre réglementaire était suffisamment flou pour que les

revendications soient partagées.

Concernant les nutriments, le texte établit une liste positive des vitamines et minéraux pouvant entrer dans la composition des compléments alimentaires. Ainsi, les compléments alimentaires ne contiennent pas plus de vitamines et de minéraux que les quantités précisées dans le Tableau 2. Au-delà de ce seuil, les produits sont des médicaments (Tableau 3).

Tableau 2 : Liste et doses journalières maximales (DJM) de vitamines et minéraux pouvant entrer dans la composition des compléments alimentaires (Derbré, 2010)

Vitamines												
A	D	E	K	B1	B2	B3	B5	B6	B9	B12	H, ou biotine	C
800 µg	5 µg	30 mg	25 µg	4,2 mg	4,8 mg	Nicotinamide : 54 mg Acide nicotinique : 8 mg	18 mg	2 mg	200 µg	3 µg	450 µg	180 mg
Minéraux												
Ca	Fe	Mg	Cu	I	Zn	Mn	K	Se	Cr	Mo	F	P
800 mg	14 mg	300 mg	2 mg	150 µg	15 mg	3,5 mg	80 mg	50 µg	25 µg	150 µg	0 mg	450 mg

Tableau 3 : Différences entre un complément alimentaire et un médicament (Derbré, 2010)

	Médicament	Complément alimentaire
Objectifs	Soigner ou prévenir une maladie, une pathologie	Entretenir le bien-être
Cibles	Personnes malades ou susceptibles de l'être	Personnes en bonne santé, souhaitant le rester
Délivrance	Prescription médicale	Vente libre
Propriétés	Thérapeutiques	Nutritionnelles ou physiologiques
Mise sur le marché	Autorisation de mise sur le marché	Déclaration à la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF)

I.1.6. Aliments fonctionnels

Les aliments fonctionnels sont des aliments qui, en plus de leur valeur nutritionnelle de base, apportent un bénéfice physiologique ou un effet positif sur la santé lorsqu'ils sont consommés dans le cadre d'une alimentation normale.

Il existe cinq principaux types d'aliments fonctionnels, qui comprennent :

- Des produits dans lesquels la quantité d'un ingrédient naturellement ou normalement présent est augmentée ou diminuée, par exemple céréales pour le petit déjeuner auxquelles du son a été ajouté ou produits laitiers dont la quantité de graisse a été réduite;
- Des produits dans lesquels ont été introduits des nouveaux ingrédients, par exemple jus de

fruits auxquels sont ajoutés des fibres, ou pâtes à tartiner aux quelles sont ajoutées des huiles de poissons ;

- c) Des produits laitiers fermentés tels que les yaourts avec des cultures bactériennes actives ;
- d) Des boissons sportives ou énergétiques pour compenser la perte de liquide et/ou d'énergie ;
- e) Des produits assurant la libération lente d'hydrates de carbone pour la gestion de l'énergie, par exemple des boissons ou des produits à base de céréales.

En outre, les marchés des pays européens offrent un choix croissant d'autres produits : barres de céréales, pains, laits, biscuits, fromages à tartiner, œufs, eaux en bouteille et confiserie. Les ingrédients bioactifs utilisés dans la production de ces aliments fonctionnels comprennent, entre autres, les éléments suivants : vitamines, minéraux, phospholipides, protéines de lait, acides aminés, huiles nutritionnelles, oméga 3 et oméga 6, phytostérols, probiotiques, prébiotiques, fibres alimentaires et extraits de plantes.

Les producteurs sont généralement les grands industriels de l'alimentation et de la boisson tels que : Nestlé, Unilever, General Mills, Kellogg's, Quaker Oats, Danone, Pepsico.

I.2. Différence entre les aliments fonctionnels, nutraceutiques et compléments alimentaires

Être partout : les « aliments » ; consommer quotidiennement, consciemment ou non, un ou plusieurs aliments de ce type (margarine anti-cholestérol, œufs enrichis en oméga-3, yaourts au bifidus actif, jus de fruits vitaminés, etc.). Ces aliments peuvent être mis en évidence par différentes procédures telles que :

- ✓ l'ajout des ingrédients actifs à des produits alimentaires de base (des aliments auxquels sont ajoutés des fibres solubles, etc.) ;
- ✓ Utilisation des techniques de production spéciales telles :
 - la sélection des végétaux ;
 - la modification génétique ;
 - des diètes alimentaires spécialisées (comme les tomates renfermant un niveau élevé de lycopène, des oeufs oméga-3, etc.).

Les produits laitiers pro ou pré-biotiques-ainsi que les aliments enrichis en vitamines et minéraux en sont des exemples connus.

Une des grandes difficultés pour reconnaître les dits «aliments santé» est que les noms les définissant sont multiples : aliments fonctionnels, nutraceutiques, ou encore aliments dans les pays francophones et/ou «nutraceuticals», «functional foods», «pharmafoods», «designer foods»... dans les pays anglophones. Cela entraîne évidemment une confusion car ces termes,

bien que très proches, n'ont pas tous la même signification.

Deux catégories du type «aliments santé» sont distinguées :

- Les nutraceutiques qui se rapprochent plus des médicaments car ils se présentent sous forme de poudres ou de pastilles.
- Les aliments fonctionnels et les aliments, produits alimentaires enrichis en diverses substances (vitamines, sels minéraux, calcium, etc.).
- Les compléments alimentaires sont commercialisés sous forme de doses, notamment sous des formes de présentation telles que les gélules, les pastilles, les comprimés, les pilules et autres formes similaires, les sachets de poudre, les ampoules de liquide, les flacons munis d'un compte-gouttes ainsi que d'autres formes analogues.

I.3. Aspect juridique des aliments

Sur le plan législatif, plusieurs points d'accord ont été distingués à l'échelle internationale dans la réglementation de ces aliments :

- Ils doivent être des aliments et n'ont pas des suppléments nutritifs de régime ;
- Ils ne doivent présenter aucun danger ;
- Ils doivent au minimum répondre à certaines exigences de base comme l'interdiction d'induire le consommateur en erreur et de ne pas empiéter sur le domaine du médicament, aspect souvent appliqué dans la catégorie des denrées alimentaires ;
- Ils sont soumis aux règles relatives à la sécurité, à l'étiquetage, la présentation et à la responsabilité civile ;
- Ils font également l'objet de textes plus précis ;

Les allégations (déclarations) concernant ces types d'aliments sont de l'ordre de quatre.

I.3.1. Allégations nutritionnelles

Elles désignent toute représentation publicitaire qui énonce, suggère ou implique qu'un aliment possède des propriétés nutritives particulières, notamment en ce qui concerne l'énergie qu'il fournit et les éléments nutritifs qu'il contient. Exemple : "riche en calcium" (Tableau 4).

I.3.2. Allégations nutritionnelles fonctionnelles

Elles signifient toute description de l'effet d'un aliment, d'un nutriment ou d'une substance nutritive sur les fonctions normales de l'organisme, exemple : le calcium aide au développement d'une ossature et d'une dentition solide (Tableau 4).

I.3.3. Allégations santé

Elles décrivent toute mention qui indique, suggère ou implique qu'une relation existe entre un aliment et à un état de santé. Par exemple, un aliment contient oméga 3 qui diminue les risques de maladies cardio-vasculaires, le calcium améliore la densité osseuse (Tableau 4).

I.3.4. Allégations thérapeutiques

Elles définissent toute propriété de prévention de traitement ou de guérison des maladies humaines que possède, un aliment (Tableau 4).

Tableau 4 : Allégations nutritionnelles autorisées en Suisse pour les vitamines et les sels minéraux (ONutr : ordonnance sur la valeur nutritive) (Kontos, 2005)

Nutriment	Apport journalier recommandé (AJR) selon ONutr	Allégations autorisées pour autant que la ration journalière du produit contienne au moins 30 % de l'AJR
Vitamine A	800 µg	Est nécessaire à la croissance. Participe à la fonction visuelle/à la différenciation cellulaire. Contribue au maintien des tissus, de l'épiderme et des muqueuses.
Béta-carotène (provitamine A)	4.8 mg	Contribue notamment au maintien des tissus, de l'épiderme et des muqueuses. En tant qu'antioxydant peut fixer l'oxygène radicalaire.
Thiamine (vitamine B1)	1.4 mg	Est nécessaire au maintien du métabolisme des glucides (sucres, amidon) ainsi qu'à la mise à disposition/libération de l'énergie. Est nécessaire au bon fonctionnement du système nerveux.
Riboflavine (vitamine B2)	1.6 mg	Intervient dans les processus du métabolisme énergétique. Est nécessaire à la croissance. Est nécessaire à l'hématopoïèse (formation du sang). Contribue au maintien des tissus, de l'épiderme et des muqueuses.
Niacine	18 mg	Est nécessaire au bon fonctionnement de la peau, du système nerveux et du métabolisme de base.
Vitamine B 6	2 mg	Est nécessaire au métabolisme des protéines et de leurs composants (peptides et acides aminés).
Vitamine B12	1 µg	Est nécessaire à l'hématopoïèse (formation du sang).
Vitamines du groupe B	Correspondant aux AJR des vitamines B individuelles selon ONutr	Sert au maintien des fonctions du système nerveux. Mêmes allégations que pour les vitamines du groupe B.
Acide folique, folacine	200 µg	Est nécessaire à l'hématopoïèse (formation du sang). Est nécessaire au développement du tube neural chez le fœtus.
Vitamine C	60 mg	Est nécessaire au maintien de l'ossature, de la dentition, des gencives et des vaisseaux sanguins sains. Intervient dans l'absorption du fer. A la fonction d'un antioxydant.
Vitamine D	5 µg	Sert au maintien d'une ossature saine, en particulier chez les enfants et les personnes âgées. Régule l'absorption du calcium et des phosphates.
Vitamine E	10 mg	Est nécessaire au maintien des fonctions musculaires. Stabilise les acides gras insaturés et les membranes cellulaires. En tant qu'antioxydant peut fixer les radicaux libres.
Vitamine K	0.1 mg	Nécessaire à la coagulation du sang.
Biotine	150 µg	Intervient dans le métabolisme des acides aminés.
Acide panthothénique	6 mg	Intervient dans les processus du métabolisme énergétique.
Calcium	800 mg	Est un constituant important des os et des dents. Joue un rôle important dans la transmission nerveuse et la contraction musculaire. Minéral indispensable à la constitution des os et des dents. Pour une ossature et une dentition saines.
Fer	14 mg	Est nécessaire à la synthèse de l'hémoglobine et au transport de l'oxygène dans les tissus en vue de la production d'énergie.
Iode	150 µg	Est nécessaire au bon fonctionnement de la glande thyroïde.
Phosphore	800 mg	Combiné au calcium est un constituant important des os. Est nécessaire aux fonctions cellulaires.
Magnésium	300 mg	Est un constituant des os et des dents. Joue un rôle important dans le métabolisme énergétique. Est indispensable au bon fonctionnement des muscles et au métabolisme énergétique. Joue un rôle dans la constitution du squelette. Joue un rôle important dans la transmission nerveuse et dans la contraction musculaire.
Zinc	15 mg	Intervient dans différentes fonctions métaboliques. Intervient dans un grand nombre de processus métaboliques. Est nécessaire à la synthèse endogène des protéines. Est nécessaire aux métabolismes des protéines, des glucides, des lipides et de l'énergie.
Sélénium	50 mcg [70 µg]	Protège l'organisme des réactions d'oxydation. A un effet antioxydant.
Antioxydants Vitamines A, C, E et sélénium	Correspondant aux AJR individuels selon ONutr	Ont une action antioxydante. En tant qu'antioxydants peuvent fixer les radicaux libres et les composés oxygénés très réactifs. Sont importants pour le maintien et le fonctionnement cellulaires. Contribuent à maintenir les fonctions cellulaires.
Vitamines en général et minéraux	Correspondant aux AJR individuels selon ONutr	Les vitamines sont des nutriments indispensables à l'équilibre vital, qui doivent être apportés à l'organisme par les aliments. Certains minéraux sont indispensables au métabolisme.

II. Aliments

II.1. But

Le but de ces aliments est toujours le même: apporter un bénéfice réel à la santé du consommateur ou réduire le risque de certaines maladies chroniques. Les effets devant être toujours supérieurs aux effets naturels du contenant (ex: margarine, yogourt...).

Les aliments fonctionnels sont associés à la prévention et/ou au traitement des quatre principales causes de mortalité du siècle :

- l'obésité ;
- l'hypertension ;
- les maladies cardiovasculaires ;
- le stress.

Ils sont utilisés aussi pour la prévention et/ou le traitement d'autres affections, telles que :

- les malformations du congénitale ;
- l'ostéoporose ;
- les troubles de la fonction intestinale et l'arthrite.

Deux des principaux domaines visés par les aliments fonctionnels sont la santé cardiaque, grâce à des produits hypocholestérolémiants, et l'entretien des os, grâce à des produits riches en calcium et en minéraux.

Les deux autres grands objectifs à atteindre sont :

- un système digestif équilibré : grâce à la consommation de produits contenant des bactéries bénéfiques ou de produits riches en fibres,
- un système immunitaire sain : grâce à l'absorption de vitamines, de minéraux ou des bonnes bactéries.

II.1.1. Intérêts vis-à-vis des aliments

II.1.1.1. Intérêt des consommateurs

Cet intérêt augmente avec le vieillissement d'une population qui veut se maintenir en bonne santé plus longtemps. Cet intérêt a aussi été stimulé par les préoccupations santé des populations devant l'augmentation des maladies chroniques ainsi que par la tendance sociale à prendre sa santé en main.

II.1.1.2. Intérêt de l'industrie

Souvent pointée du doigt parce qu'elle met sur le marché bien des aliments trop gras, trop sucrés ou trop salés, l'industrie voit dans les aliments fonctionnels une source de profits et un

moyen de redorer son image devant le consommateur.

II.1.1.3. Intérêt des autorités publiques

Certains pays ont fait le pari que l'intégration d'aliments fonctionnels dans l'alimentation peut améliorer la santé de la population et ainsi freiner l'augmentation des coûts de santé.

II.1.1.4. Progrès technologiques

Certains produits ont des effets bénéfiques importants sur la santé et il est logique d'encourager leur développement, leur commercialisation et leur consommation.

La mise au point d'aliments fonctionnels peut devenir une occasion unique de contribuer à l'amélioration de la qualité des aliments proposés aux consommateurs dans l'intérêt de leur santé et de leur bien-être. Mais seule une approche scientifique rigoureuse fournissant des données solides et significatives garantira le succès de cette nouvelle discipline de la nutrition. En outre, seule une base scientifique approuvée peut assurer la réussite économique d'un produit.

II.2. Classification

Les aliments sont classés en quatre catégories distinctes selon leurs procédés de fabrication.

II.2.1. Aliments allégés

Les aliments allégés correspondent à des aliments dont un composant considéré comme néfaste ou indésirable pour la santé a été réduit ou extrait. Cela entraîne une diminution du pourcentage de certains éléments essentiels (exemple riz hypoallergénique, lait écrémé). Toutefois, ce type de produit ne correspond pas toujours parfaitement à la définition stricte de l'aliment.

II.2.2. Aliments enrichis

Les aliments enrichis sont des aliments dont la composition d'origine est conservée, mais dans lesquels la concentration d'un nutriment déjà présent naturellement est augmentée. Il s'agit donc d'un renforcement de la valeur nutritionnelle de l'aliment (céréales enrichies en fibres, jus d'orange enrichi en vitamine C, lait enrichi en calcium).

II.2.3. Aliments ajoutés

Les aliments ajoutés désignent des aliments auxquels un ou plusieurs composants qui n'étaient pas présents initialement ont été incorporés (un nouveau composant). Ces ajouts visent à conférer à l'aliment de nouvelles propriétés bénéfiques pour la santé (œufs enrichis en oméga-3, obtenus par l'ajout de graines de lin dans l'alimentation des poules, ainsi que les yaourts contenant des esters de stérols et de stanols).

II.2.4. Aliment dans lequel un composant néfaste a été substitué

Cette catégorie regroupe les aliments dans lesquels un composant jugé défavorable pour la santé est remplacé par un autre présentant des effets bénéfiques pour l'organisme.

Cependant, avec le déchiffrage du matériel génomique de nouvelles technologies ont été développées y compris les OGM (organismes génétiquement modifiés). Les aliments génétiquement modifiés (AGM) sont classés selon la manière dont le caractère nouveau a été introduit :

- l'aliment peut être lui-même un OGM (tomate, maïs, riz, etc.) ;
- l'aliment contient un OGM vivant (yaourt contenant des bactéries lactiques : probiotiques) ;
- l'aliment contient des produits fournis par les OGM (enzymes, acides aminés et vitamines : prébiotiques) ;
- l'aliment fourni par des OGM pasteurisés (ex : yaourt pasteurisé).

II.3. Efficacité des aliments

III.3.1. Cadre législatif et réglementation des allégations de santé

Il n'y a pas de législation spécifique concernant ce type de produits. La législation prend en considération seulement deux classes de produits: les aliments et les médicaments. En conséquence les entreprises peuvent agir assez librement dans la fabrication des aliments.

Dans les pays européens, la restriction déterminante est qu'il est interdit de marquer sur l'emballage une allégation exprimant que le produit lutte contre une maladie définie. Il sera donc impossible de trouver, en Europe, des chewing-gums luttant contre le rhume ou encore des boissons contre le cancer. Par contre ils sont procurés légalement dans les supermarchés aux Etats-Unis ainsi qu'au Japon. En Suisse: l'art. 19 de l'Ordonnance Fédérale sur les Denrées Alimentaires précise: «les mentions prêtant à une denrée alimentaire des propriétés thérapeutiques sont interdites. En revanche, les indications relatives à la nature et à la fonction des nutriments sont autorisées, pour les aliments dits spéciaux» (par aliments spéciaux on entend les aliments enrichis). Il est autorisé de marquer sur un produit enrichi en calcium que celui-ci est bon pour les os, mais pas qu'il lutte contre l'ostéoporose. Les aliments qui ne sont pas régulés par l'Ordonnance, sont soumis à l'Office Fédéral de la Santé Publique qui après avoir étudié les dossiers fournis par le fabricant décide de ce qui peut figurer sur l'emballage.

III.3.2. Évaluation scientifique et validation de l'efficacité des aliments

Pour démontrer ou non l'efficacité des aliments dits «santé», il faudrait étudier non pas chaque classe d'aliment, mais chaque produit. Un produit enrichi en vitamine, en oméga 3 ou

encore auquel on a ajouté un micro-organisme ne peut pas être analysé de la même manière. Il faudrait procéder à des études quelque peu différentes en fonction du principe actif utilisé.

II.3.3. Incertitudes liées aux effets à long terme des aliments

Du fait de leur nouveauté ces produits n'ont pas d'antécédents. Les effets de cette catégorie à long terme sont inconnus. De nombreuses études ont été publiées récemment (stérols et stanols) mais les résultats ne rendent compte que d'une action à relativement court terme de ces substances.

II.4. Ethique dans le domaine de la vente

L'éthique est une recherche du bien vivre et du bien faire, fondée sur une disposition individuelle à agir de manière constante en vue du bien d'autrui et dans des institutions justes.

L'éthique est une réflexion qui vise à déterminer les principes du bien agir en tenant compte des contraintes relatives à des situations déterminées. La signification de l'éthique peut varier d'un domaine à l'autre, d'un environnement à l'autre. Ainsi, dans le domaine des affaires, « penser éthique » signifie que l'on recherche parallèlement efficacité et légitimité.

L'éthique est réflexive et interrogative : « Les jugements d'évaluation sont principalement centrés sur la situation, non sur la règle. Ils incluent par conséquent la relativité en fonction de la position de la perception de l'éthique de chacun des acteurs de la situation.

Pour Nilles, la faculté de mettre en œuvre un comportement éthique dépend de cinq vertus: les quatre vertus capitales (justice, courage, prudence et tempérance) ainsi qu'une cinquième vertu : l'altruisme (Tableau 5 et 6). La réalité de l'environnement comprenant des aspects multiples et parfois contradictoires, il convient de combiner ces vertus de la meilleure façon possible.

S'agissant des aliments, la position des fabricants et dans notre cas plus particulièrement des marketers, est bien spécifique : il s'agit de rechercher une vente juste, de trouver un équilibre entre les principes des différents acteurs de la situation ; il faut tenir compte simultanément de son propre intérêt, de celui de l'entreprise et de celui du client. Les intérêts entre ces trois partis étant souvent différents, voire inconciliables, le marketer devra chercher des options supportables pour tous.

Les deux tableaux ci-dessous illustrent de manière synthétique les vertus nécessaires à une approche éthique dans les actions de vente. Ils permettront de voir, lors de l'analyse concrète des textes publicitaires de quelques aliments choisis pour exemple, dans quelle mesure les entreprises en tiennent compte.

Tableau 5 : Définition des vertus (Kontos, 2005)

Vertus	Définition traditionnelle	Définition adaptée à la vente / communication
Altruisme	Considération pour autrui en tant qu'individu	Vendre comme on voudrait que l'on nous vende
Justice	Attribution à chacun de ce qui lui revient	Légalité de la transaction, respect des engagement
Courage	Résolution dans la prise de décision Capacité à surmonter les difficultés	Capacité à affronter l'échec et les difficultés
Prudence	Sagesse dans l'action Ethique de la responsabilité	Action intelligente de vente, bonne foi
Tempérance	Modération dans les désirs et la recherche du gain	Modération du désir de vendre, conception de l'intérêt à long terme.

Tableau 6 : Comportements classiques des vertus du vendeur / du marketer (Kontos, 2005)

Vertus	Comportements spécifiques du vendeur / marketer
Altruisme	Considérer chaque client de la même manière Comprendre le client en tant qu'être humain Chercher à satisfaire les besoins et l'intérêt réels du client
Justice	Tenir ses engagements Traiter équitablement tous les clients
Courage	Conserver son indépendance d'esprit Ne conclure / promouvoir la vente que si elle est juste et estimable
Prudence	Donner au client les informations exactes sur la nature et les caractéristiques du produit Reconnaître la valeur des objections et y répondre ouvertement Fournir au client des conseils fondés sur la responsabilité
Tempérance	Ne pas abuser de son pouvoir d'influence sur la décision du client Laisser au client les moyens de décider

III. Aliments et évolution du secteur agroalimentaire

Françoise Bertrand, médecin, se plaît à reprendre ces paroles du docteur Kousmine, prononcées dans les années 50 : « Ce que je mange aujourd'hui devient mon cerveau de demain... toute mes cellules... ma descendance ».

Elle rappelle que « notre corps, le tractus gastro-intestinal et le métabolisme ont évolué pour assimiler, digérer, absorber et métaboliser deux tiers provenant des fruits et légumes et un tiers provenant d'animaux et de poissons » et que « notre alimentation a été assez stable pendant des siècles ».

L'industrie commercialise de la malbouffe, et le consommateur la consomme :

- sept fois moins de légumes il y a cinquante ans ;
- deux fois plus de sucre au début du siècle ;
- deux fois plus de viande il y a cinquante ans ;

- deux fois plus de fromage il y a vingt ans.

La consommation de graisses au détriment des sucres complexes a été fortement augmentée.

L'alimentation, restée stable pendant des siècles, s'est dégradée au cours des 50 dernières années au point de ne plus apporter tous les nutriments dont l'organisme a besoin. Les ancêtres du Paléolithique consommaient environ 33 % de protéines, alors que l'Américain d'aujourd'hui en consomme environ 12 %. Les glucides sont passés de 46 % à 42 %, les lipides de 21 % à 42 %, avec une forte proportion de graisses saturées. Le sodium est passé de 690 mg à 3 400 mg, tandis que l'apport en calcium a diminué de 1 500–2 000 mg à 740 mg.

Environ 1,5 milliard de personnes de plus de 20 ans souffrent d'obésité (OMS, 2008) et 43 millions d'enfants de moins de 5 ans sont en surpoids (OMS, 2010). Son bon sens devrait alors le tourner vers davantage de produits de base tels que les céréales, les fruits et les légumes, peu rentables pour l'agro-industrie. C'est pourquoi les spécialistes-marketing du secteur agro-alimentaire n'ont pas hésité à modifier le contenu de leurs produits (et de leur emballage bien entendu) pour en faire des produits presque entre malbouffe et bonne-bouffe ! De quoi rendre le consommateur lui-même ambivalent.

Depuis plusieurs années fleurissent de nouveaux slogans sur l'emballage des produits industriels :

- « aliments enrichis en Oméga 3 »,
- « pauvre en sel »,
- « réduit le cholestérol »,
- « couvre 20% des besoins journaliers en fibres », etc.

Toutes les formules existent... Même les briques de lait - dont la composition n'a pourtant pas changé depuis la nuit des temps – clament leur « source de calcium ».

Une étude réalisée a démontré que : « Les marges dégagées sur les produits standards de X sont de 12,9 % alors que sur les aliments de cette même marque, elles sont de 19 % ». Avec ces nouveaux produits, X entend jouer un rôle de prévention. Des maladies comme l'obésité, le diabète ou Alzheimer sont visées.

Des milliers de dollars encaissés sur le dos de bébés nourris avec des poudres de lait à l'huile de palme et aux protéines en quantités telles qu'elles ont déformé les courbes de croissance proposées et augmenté les cas d'obésité.

Par exemple la composition complète du produit Y est : Lait écrémé et lait écrémé concentré, stérols végétaux (1,6%), fruits rouges 1% (fraise 0,5%, cerise acide 0,3%, framboise

0,2%), polydextrose, oligofructose (fibre alimentaire), épaississants (amidon modifié de maïs, pectine, gomme guar), arôme, colorants (jus concentré de raisin, cochenille), correcteurs d'acidité (acide citrique, citrate de sodium, citrate de calcium), ferments lactiques du yoghourt, édulcorants (aspartame, acésulfame K). Contient une source de phénylalanine. Contient: lait.). Ce produit est surchargé de sucres, de colorants, de correcteurs d'acidité, d'édulcorants (aspartame compris !), des additifs alimentaires aux noms chimiques incompréhensibles et aux effets sur la santé controversés, voire cachés.

Les produits présents sur le marché des aliments-santé se caractérisent par une diversification croissante visant à répondre à des besoins nutritionnels et physiologiques variés des consommateurs. Cette offre peut être globalement structurée en trois grandes catégories :

– Les aliments « sans » (appauvris en) :

- - nutriments nocifs en excès : sel, matières grasses, cholestérol,
- - nutriments sources d'intolérances (lactose, gluten) ou d'allergies ;

– Les aliments « avec » (complémentations) :

- - nutriments classiquement reconnus comme bénéfiques : oméga-3, vitamines, minéraux,
- - molécules ou microorganismes à « effets physiologiques spécifiques » ou « aliments réduisant un facteur de risque de maladie » (phytostérol, antioxydants, probiotiques)*;

– Les aliments dédiés à des personnes fragiles ou malades :

- - aliments diététiques destinés à des fins médicales spéciales (ADDFMS, sous contrôle médical).

* De ces trois exemples, seuls les phytostérols sont réglementairement reconnus comme pouvant réduire un facteur de risque de maladie.

III.1. Produits riches en antioxydants

III.1.1. Stress oxydant

III.1.1.1. Définition

Le stress oxydant est un état de déséquilibre entre la production d'éléments oxydants et l'efficacité de système de défense antioxydant résultant au sein d'un individu. Ce déséquilibre provient soit d'une surproduction d'agent oxydant, soit d'une altération de mécanismes de défense.

III.1.1.2. Origine du stress oxydatif

Les radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques et qui sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable. Cependant, la production peut devenir excessive ou

résultant de phénomènes toxiques exogènes d'où la nécessité de se protéger par différents systèmes antioxydants.

A l'état naturel, les radicaux libres sont produits en permanence en faible quantité tels que les médiateurs tissulaires ou les résidus des réactions énergétiques ou de défense; la balance antioxydants/ prooxydants est dit qu'elle est en équilibre. Toutefois, dans le cas inverse, soit par déficit en antioxydants ou par une surproduction très importante des radicaux libres, cet excès est appelé « **stress oxydant** ».

a) Définition des radicaux libres

Un radical libre (RL) est une espèce chimique (atome ou molécule, neutre ou chargée) possédant un électron non apparié sur sa couche périphérique. Cette caractéristique lui confère une réactivité importante et réagit avec d'autres molécules plus stables pour capter ou céder leurs électrons, créant ainsi de nouveau radicaux en initiant des réactions en cascade.

Les espèces dérivées de l'oxygène dites espèces actives de l'oxygène, comme l'oxygène singulet $^1\text{O}_2$, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ou le nitroperoxyde (ONOOH), ne sont pas des radicaux libres, mais sont des réactives et peuvent être des précurseurs de radicaux. L'ensemble des radicaux libres et de leurs précurseurs est souvent appelé espèces réactives de l'oxygène (ERO).

b) Origine des radicaux libres

Ils sont produits par divers mécanismes physiologiques afin de détruire les bactéries au sein des cellules phagocytaires (macrophages, polynucléaires) ou pour réguler des fonctions cellulaires létales telles que la mort cellulaire programmée ou l'apoptose.

Les espèces réactives ne sont pas produites uniquement en réponse à un stress (pollution, fumée de tabac, ultraviolets, pesticides...), mais également elles sont produites dans la mitochondrie au cours de la respiration cellulaire pour fournir de l'énergie nécessaire à la cellule. La principale source étant la réduction d'une molécule d' O_2 en radical anion superoxyde $\text{O}_2^{\cdot-}$ qui est catalysée par NADPH oxydase membranaire qui sont généralement des transports d'électron de la chaîne respiratoire (flavoprotéines, cytochrome et les quinones) (Figure 1).

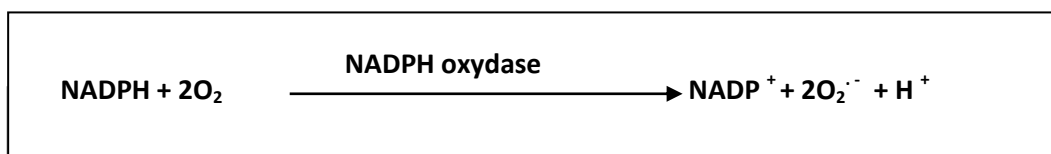


Figure 1 : NADPH oxydase membranaire (Januel, 2003).

Le système enzymatique xanthine / xanthine oxydase est également considéré comme une source biologique importante de radicaux superoxyde (Figure 2). En effet, en présence d'oxygène la xanthine oxydase catalyse l'oxydation de la xanthine (c'est une substance issue de la dégradation des bases puriques) en acide urique selon la réaction suivante:

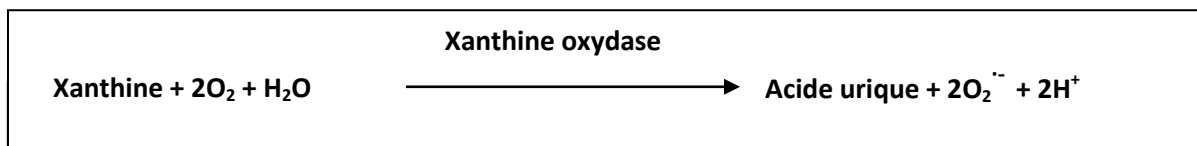


Figure 2 : Xanthine oxydase catalyse l'oxydation de la xanthine en acide urique (Marfak, 2003)

Environ 5% de l'oxygène au niveau de la mitochondrie devient anion superoxyde et les 95% restant utilisé par la cellule est réduit en eau en vue de la formation de l'ATP. Au niveau de réticulum endoplasmique et les microsomes le fer présent dans le cytochrome P450 est capable de réagir avec l'oxygène et produire ainsi l'anion superoxyde qui sera le déclencheur de la peroxydation lipidique.

Les rayonnements sont capables de générer des radicaux libres, soit en scindant la molécule d'eau, lorsqu'il s'agit des rayons ionisants X ou gamma, soit en activant des molécules photosensibilisantes lorsqu'il s'agit des rayons ultraviolets qui vont produire des anions superoxydes et de l'oxygène singulet (Figure 3).

Les métaux possèdent des capacités privilégiées d'interaction avec l'oxygène et cela pour le lier ou bien pour lui échanger des électrons, c'est le cas de l'hémoglobine et de l'oxydase. Le cuivre et le fer libres génèrent des radicaux hydroxyles, très réactifs, à partir de l'espèce peu réactive H₂O₂, par une réaction appelée réaction de Fonton (réaction catalysée par du Fer).

D'autres origines des radicaux libres tel qu'une défaillance nutritionnelle, carence en un ou plusieurs antioxydants apportés par la nutrition (les vitamines, les oligo-éléments), la mauvaise adaptation résultant soit des anomalies génétiques responsables d'un mauvais codage des enzymes catalysant la réaction antioxydante ou bien celles impliquées dans la synthèse des antioxydants.

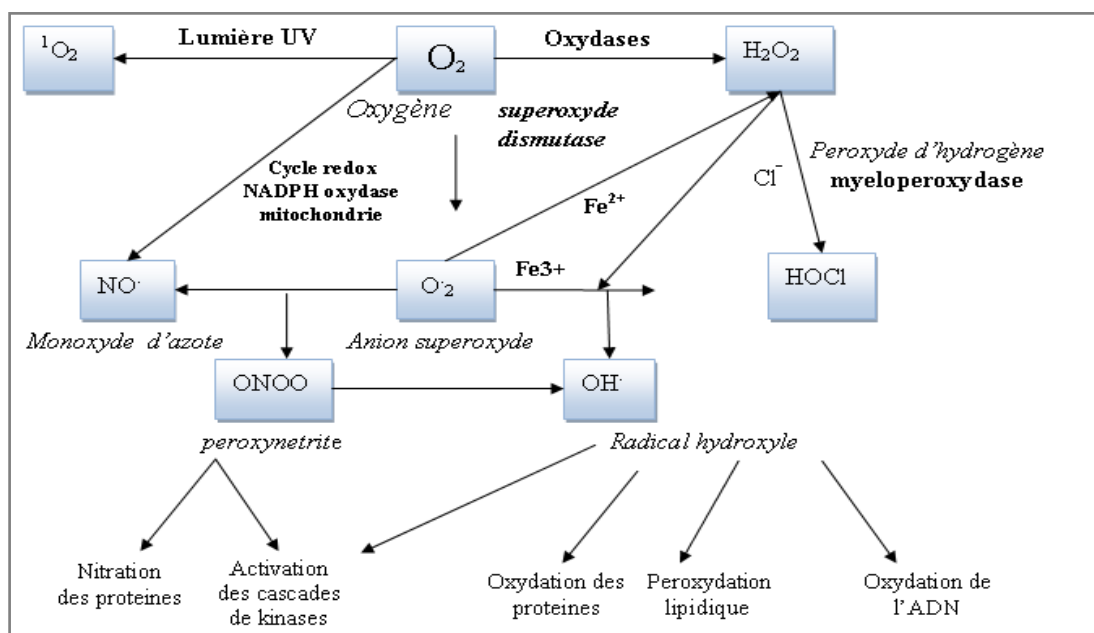


Figure 3 : Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène (Favier, 2003).

III.1.1.3. Conséquences du stress oxydant

Les radicaux libres font partie intégrante du fonctionnement de l'organisme et jouent un rôle dans la reproduction, la nidation de l'œuf fécondé, le développement de l'embryon, et ils peuvent être nécessaires dans les processus tels que la transmission de message intracellulaire, la défense contre les microorganismes, et la régulation des fonctions cellulaires (vasodilatation, prolifération, apoptose). Cependant, la production excessive de radicaux libres provoque des lésions directes de molécules biologiques (oxydation de l'ADN, des protéines, des lipides, et des glucides), mais aussi des lésions secondaires dues au caractère cytotoxique et mutagène des métabolites libérés notamment lors de l'oxydation des lipides.

a) Oxydation des acides nucléiques

Les radicaux libres peuvent induire des effets mutagènes ou l'arrêt des réplifications de l'ADN. Ils agissent en provoquant des altérations de bases comme la guanine (G) qui conduit à la formation de 8-oxo-guanine, qui est à l'origine de mutations géniques.

Le stress oxydant peut aussi attaquer la liaison entre la base et le désoxyribose, créant un site abasique, ou attaquer le sucre lui-même, formant une coupure de chaîne simple brin. Ces lésions auront des conséquences sur le contrôle du cycle cellulaire et sur l'expression génique; le stress oxydant provoque la répression de gènes de cycle cellulaire et l'augmentation de la durée de la phase G1, pendant cet arrêt la cellule vérifie son matériel génétique et entre en apoptose.

b) Peroxydation lipidique

La peroxydation lipidique est considérée comme phénomène naturel lorsqu'elle est contrôlée par des enzymes telle que la prostaglandine synthétase (cette enzyme intervenant dans l'étape finale de la biosynthèse de la prostaglandine E_2 à partir de l'acide arachidonique), la 5-lipoxygénase (est responsable de la synthèse des leucotriènes, principaux médiateurs lipidiques de l'inflammation), mais elle devient pathologique quand son mécanisme est non enzymatique.

La présence d'un radical peroxy ($ROO\cdot$) perturbe les interactions hydrophobes lipides /lipides et protéines /protéines, ceci conduit à des altérations de la membrane et des lipoprotéines. La fluidité de la membrane diminue et la perméabilité augmente, les enzymes et les récepteurs membranaires sont susceptibles d'être inactivés.

Les principaux produits de cette peroxydation lipidique est : le MDA (malondialdéhyde) et le 4HDN (4-hydroxynonanal). Ces produits sont eux-mêmes des oxydants qui réagissent avec certains acides aminés.

c) Oxydation des protéines

L'action des radicaux libres porte sur la chaîne latérale de certaines acides aminés comme le thiol des cystéines ou le méthyle de méthionine (Figure 4).

Les acides aminés comme la méthionine, la lysine, et les acides amines aromatiques peuvent être oxydés de façon irréversible ce qui modifie la structure des protéines et altère leurs fonctions et devient généralement plus sensible à l'action des protéases et sont donc éliminées.

La glutamine synthétase est l'une des protéines les plus sensibles à cette oxydation, ainsi que le collagène qui se fragmente sous l'effet de ces radicaux libres, générant des lésions tissulaires qui apparaissent au cours de l'inflammation. De même, les produits de la peroxydation lipidique (MDA et HDN) peuvent se fixer sur le collagène et perturber le cycle cellulaire des fibroblastes (Un fibroblaste est une cellule présente dans le tissu conjonctif en assurent la cohérence et la souplesse).

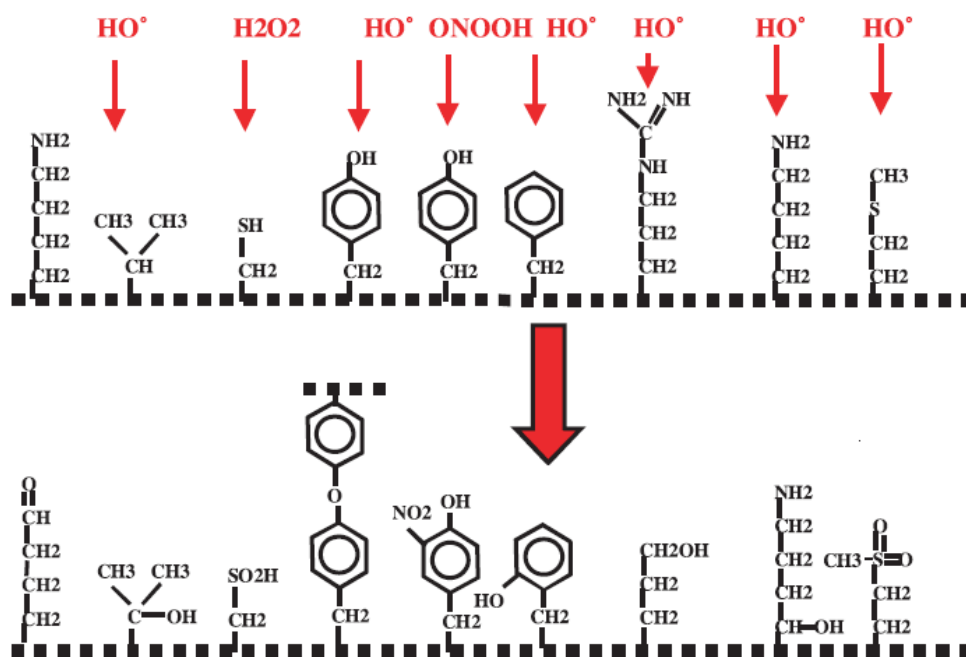


Figure 4 : Nature de quelques modifications des chaînes latérales d'acides aminés des protéines après attaque radicalaire (Favier, 2003).

III.1.2. Antioxydants

Le terme « antioxydant » est généralement utilisé au sens large, désignant des agents capables d'interférer avec les processus impliqués dans le stress oxydatif. Dans un sens plus restreint, il désigne une action de rupture de chaîne lors de l'auto-oxydation des lipides. Les antioxydants sont des substances qui, lorsqu'elles sont présentes dans les aliments à de faibles concentrations par rapport à celles d'un substrat oxydable, retardent ou empêchent considérablement l'oxydation de ce substrat et ainsi éliminent directement les espèces réactives de l'oxygène (ERO), régulent positivement les défenses antioxydants ou inhibent la production de ERO. Ces antioxydants peuvent agir contre la lipopéroxydation de deux façons :

- Soit en protégeant les lipides cibles (les acides gras polyinsaturés ou AGPI) contre les effets délétères des espèces réactives de l'oxygène (ERO) : ion superoxyde, oxygène singulet, $\text{NO}^\bullet$ et peroxynitrite;
- Soit en empêchant la propagation de la lipopéroxydation une fois qu'un peroxyde d'acide gras (le radical acylperoxy) est apparu.

Dans le premier cas, ils fonctionnent comme des pièges à ERO (caroténoïdes, vitamine C, polyphénols). Dans le second cas, ils interrompent directement la chaîne de lipopéroxydation (α -tocophérol) ou participent indirectement à cette interruption (acide ascorbique, polyphénols).

Un antioxydant alimentaire idéal doit être facilement incorporable, efficace à faible dose, non toxique, n'entraîne ni coloration, ni odeur, ni saveur indésirable, tout en restant stable durant les procédés technologiques et dans le produit fini.

III.1.2.1. Types d'antioxydants

Les antioxydants sont des composés naturels ou synthétiques qui peuvent être divisés en antioxydants primaires et secondaires.

a) Antioxydants primaires

Les antioxydants primaires (AH) appelés aussi radicalaires ou vrais, sont des substances qui interrompent la réaction en chaîne de l'oxydation, ils agissent en donnant un atome d'hydrogène ou un électron à un radical perturbant ainsi sa capacité à poursuivre le processus de propagation de la chaîne radicalaire. Il est important que le radical antioxydant ($A^\bullet$) formé soit suffisamment stable (faible en énergie) pour ne pas poursuivre la propagation des radicaux libres.



La stabilité du radical $A^\bullet$ peut s'expliquer par sa conversion en composés non radicalaires :



b) Antioxydants secondaires

Les antioxydants secondaires appelés aussi préventifs sont des substances qui réagissent avec les hydroperoxydes (ROOH), les convertissant en produits plus stables et non radicaux. Ce qui assure l'inhibition de la production des radicaux libres. Les hydroperoxydes réagissent avec les métaux pour former des radicaux hydroxyles ($OH^\bullet$) et qui peuvent à leur tour extraire l'hydrogène des lipides, générant ainsi des radicaux carbonés qui favorisent le cycle de propagation. Les antioxydants secondaires agissent par des mécanismes indirects comme :

- Chélateurs

Ce sont des composés de coordination qui se lient aux métaux comme le cuivre et le fer, dans le but d'inhiber la réaction d'oxydoréduction du métal ou forment des complexes métalliques insolubles. Parmi ces chélateurs, les acides (acide phosphorique, acide ascorbique), l'acide éthylène-diamine-tétra acétique (EDTA) et l'acide citrique sont les plus couramment utilisés.

- Quenchers

Les quenchers sont des substances qui désactivent l'énergie d'excitation d'une molécule soit par une réaction chimique donnant des hydro-peroxydes soit par un processus physique éliminant cette énergie sans changement chimique. Les phénols, les caroténoïdes et les sels de

nickel (utilisés uniquement dans l'industrie du plastique) en sont des exemples.

Réaction chimique : $^1\text{O}_2 + \text{LH} \rightarrow \text{LOOH}$ (Cillard et Cillard, 2006).

Réaction physique : $^1\text{O}_2 + \beta\text{-carotène} \rightarrow \text{O}_2 + \beta\text{-carotène}^*$ (Cillard et Cillard, 2006).

- Piégeurs d'oxygène

Les piégeurs d'oxygène sont des substances qui réagissent avec l'oxygène du système à stabiliser et l'éliminent. L'acide ascorbique et le fer métallique en poudre sont des exemples d'antioxydants qui fonctionnent de cette manière.

- Régénérateurs d'antioxydants

Les régénérateurs antioxydants sont des substances qui réduisent les radicaux formés lorsqu'un antioxydant primaire cède un atome d'hydrogène ou un électron à un radical libre. Le tocophérol, un antioxydant primaire actif, est régénéré lorsque le radical tocophéryle est réduit par l'acide ascorbique.

III.1.2.2. Catégories des antioxydants

Les antioxydants sont largement utilisés comme additifs alimentaires, donc il existe deux grandes catégories d'antioxydants : les antioxydants synthétiques et les antioxydants naturels.

A) Antioxydants synthétiques

Les antioxydants synthétiques sont largement utilisés dans l'industrie (alimentation humaine et animale), ainsi que dans l'industrie de la confiserie et des huiles alimentaires, en raison de leur stabilité, de leur faible coût et de leur grande disponibilité. Ils peuvent être aussi ajoutés comme additifs directs ou indirectement par diffusion à partir du matériau d'emballage.

Parmi ces antioxydants synthétiques (Figure 5, 6, 7): l'hydroxyanisolebutylé (BHA), l'hydroxytoluènebutylé (BHT) et la tert-butylhydroquinone (TBHQ).

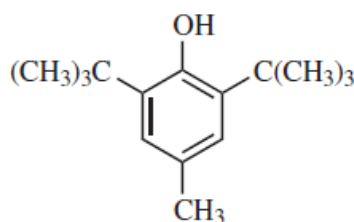


Figure 5 : Structure chimique de BHT (Shahidi et al., 2005).

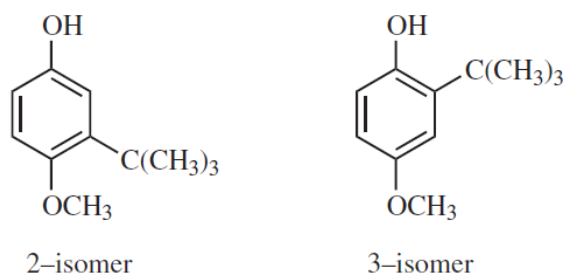


Figure 6 : Structures chimiques des molécules de BHA (Shahidi, et al., 2005).

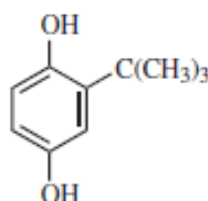


Figure 7 : Structure chimique de TBHQ (Shahidi et al., 2005).

B) Antioxydants naturels

Le terme « antioxydants naturels » fait référence aux substances trouvées dans les tissus végétaux ou animaux et qui peuvent être extraits de ceux-ci, ou encore à ceux susceptibles de se former lors de la cuisson ou du traitement des ingrédients végétaux ou animaux destinés à l'alimentation. Ces substances améliorent les propriétés physicochimiques, chimiques et sensorielles du produit.

L'acide ascorbique et les tocophérols représentent les antioxydants naturels commerciaux majeurs. En outre, plusieurs antioxydants naturels phénoliques ont été découverts dans des extraits et des sources végétales, potentiellement exploitables dans une variété d'applications alimentaires.

a) Acide ascorbique (Vitamine C)

La vitamine C est un micronutriment hydrosoluble nécessaire à de multiples fonctions biologiques considéré comme un puissant agent réducteur connu pour agir comme antioxydant. Cet acide ascorbique endogène protège les lipides contre la peroxydation induite par une vaste gamme d'agressions oxydatives. Le terme « vitamine C » est utilisé au sens large pour décrire tout composé dont il est prouvé qu'il possède une activité biologique totale ou partielle de l'acide L-ascorbique (L-AA). Il inclut les esters de L-AA, tels que le palmitate d'ascorbyle (activité relative de 100 %), les formes synthétiques telles que le 6-désoxy-L-AA (activité relative de 33 %) et la forme oxydée de L-AA, à savoir l'acide déhydroascorbique (L-DHAA) (activité relative

de 80 %).

La vitamine C possède deux groupes hydroxyle ionisables ce qui en fait un diacide (AsCH_2) (Figure 8). Elle réagit avec les radicaux libres pour former un radical ascorbate stable ($\text{Asc}^{\bullet-}$), peu réactif, ce qui fait d'elle un antioxydant terminal efficace dans la protection des cellules contre le stress oxydatif.

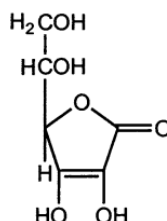


Figure 8 : Structure chimique de la vitamine C (acide ascorbique) (Rietjens et al., 2002).

b) Tocophérol (Vitamine E)

Les tocophérols sont des composés lipophiles du groupe de la vitamine E (Figure 9), exclusivement synthétisés par les plantes. Ils jouent un rôle important en tant qu'antioxydant physiologiquement essentiel pour inhiber la peroxydation lipidique. Ils participent, avec de nombreuses autres substances, à la lutte contre les formes réactives de l'oxygène. Ils peuvent donc exercer une protection contre certaines toxines chimiques et les métaux. La concentration initiale de la vitamine E joue un rôle clé dans la préservation de l'huile du rancissement pendant le stockage ; elle prolonge sa durée de conservation et préserve sa qualité.

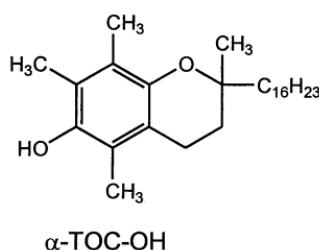
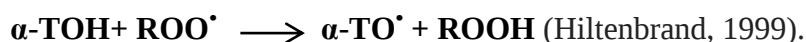


Figure 9 : Structure chimique de la vitamine E (tocophérol) (Rietjens et al., 2002).

L' α -tocophérol réagit avec les radicaux peroxydes, formés à partir des AGPI, en donnant un hydrogène par le groupement hydroxyle du noyau chromane, et bloque ainsi la phase de propagation et formation d'un radical tocophéryl ($\alpha\text{-TO}^{\bullet}$) :



Le radical tocophéryl ($\alpha\text{-TO}^{\bullet}$) ainsi formé étant de faible réactivité, la réaction en chaîne

s'arrête d'elle-même. La régénération de la vitamine E met en jeu l'ascorbate (vitamine C).

c) Polyphénols

Encore appelés « biophénols », sont des substances naturelles aux propriétés antioxydantes importantes, possédant au moins un cycle aromatique lié à un ou plusieurs groupes hydroxyles. Ils réduisent les dommages oxydatifs des protéines, des lipides, des glucides et de l'ADN dans les cellules et tissus vivants causés par les espèces réactives de l'oxygène). La principale caractéristique structurelle responsable de l'activité antioxydante et du piégeage des radicaux libres dans le cas des dérivés phénoliques est le groupe hydroxyle phénolique. Les phénols sont capables de donner l'atome d'hydrogène de l'OH phénolique (Figure 10) aux radicaux libres, arrêtant ainsi la chaîne de propagation pendant le processus d'oxydation.

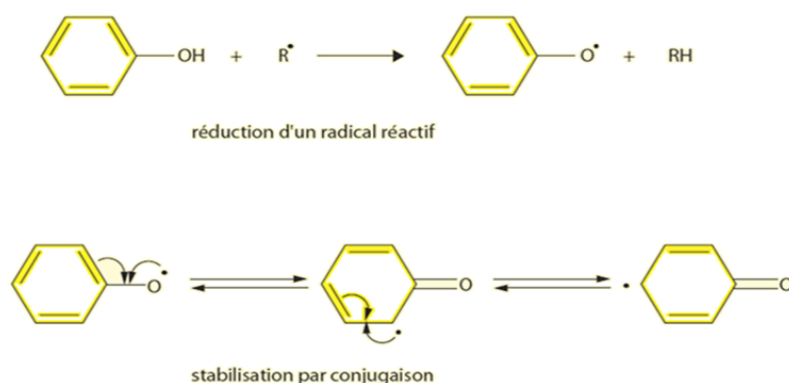


Figure 10 : Propriétés réductrices des polyphénols (Rolland, 2004).

- Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont un groupe de polyphénols naturels de faible poids moléculaire d'origine végétale. La plupart de ces composés appartiennent à quatre groupes principaux : les flavones, les flavonols, les flavanones et les flavanols.

Les premiers flavonoïdes identifiés dans l'huile d'olive vierge sont les flavones présentes surtout sous forme libre, la lutéoline et l'apigénines.

La propriété des flavonoïdes la mieux décrite est l'activité antioxydante et leur capacité à piéger les radicaux libres ; radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$), anions superoxydes ($\text{O}_2^{\cdot-}$), etc.. Les flavonoïdes sont considérés également comme de bons chélateurs des ions métalliques. Cette action est surtout observée dans le cas des flavonols où le groupe 4-céto forme avec les OH en 3 ou en 5 un site idéal pour cette complexation. Un deuxième site peut être présent au niveau des hydroxyles 3' et 4' du noyau B (Figure 11).

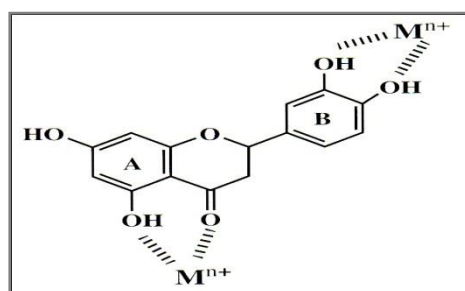


Figure 11 : Chélation de métaux par les flavonols (Berset, 2006).

d) Caroténoïde (pigment)

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles de couleur jaune, orange et rouge, omniprésents dans les plantes vertes, les fruits et les légumes. Les deux classes de caroténoïdes sont les carotènes et les xanthophylles. Les carotènes (β -carotène, lycopène, etc.) sont des hydrocarbures polyéniques dont le degré d'insaturation varie. Le β -carotène est le plus abondant des caroténoïdes. Les xanthophylles (astaxanthine, canthaxanthine, etc.) sont synthétisées à partir des carotènes par des réactions d'hydroxylation et d'époxydation et contiennent donc des groupes d'oxygène (Figure 12).

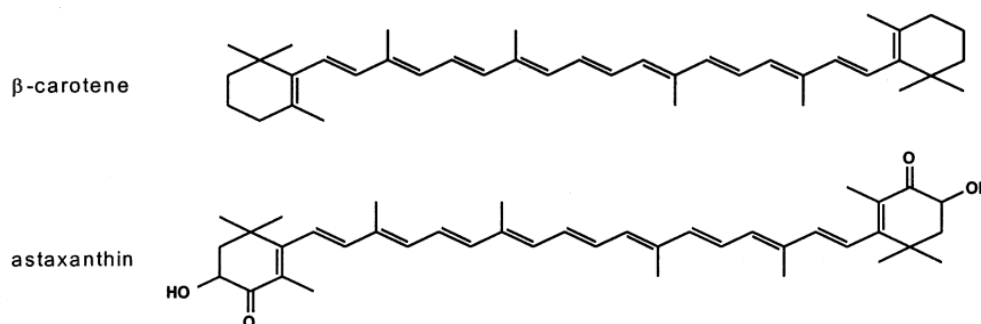


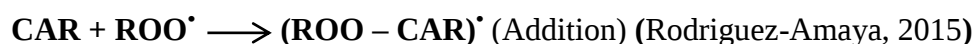
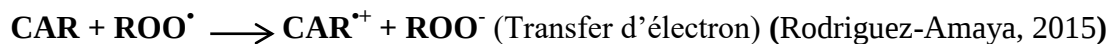
Figure 12 : Structures chimiques de β -carotène et astaxanthine (Rietjens et al., 2002).

Environ 10 % des 600 caroténoïdes ainsi identifiés ont l'activité biologique de la vitamine A et sont appelés composés de provitamine A. Les huiles végétales contiennent de faibles quantités de caroténoïdes qui sont éliminés au cours du raffinage.

Les pigments sont considérés comme des composés importants pour la conservation de la qualité d'huile d'olive, en raison de leur nature antioxydante dans l'obscurité et pro-oxydante à la lumière.

Les caroténoïdes agissent comme de puissants antioxydants qui aident à neutraliser les

radicaux libres. Les propriétés antioxydantes des caroténoïdes sont dues à leur exceptionnelle capacité d'extinction de l'oxygène singulet ($^1\text{O}_2$) et à leur activité de piégeage des radicaux libres. L'interaction avec les radicaux libres peut se produire de trois manières principales.



III. 2. Produits à base de probiotiques et de prébiotiques

Les prébiotiques et les probiotiques sont des ingrédients relativement importants sur le marché des aliments fonctionnels. Les prébiotiques représentent une minorité de fibres alimentaires possédant des propriétés particulières et les probiotiques sont représentatifs d'une certaine partie des bactéries qui constitue notre organisme. Ces deux éléments interagissent ensemble sur l'organisme, en procurant un effet « symbiotique ».

III. 2.1. Définition

La FAO (Food and Agriculture Organization) des Nations Unies et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ont établi des lignes directrices pour l'utilisation du terme « probiotiques » dans les aliments. La définition est la suivante : « micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés en quantités adéquates, produisent un bénéfice pour la santé de l'hôte ».

La définition aujourd'hui adoptée souligne que le concept de probiotique fait appel à 4 notions importantes:

- Un probiotique est un micro-organisme vivant (les micro-organismes tués par la chaleur ne répondent donc pas à la définition des probiotiques ;
- Un probiotique est ingéré par voie orale (Il s'agit, dans un grand nombre de cas, de bactéries ou de levures ajoutées aux aliments, notamment les produits laitiers fermentés, mais aussi de médicaments ou de compléments alimentaires) ;
- Un probiotique exerce un effet bénéfique pour la santé de l'hôte ;
- Un probiotique exerce son action en améliorant l'équilibre du microbiote intestinal.

Une bactérie, pour être qualifiée de probiotique, doit donc survivre au transit gastro-intestinal, pouvoir s'établir dans la microflore intestinale et être retrouvée dans les selles.

Les probiotiques sont donc des micro-organismes bénéfiques pour la santé, mais sont à différencier des autres agents pouvant être utilisés pour leur action favorable pour la santé :

- **les prébiotiques** (substances non digestibles qui induisent un effet physiologique bénéfique à l'hôte en stimulant de façon spécifique la croissance et/ou l'activité d'un nombre limité de populations bactériennes déjà établies dans le côlon);

- **les symbiotiques** (produits contenant au moins un probiotique et un prébiotique);

- **les bactéries non vivantes** (pouvant également induire un effet physiologique bénéfique.

Ces bactéries sont également appelées abiotiques ou agents biothérapeutiques).

III. 2.2. Quelques espèces ayant une activité probiotique

Les probiotiques sont donc des micro-organismes bénéfiques qui colonisent la flore présente dans l'organisme au niveau intestinal et vaginal. Une bactérie « probiotique » doit :

- appartenir à la flore commensale ;
- avoir un métabolisme actif ;
- ne pas être pathogène ou carcinogène ;
- survivre dans l'aliment et le tractus intestinal.

Quelques genres bactériens et un genre de levure sont utilisés comme probiotiques (Tableau 7):

- ✓ *Bifidobacterium*,
- ✓ *Lactobacillus*,
- ✓ Des coques: *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus faecium*,
- ✓ Des souches de *Saccharomyces cerevisiae*, parfois dénommées *Saccharomyces boulardii*.

Tableau 7 : Liste des espèces ayant une activité probiotique (Burgain et al., 2016)

Bactéries lactiques			Bactéries non lactiques	Levures
Lactobacilles	Bifidobactéries	Autres bactéries lactiques		
<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Lactobacillus amylovorus</i> <i>Lactobacillus brevis</i> <i>Lactobacillus casei</i> <i>Lactobacillus cellobius</i> <i>Lactobacillus crispatus</i> <i>Lactobacillus curvatus</i> <i>Lactobacillus delbrueckii</i> <i>Lactobacillus farciminis</i> <i>Lactobacillus fermentum</i> <i>Lactobacillus gasseri</i> <i>Lactobacillus gallinarum</i> <i>Lactobacillus helveticus</i> <i>Lactobacillus johnsonii</i> <i>Lactobacillus paracasei</i> <i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Lactobacillus reuteri</i> <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	<i>Bifidobacterium adolescentis</i> <i>Bifidobacterium bifidum</i> <i>Bifidobacterium breve</i> <i>Bifidobacterium infantis</i> <i>Bifidobacterium lactis</i> <i>(Bifidobacterium animalis)</i> <i>Bifidobacterium laterosporus</i> <i>Bifidobacterium longum</i> <i>Bifidobacterium thermophilum</i>	<i>Enterococcus faecalis</i> <i>Enterococcus faecium</i> <i>Lactococcus lactis</i> <i>Leuconostoc mesenteroides</i> <i>Pediococcus acidilactici</i> <i>Sporolactobacillus inulinus</i> <i>Streptococcus diacetylactis</i> <i>Streptococcus intermedius</i> <i>Streptococcus thermophilus</i>	<i>Bacillus spp</i> <i>Escherichia coli (nissle)</i> <i>Propionibacterium freudenreichii</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

Certains de ces micro-organismes servent à la production des produits laitiers fermentés, de légumes lactofermentés (la choucroute),.... Ils sont présents également dans des compléments alimentaires et des médicaments et dans ce cas le plus souvent sous forme lyophilisée.

III.2.3. Allégation santé des bactéries probiotiques

La reconnaissance de l'importance de la microflore intestinale a généré un intérêt croissant dans l'utilisation de probiotiques pour maintenir ou améliorer la santé humaine. A titre d'exemple, les probiotiques peuvent avoir des effets avérés sur :

- Les diarrhées aiguës

Des études cliniques a montré que les probiotiques réduisent la durée moyenne de la diarrhée de 13 heures, réduisent l'échec du traitement de 38% et ont également un rôle préventif dans les diarrhées aiguës chez l'enfant.

- Les diarrhées associées aux antibiotiques

Des probiotiques, en particulier *Saccharomyces boulardii* et *Lactobacillus* GG, peuvent être utilisés dans la prévention des diarrhées associées aux antibiotiques.

- Les maladies inflammatoires de l'intestin (IBD)
- Syndrome de l'intestin irritable (IBS)

Les probiotiques agissent de façon bénéfique sur le syndrome de l'intestin irritable en diminuant la sévérité des symptômes (douleur abdominale, flatulence).

- Les diarrhées du voyageur

• Les infections à *Helicobacter pylori* : des études cliniques ont montré que les probiotiques augmentent le taux d'éradication et réduisent le risque d'effet secondaire liés au traitement contre *H. pylori*.

- Les allergies

Des études cliniques suggèrent que les probiotiques pourraient avoir un effet bénéfique dans le traitement des rhinites allergiques ainsi que dans la réduction de la sévérité des symptômes (aucun effet n'est avéré sur le traitement de l'asthme).

- L'intolérance au lactose (alactasie).

Les probiotiques seraient également impliqués dans le traitement d'autres pathologies. Ils seraient ainsi impliqués par exemple dans la réduction du cholestérol, de l'hypertension, du diabète. Enfin, les probiotiques pourraient également avoir un effet sur le statut antioxydant de l'hôte ainsi qu'un effet antimutagène.

Dans un organisme en bonne santé, le tube digestif est colonisé par environ 100 000 milliards de bactéries appartenant à 500 espèces différentes et qui forment un écosystème stable

et essentiel au maintien d'une bonne santé.

Des infections, une maladie ou encore une déficience du système immunitaire peuvent déséquilibrer cet écosystème, mais c'est probablement la prise d'antibiotiques qui constitue l'agression la plus virulente. Le premier symptôme d'un déséquilibre important de la flore intestinale est généralement une diarrhée. En effet, ces dernières années, de nombreux travaux se sont intéressés aux effets bénéfiques des probiotiques sur l'incidence et le traitement des diarrhées.

III.2.4. Quelques aliments probiotiques

Les produits laitiers, plus particulièrement les yaourts, sont les aliments probiotiques les plus nombreux, avec en tête de file les produits Activia® et Actimel® de Danone. Les effets bénéfiques sur la santé pour lesquels les aliments probiotiques peuvent être appliqués comprennent les infections gastro-intestinales, certains troubles intestinaux, l'allergie et les infections génito-urinaires.

III.2.5. Prébiotiques

Un prébiotique est défini comme une substance non-digestible qui induit un effet physiologique bénéfique à l'hôte en stimulant de façon spécifique la croissance et/ou l'activité d'un nombre limité de populations bactériennes déjà établies dans le côlon.

Il est admis de façon courante qu'un prébiotique augmente le nombre des bifidobactéries et des bactéries productrices d'acide lactique, car ces groupes bactériens pourraient être bénéfiques pour l'hôte. Néanmoins, il pourrait exister des prébiotiques stimulant la prolifération et/ou l'activité d'autres groupes bactériens de la flore intestinale.

- ✓ Parmi les nombreux candidats prébiotiques, les plus connus et étudiés sont les fructanes (**FOS** : fructo-oligosaccharides, oligofructose, et inuline) et d'autres oligosides de galactose et transgalactose (**GOS** et **TOS**). Le lactose qui échappe à la digestion dans l'intestin grêle de l'enfant est également un prébiotique. De nombreux autres glucides pourraient revendiquer l'appellation de prébiotiques (xylooligosaccharides (**XOS**), les maltodextrine, le lactulose, isomaltooligosaccharides, glucooligosaccharides, etc.). Certains amidons résistants et des sucres alcools pourraient aussi avoir des propriétés prébiotiques. Le lactulose est également un prébiotique.

III.2.6. Aliments riches en prébiotiques

Les prébiotiques sont présents dans certains aliments, et en particulier dans les topinambours, les bananes, les artichauts, les tomates, les poireaux, les oignons, l'ail, la racine de chicorée, les grains entiers (avoine, blé, orge, etc.), les légumineuses (haricots, lentilles, soya,

etc.), les noix et graines (amandes, lin, etc.).

L'inuline, est présente dans plusieurs végétaux (oignons, ail, asperges, artichauts, bananes, certaines céréales, etc.), mais elle est généralement extraite des tubercules de la chicorée.

Quant aux fructo-oligosaccharides (**FOS**), ils sont soit synthétisés par des enzymes à partir de saccharose soit dégradées à partir de l'inuline par hydrolyse.

III.3. Produits enrichis en fibres alimentaires

Les fibres alimentaires ne sont ni digérées, ni absorbées dans l'intestin grêle «sont des polysaccharides endogènes des végétaux, qui sont résistants à l'hydrolyse par les enzymes digestives de l'homme ». Elles présentent l'une au moins des propriétés suivantes :

- Augmentation de la production des selles ;
- Stimulation de la fermentation colique ;
- Diminution de la cholestérolémie à jeun ;
- Diminution de la glycémie et/ou de l'insulinémie post-prandiale (s).

Les fibres se distinguent :

- ✓ Soit par leur comportement dans le tube digestif, qui varie en fonction de leur nature :
 - Certaines fibres sont solubles dans l'eau et visqueuses ; c'est le cas des bêta-glucanes contenus dans l'avoine ou le seigle, ou bien des pectines de fruits et des « gommes », comme la gomme de guar, utilisées notamment comme épaississants ou gélifiants, dans les confitures et des crèmes dessert respectivement.
 - D'autres fibres sont insolubles (comme le son de blé) et la majorité des fibres est partiellement soluble, comme une grande partie des légumes, légumes secs ou céréales.
- ✓ Soit par leur capacité à fermenter dans le côlon :
 - Les molécules de petit poids moléculaire (les oligosides) sont généralement rapidement fermentées, comme les alpha-galactosides des légumes secs ou l'inuline de l'ail, de l'artichaut et de la chicorée.

A l'inverse, d'autres, présentes par exemple dans une fraction végétale riche en cellulose, comme le son de blé ou les téguments des légumes secs, sont peu fermentescibles.

III.3.1. Prébiotique et fibres alimentaire

- Il est important de préciser que tous les prébiotiques sont des fibres alimentaires mais que toutes les fibres alimentaires ne sont pas des prébiotiques.
- La définition de fibres alimentaires et de prébiotiques se complètent mais pas de manière

totale. Ils ont en commun leur non digestibilité dans l'intestin grêle, ainsi que leurs effets sur la flore colique.

- La différence la plus importante entre les deux est donc l'utilisation des prébiotiques par la flore colique, qui améliore la croissance et l'activité de seulement quelques types de bactéries. Les produits de la fermentation des prébiotiques par les bactéries sont considérés comme favorables, alors que ceux de la fermentation des autres fibres alimentaires sont non spécifiques et impliquent la totalité des bactéries.
- Les fibres alimentaires sont des glucides indispensables au bon fonctionnement de l'organisme. Ces effets bénéfiques sont surtout ressentis au niveau digestif.

III.3.2. Effet bénéfique de la consommation des prébiotiques

La consommation de prébiotiques entraîne une modulation de l'équilibre entre les populations bactériennes dominantes du microbiote colique, ce qui influence favorablement le fonctionnement de l'intestin. Ils peuvent ainsi avoir des effets bénéfiques sur la prévention et le traitement de désordres gastro-intestinaux, avec notamment pour effets physiologiques :

- une augmentation du nombre de bifidobactéries dans le côlon, qui contribue à renforcer l'effet de barrière du microbiote ;
- une diminution importante du pH intra-colique, qui défavorise la croissance de microorganismes potentiellement pathogènes tels les *Bacteroides* ou les clostridies ;
- un accroissement de l'absorption calcique ;
- une augmentation du poids fécal ;
- un raccourcissement du temps de transit gastro-intestinal ;
- éventuellement, une diminution du taux de lipides dans le sang.

III.3.3.. Effet indésirables de la consommation des prébiotiques

Bien qu'ils soient habituellement bien tolérés, les prébiotiques peuvent cependant provoquer des effets indésirables.

- En effet, tant qu'ils n'ont pas été métabolisés, ils exercent un effet osmotique dans la lumière intestinale, négativement corrélé à leur poids moléculaire, qui augmente le débit d'eau dans l'intestin et pouvant ainsi induire des borborygmes, des douleurs abdominales et éventuellement de la diarrhée ;
- Par ailleurs, la fermentation bactérienne des prébiotiques dans le gros intestin dégage des gaz (H₂, méthane...) qui peuvent, lors d'un dosage trop élevé, provoquer des ballonnements et des douleurs abdominales. La dose ingérée ainsi que le mode de

consommation influencent la fréquence de ces symptômes ;

- De plus, la susceptibilité à ressentir ces effets indésirables est très variable d'un sujet à l'autre ;
- Cela pourrait s'expliquer par une sensibilité viscérale propre à chacun et par des différences du profil bactérien du microbiote intestinal ;
- La sévérité des symptômes rapportés est généralement modérée et n'entraîne aucun risque pour la santé ;
- Des quantités de 10 à 20 g d'oligofructose ou d'inuline sont considérées comme étant sans effets secondaires alors que des quantités comprises entre 31 et 41 g induisent des flatulences ;

L'absence d'effets indésirables, les propriétés technologiques des prébiotiques et leurs effets positifs sur la santé des animaux font de ces derniers des matériaux très intéressants pour l'encapsulation des probiotiques.

III. 4. Produits riches en bonnes graisses

Les lipides font parties des éléments essentiels pour maintenir le corps humain en bonne santé. Mais possèdent chacun des avantages et des inconvénients vis-à-vis de notre organisme.

Les lipides possèdent de nombreuses fonctions participant au maintien du bon fonctionnement de l'organisme, notamment un rôle énergétique et structural.

Malgré les nombreuses fonctions que peuvent remplir les lipides, une consommation accrue peut s'avérer dangereuse pour la santé. C'est le cas du cholestérol.

III.4.1. Cholestérol

Il est à l'origine de certaines maladies dont le risque peut être diminué, par l'action d'ingrédients fonctionnels comme **les oméga 3 et les phytostérols**.

III.4.1.1. Définition

Le cholestérol appartient à la famille des stérols. Celui-ci provient de la polymérisation cyclique de l'isoprène.

III.4.1.2. Rôle du cholestérol

Le cholestérol est un des principaux constituants des membranes plasmiques et tissus cellulaires. C'est pourquoi on le trouve de manière extrêmement abondante dans l'organisme et le sang. De plus les neurones en sont riches et il est le précurseur indispensable de toutes les hormones sexuelles (progestérone, testostérone, oestrogènes) ainsi que de nombreuses hormones

stéroïdes (cortisol, cortisone...). Il est également utilisé pour la synthèse de la vitamine D et est un des principaux constituants de la bile.

III.4.1.3. Double origine du cholestérol

Chaque jour, un organisme adulte doit disposer d'environ un gramme et demi de cholestérol. Cet apport va lui être fourni de deux manières différentes:

- 75% d'une manière endogène : cholestérol synthétisé par l'organisme lui-même à l'intérieur du foie et de certaines cellules intestinales.
- 25% d'une manière exogène : cholestérol fourni par notre alimentation (aliments d'origine animale tels que les viandes, surtout cervelle rognons et foie, le jaunes d'œufs, les matières grasses animales...

Le cholestérol peut se lier à deux protéines différentes pour être véhiculé dans l'organisme. Ceci donne un rôle différent au cholestérol.

- ✓ Si la protéine est de faible densité (LDL : Low Density Lipoprotein), c'est le mauvais cholestérol. Celui-ci se dépose sur les parois des artères pour former des plaques lipidiques dites « athéromes ».
- ✓ Si la protéine est de haute densité (HDL : High Density Lipoprotein), c'est le bon cholestérol. Celui-ci permet de retirer les dépôts lipidiques de mauvaise qualité des artères et l'amener au foie pour être métabolisé et éliminé.

III.4.1.4. Problèmes liés à la présence de cholestérol

Les études épidémiologiques ont permis de démontrer qu'un excès de LDL et une carence de HDL étaient un facteur de risque de maladies cardio-vasculaires. Le cholestérol est aussi un des responsables de l'athérosclérose.

Parmi les facteurs favorisant l'augmentation du taux de cholestérol dans le sang on a : le stress, certaines maladies (maladies rénales), etc.

D'autres facteurs augmentent le risque de maladies cardiovasculaires lorsqu'ils sont associés à l'excès de cholestérol tels que : le tabagisme, la consommation d'alcool, l'hypertension, le diabète, le surpoids,...

III.4.2. Acides gras essentiels « oméga 3 » et « oméga 6 »

Les acides gras peuvent être synthétisés par l'organisme. Cependant deux d'entre eux ne possèdent pas cette caractéristique. Ils sont appelés acides gras essentiels. Il s'agit des « Oméga 3 » et « Oméga 6 ».

III.4.2.1. Définition et caractéristiques

Les acides gras essentiels oméga 3 et oméga 6, tout comme les autres acides gras, sont constitués d'une chaîne carbonée de longueur variable et d'une fonction terminale carboxyle (COOH).

a) Oméga 3

Ils représentent une famille d'acides gras où la première double liaison se situe sur le troisième carbone en partant de l'extrémité opposée à la fonction carboxyle (COOH) de la molécule.

L'acide alpha linolénique (ALA) (C18:3 ω -3) est le précurseur de la famille des oméga 3. Il n'est pas synthétisé par l'organisme mais peut être transformé par élongation et désaturation enzymatique aboutissant à la production d'éléments comme les prostaglandines, leucotriènes, cytokines, etc., qui jouent un rôle essentiel dans l'inflammation, l'agrégation plaquettaire, l'équilibre cardiovasculaire.

Parmi les mesures préventives figurent la consommation régulière d'acides gras polyinsaturés oméga 3 (AGPI n-3), soit l'acide α -linolénique (C18:3 n-3, ALA), l'acide eicosapentaénoïque (C20:5 n-3, EPA) et l'acide docosahexaénoïque (C22:6 n-3, DHA). L'acide α -linolénique est un acide gras essentiel car il n'est pas synthétisé par les animaux et les humains. Quant à l'acide eicosapentaénoïque et l'acide docosahexaénoïque, ils sont obtenus par la succession de désaturations et d'élongations alternées, et d'une β -oxydation de l'ALA.

b) Oméga 6

Ils représentent une famille d'acides gras où la première double liaison se situe sur le sixième carbone en partant de l'extrémité opposée de la fonction carboxyle (COOH) de la molécule.

L'acide linoléïque (AL) (C18:2 ω -6) est le précurseur de la famille des oméga 6. Il n'est pas synthétisé par l'organisme mais peut être transformé, par élongation et désaturation enzymatique.

III.4.2.2. Sources naturelles

a) Oméga 3

Beaucoup d'aliments contiennent des oméga 3. Il existe 2 origines possibles :

- Origine végétale : L'huile et les graines de lin, l'huile de noix, le soja et l'huile de soja, l'huile de colza, de germe de blé, les épinards, etc.
- Origine animale : Les poissons et les huiles de poissons gras comme le thon, la sardine, le saumon, la graisse animale, le beurre, etc.

b) Oméga 6

En ce qui concerne les oméga 6, les deux origines sont :

- Origine végétale : Les huiles de pépins de raisin, de tournesol, de noix, de maïs, de germe de blé, de soja, de sésame, de colza, d'arachide, et d'olive. Les margarines au tournesol, les graines de tournesol, de courge, etc.
- Origine animale : Les oeufs entiers, le beurre, la graisse animale, etc.

III.4.2.3. Rôle et Mécanismes d'action

Les acides gras poly-insaturés dont font partie les acides gras essentiels, interviennent au niveau de différents domaines de l'organisme comme par exemple les phospholipides plasmatiques, les LDL, les triglycérides du tissu adipeux, les lipides du lait maternel, etc.

Les modes d'action des acides gras essentiels (oméga 3 et oméga 6) s'appuient sur deux rôles différents :

✓ Rôle fonctionnel (lié à la production des médiateurs chimiques)

Ils sont libérés des phospholipides des membranes cellulaires. Ils vont entraîner la production de médiateurs chimiques, les prostaglandines et les leucotriènes. L'équilibre cardiovasculaire dépend énormément de l'action des prostaglandines.

Il existe 3 familles de prostaglandines :

- Les prostaglandines 1 issues des acides gras de la famille Oméga 6
- Les prostaglandines 2 issues des acides gras de la famille Oméga 6 : anti-hémorragique et stimulent le système immunitaire.
- Les prostaglandines 3 issues de la famille des Oméga 3 : stimulent la vasodilatation et fluidifient le sang.

✓ Rôle structurel (lié à leur incorporation membranaire).

Leur rôle structurel agit sur la fluidité membranaire qui est apportée par leur configuration spatiale. Ceci modifie les échanges membranaires, les activités enzymatiques, etc.

- Les omégas agissent sur les facteurs de risque pouvant entraîner l'une des maladies cardiovasculaires et diminuent les risques de thrombose.
- Le corps médical estime que le rapport oméga 6 / oméga 3 dans l'alimentation occidentale est de 10/1 à 30/1, tandis qu'elle devrait être idéalement de 1/1 à 5/1.
- L'excès d'oméga 6 empêche l'organisme d'utiliser les sources d'oméga 3 correctement.

Ce déséquilibre entraîne, entre autre, un état physiologique favorable au développement des maladies cardio-vasculaires et aux troubles allergiques et inflammatoires.

Un retour à une alimentation fournissant une ration correcte d'oméga 6 et d'oméga 3 aurait, selon plusieurs experts, un impact bénéfique sur les maladies cardio-vasculaires des populations occidentales et réduirait ainsi les maladies inflammatoires.

III.4.2.4. Carences

Dans certaines situations, un déficit en certaines enzymes entraînera de nombreux cas physiopathologiques tels que :

- L'immaturité physiologique du fœtus
- Le diabète chez les personnes âgées
- Les cancers et atteintes hépatiques

Dans ces conditions, un apport direct de ces acides gras essentiels peut-être indispensable.

III.4.3. Phytostérols

III.4.3.1. Définition et Caractéristiques

- Les phytostérols appartiennent à la famille chimique des stérols ;
- Ils sont des composés naturellement présents dans les lipides des végétaux ;
- Ils sont naturellement peu, voire pas solubles dans l'eau ;
- Ils constituent une partie essentielle des membranes cellulaires ;
- Les phytostérols désignent l'ensemble des composés de structure proche du cholestérol et dérivant des plantes.

Parmi les phytostérols « connus », on trouve le sitostérol, le plus abondant, le campesterol et le stigmasterol. Les phytostanols, qui représentent un sous-groupe de phytostérols avec une structure chimique particulière, sont eux aussi souvent mentionnées pour leurs propriétés anti-cholestérol. Ils sont moins abondants dans les plantes mais on les trouve en grandes quantités dans certaines espèces de céréales.

Pour que ces aliments fonctionnels soient efficaces. Ils doivent être pris par des personnes qui en ont réellement besoin mais également dans des conditions alimentaires particulières c'est-à-dire en suivant un régime pauvre en cholestérol et en acides gras saturés, et avec un rapport (oméga 6 / oméga 3) de 1/1 à 5/1.

III.4.3.2. Sources

Les stérols sont naturellement présents en petites quantités dans de nombreux fruits, légumes, fruits secs, céréales, légumineuses, huiles végétales et autres sources végétales.

Pour produire les aliments enrichis, les phytostérols sont isolés des huiles végétales (soja, maïs, tournesol, colza) et sont ensuite estérifiés avant d'être ajoutés dans certains aliments (margarine, etc.).

III.4.3.3. Mécanismes d'action

Les stérols sont des substances végétales dont la structure chimique est proche de celle du cholestérol.

Lorsqu'on ingère des aliments à base de phytostérols, ces derniers sont absorbés dans l'organisme à la place du cholestérol. En effet, la similitude de configuration chimique des phytostérols et du cholestérol provoque une substitution de ce dernier. Ainsi, le taux de cholestérol sanguin diminue.

L'administration des phytostérols, entraîne la diminution du taux de cholestérol sanguin, plus précisément le LDL.

Il a été démontré qu'une consommation de 2 g par jour diminue de 10 % le taux de cholestérol sanguins, or cette dose est difficile à atteindre par une alimentation classique, d'où l'intérêt d'utiliser des aliments fonctionnels.

III.4.3.4. Quelques aliments renfermant des Phytostérols et phytostanols

BENECOL, COL BALANCE, DANACOL (yaourts, laitage à boire), BECEL PRO ACTIVE (yaourts, margarines (à tartiner ou pour cuisson), laitage à boire, lait), CHOLEGRAM (margarine (enrichie également en oméga 3)), ILO (margarine, yaourts, laitage à boire)..... tous ces noms, sont à la tête de gammes de produits du type aliments. Grâce à des yaourts, des margarines et d'autres produits laitiers, ces entreprises proposent d'aider à réduire le taux de cholestérol.

III.5. Produits minceur adaptés au contrôle du poids

III.5.1. Surpoids et obésité

Le surpoids et l'obésité se définissent comme une accumulation anormale ou excessive de graisse corporelle qui peut nuire à la santé. Ils sont devenus un problème de santé publique majeur, encore plus important que la malnutrition ou les maladies infectieuses.

Il existe une mesure simple permettant d'évaluer le surpoids et l'obésité : l'indice de masse corporelle (IMC) :

$$\text{IMC (kg/m}^2\text{)} = \text{poids (kg)}/\text{taille}^2 \text{ (m}^2\text{)} \text{ (Unlu, N. (2016))}$$

L'OMS définit :

- le surpoids comme un IMC supérieur ou égal à 25
- l'obésité comme un IMC supérieur ou égal à 30

III.5.2. Conséquences de la surcharge pondérale

Plus l'IMC est élevé, plus le risque de développer une maladie chronique est important. La principale complication de l'obésité est le syndrome dit métabolique, avec un risque de développer du diabète, de l'hypertension artérielle, etc.

Les autres conséquences peuvent être le développement de maladies cardiovasculaires, d'arthrose ou encore de troubles musculo-squelettiques.

Il y a également un risque plus important de développer certains cancers, tels que le cancer de l'endomètre, du sein ou du côlon.

La prise en charge consiste à équilibrer l'apport énergétique pour maintenir un poids normal, limiter la consommation d'aliments gras et consommer davantage de fruits et de légumes.

III.5.3. Régimes amaigrissants

Le terme « régime » est souvent mal interprété. Dans la majeure partie des cas, ce terme sous-entend une perte de poids. Toutefois, il faut savoir qu'il peut s'agir simplement de mesures hygiénodietétiques.

III.5.4. Régimes alimentaires

Le mot diète vient du grec *dieta* qui signifie bonne alimentation sans faire référence aux restrictions. Nous entendons parler des mots « régime » ou « diète », nous pensons instinctivement aux régimes alimentaires amaigrissants. Toutefois, le mot régime ne doit pas être associé systématiquement à une perte de poids. La définition du régime alimentaire est décrite comme telle : toute « modification de l'alimentation habituelle à des fins thérapeutiques ou pour satisfaire des besoins physiologiques spécifiques (femmes enceintes, sportifs, personnes âgées, etc.) ». La prescription d'un régime au patient consiste à modifier quantitativement et/ou qualitativement ses habitudes alimentaires afin d'établir une liste des aliments interdits ou limités, autorisés en quantités définies, assorti de conseils concernant la préparation, la cuisson, la répartition de ceux-ci. Un régime ne peut être suivi, sur une longue période et avec succès, que s'il est parfaitement expliqué au patient, adapté à son mode de vie et à ses préférences alimentaires, tout en respectant les indications médicales. Cependant, le point le plus important reste la motivation du patient pour avoir un succès, quel que soit le régime alimentaire.

III.5.5. Types de régimes amaigrissants

- Les régimes hypocaloriques ;
- Les régimes faibles en glucide dits « low carb diet » ;
- Les régimes hyper protéinés.

- Autres régimes
 - ✓ Le régime « détox » ou régime citron ;
 - ✓ Le régime soupe aux choux : très hypocalorique ;
 - ✓ Le régime chrono-nutrition.

III.5.6. Exemples de produits minceurs

Les produits minceur renferment des substances de type par exemple : caféine, thé vert, CLA (acide linoléique conjugué), chitosan, etc.

III.5.6.1. Capteurs de graisses

Le chitosane est un copolymère composé par une succession de glucosamines et de N-acétylglucosamines. Il est obtenu par synthèse chimique à partir de la chitine par une opération de désacétylation. La chitine est un composant naturel de l'exosquelette des crustacés (crabe, crevette, krill...).

Le chitosane est utilisé comme ingrédient alimentaire ou dans les compléments alimentaires.

C'est une fibre qui n'est pas assimilée par l'organisme. C'est pourquoi il aurait des vertus hypocholestérolémiantes et de capteur de graisses. Il capterait la graisse de l'alimentation, en formant un complexe non assimilable par l'organisme qui serait éliminé dans les selles.

Par ce même mécanisme, le chitosane permettrait de réduire le cholestérol. Une étude a été réalisée chez le rat avec une supplémentation de chitosane et une alimentation riche en graisses. A la fin de cette étude, il a été constaté que le chitosane permettait de réduire le taux de cholestérol plasmatique grâce à son action capteur de graisses. Il participerait à l'homéostasie du cholestérol en augmentant le taux de HDL et en diminuant le taux du mauvais cholestérol (LDL) par sa capacité à former des vésicules qui piègent les lipides et les vitamines liposolubles (A, D, E et K) dans le tractus intestinal.

III.5.6.2. Bruleurs de graisses

Thé vert (*Camellia sinensis*) c'est un petit arbuste ne dépassant pas 1,50 mètre, originaire d'Inde ou de Chine, actuellement cultivé en plantation dans toute l'Asie. Seuls le bouton floral et les deux premières feuilles des rameaux sont utilisés. La teneur en caféine des feuilles de thé vert est de 2 à 4%. Chimiquement, le thé vert présente de grandes quantités de polyphénols connus sous le nom de catéchines. Une tasse de thé vert typique brassé contient 240-320 mg de catéchines. Le mécanisme d'action des catéchines du thé vert reste encore peu défini.

L'hypothèse étant que les catéchines influencent l'activité du système nerveux sympathique en induisant une élévation des dépenses énergétiques et en stimulant l'oxydation des graisses.

D'autres mécanismes impliqueraient l'inhibition de l'appétit, la réduction de l'absorption des nutriments et la régulation à la baisse des enzymes participant à l'oxydation des graisses hépatiques.

Le thé vert induirait donc une diminution du poids corporel et une diminution de la masse grasse corporelle.

III.5.6.3. Aliments fonctionnels et compléments à visée minceur

- **Les céréales au chocolat blanc Fitness** de Nestlé contiennent un mélange de flocons de blé entier et de flocons de blé entier enrobés de chocolat blanc. Sources de dix vitamines et minéraux, elles contiendraient, en moyenne plus de blé entier que d'autres céréales destinées au contrôle du poids.
- **La boisson hyperprotéinée My-Protein** de marque Scientec Nutrition : Selon le fabricant, cette boisson à teneur réduite en sucre et en matières grasses a été spécialement élaborée pour aider le consommateur à perdre du poids tout en maintenant son tonus musculaire.
- **Une soupe** instantanée à faible teneur en sel et composée de neuf légumes.
- **Les barres de céréales au chocolat** Fine Ligne de Leader Price : contiennent 80 kcal chacune, ont une faible teneur en sodium. Conçu en collaboration avec des nutritionnistes dans le but d'aider les consommateurs à rester minces.
- **Le Yaourt** saveur vanille Fitness de Nestlé : a une faible teneur en matières grasses, contient des céréales de grains entiers et est une source de calcium favorisant la santé des os.
- **Acide Linoléique Conjugué d'Aragan** : Il s'agit d'une poudre soluble à saveur de pomme fraîche, censée améliorer le rapport entre la masse musculaire et la masse grasseuse, réduire la quantité de graisse corporelle et aider à maintenir un poids idéal.
- **Les Thés Grand Cru bio** : thés minceur triple action, sont censés brûler, drainer et éliminer les graisses et autres toxines. Le thé vert sencha est riche en antioxydants et le thé bleuvert est censé être un excellent draineur naturel activant l'élimination des toxines et de l'excédent d'eau.
- **Le produit Pur protéines** : minceur (protéines de soja), est entièrement composé de protéines de soya texturées. Selon le fabricant, les protéines fournissent des acides aminés essentiels au bon fonctionnement de l'organisme et favorisent le maintien de la masse musculaire.

Compte tenu de tout cela, les aliments fonctionnels ont le potentiel d'aider à prévenir et à gérer l'obésité ainsi que d'autres maladies chroniques.

À la lumière de l'épidémie actuelle d'obésité, il y a une opportunité et un marché pour les produits alimentaires fonctionnels.

Néanmoins, on peut conclure au terme de cette partie que l'idéal reste à exposer constamment les consommateurs à des messages dans le but de les encourager à contrôler leur poids ou à perdre du poids en adoptant un régime alimentaire plus sain et équilibré et en faisant de l'exercice plutôt qu'en consommant des produits de contrôle ou de perte de poids.

III.6. Produits destinés pour les enfants

Pour cette période de la vie, les progrès portent essentiellement sur les préparations pour nourrissons, de suite et de croissance.

➤ Évolution de la valeur nutritionnelle des préparations lactées pour jeunes enfants âgés de moins de trois ans

Dans le passé, l'alternative alimentaire, lorsque le nouveau-né n'était pas nourri au sein, peut présenter un risque pour sa santé.

L'évolution des connaissances scientifiques et des procédés industriels de fabrication, a permis de modifier cette situation.

En effet, le lait de vache base principale de ces préparations, a été de plus en plus modifié pour le rendre plus digeste et plus proche des apports nutritionnels alors recommandés.

Il a été aussi conçu des préparations à base de soja convenant mieux aux jeunes enfants.

Trois périodes d'alimentation sont distinguées :

- **Une période d'alimentation lactée exclusive** : de la naissance à 4-6 mois, plutôt 6.
- **Une période de transition**, correspondant à l'initiation de la diversification, c'est à dire à l'introduction progressive d'aliments autres que le lait.
- **Lorsque débute la 3^{ème} période, vers 1 an**, l'alimentation est diversifiée, pratiquement de type adulte.

Les laits infantiles se distinguent en trois catégories

- ✓ **Les préparations pour nourrissons (1^{er} âge)** destinées à la période d'alimentation exclusivement lactée, à défaut d'allaitement maternel, c'est-à-dire jusqu'à 4 ou mieux 6 mois.
- ✓ **Les laits de suite (2^{ème} âge)**, destinés à la période de transition correspondant à l'introduction progressive d'une alimentation diversifiée, au plus tôt après 4 mois et au mieux vers 6 mois.

- ✓ **Les laits de croissance**, après 9-12 mois, quand l'alimentation étant quasiment de type adulte.

III.6.1. Préparations lactées pour nourrissons - enfants en bas âge et aliments fonctionnels

Ces « nouvelles » préparations répondent sur tous les points à la définition des aliments fonctionnels.

Des aliments préparés industriellement sont commercialisés pour un usage spécifique pour les nourrissons (4–12 mois) et les enfants en bas âge (12–36 mois). Définis par la réglementation française et européenne, ce sont des « denrées alimentaires destinées à une alimentation particulière qui satisfont aux exigences particulières des nourrissons et enfants en bas âge en bonne santé et qui sont destinés à être utilisés pendant la période de sevrage des nourrissons et comme compléments à l'alimentation des enfants en bas âge et/ou en vue de leur adaptation progressive à une alimentation normale ». Ces aliments particuliers doivent être distingués des « laits infantiles » (dénomination usuelle regroupant préparations pour nourrissons, préparations de suite et laits de croissance) et des céréales infantiles, qui relèvent d'autres dispositions réglementaires. Egalement dénommés aliments pour bébés, ces produits sont prêts à l'emploi ou à reconstituer selon les instructions du fabricant.

- ✓ Ils peuvent être lactés (desserts, yaourts et fromages frais),
- ✓ sucrés (autres desserts, fruits, compotes, jus et boissons),
- ✓ salés (potages, soupes, produits à base de légumes, viandes, poissons, plats complets).

III.6.2. Utilisation des nutriments ou ingrédients à l'origine de l'effet fonctionnel

La plupart de ceux utilisés depuis quelques années comme les acides gras polyinsaturés, les nucléotides, les protéines hydrolysées, entrent dans le cadre de nutriments ou ingrédients réglementairement autorisés pour les aliments destinés aux enfants.

- Pour ces produits, aucune question particulière ne se pose donc pour leur emploi pédiatrique.
- Il ne peut s'agir de compléments issus de procédés de génie génétique puisque les nutriments et ingrédients génétiquement modifiés sont interdits en Europe, en pédiatrie.

Exemple

- ✓ Produits laitiers enrichis en vitamine D : cette vitamine est couramment ajoutée aux produits laitiers et huiles afin de prévenir le rachitisme. C'est un micronutriment très important pour les enfants, les personnes âgées et les gens qui sont généralement peu exposés au soleil. Cependant, on peut également la trouver dans le saumon, les champignons, les œufs, le foie de bœuf, etc.

III.6.3. Aliments fonctionnels pour bébés

Ces aliments appelés fonctionnels sont enrichis d'ingrédients comme du calcium, du fer, des vitamines ou encore des bactéries bifidus. Un lait de suite contient par exemple de «l'huile de poisson avec acides gras oméga 3 à longue chaîne».

Les allégations autorisées, figurant sur les produits, ne portaient que sur le nutriment ajouté : enrichi en taurine, en acides gras polyinsaturés, à protéines hydrolysées ou hypoantigéniques, etc. Même les laits pour nourrissons sont enrichis de vitamines et de sels minéraux. Mais c'est principalement pour respecter les directives législatives, le législateur voulant ainsi s'assurer que ces produits soient aussi proches que possible du lait maternel.

Des aliments promettant un meilleur développement du cerveau, de la mémoire, de la concentration ou des capacités d'apprentissage ont ainsi vite colonisé les rayons des grandes surfaces :

- ✓ La commercialisation du lait acidifié qui devait permettre de diminuer « les petits troubles digestifs ».
- ✓ des laits enrichis en acides gras polyinsaturés pour améliorer le développement cérébro-sensoriel et psychomoteur,
- ✓ des laits enrichis en taurine, pour son rôle éventuel dans l'absorption lipidique intestinale et dans la maturation cérébro sensorielle, en particulier rétinienne,
- ✓ des laits enrichis en nucléotides, en raison de leur action sur le système immunitaire.
- ✓ des préparations lactées à protéines partiellement hydrolysées ont été par ailleurs commercialisées dans le but de réduire le risque de survenue de maladies allergiques.

Ces préparations sont ainsi présentées comme étant :

- à effet anti régurgitations (laits AR),
- proposées pour pallier à l'imaturité digestive,
- pour la tranquillité,
- le bon confort digestif,
- pour la constipation,
- pour régulariser le transit,
- pour favoriser le développement d'une flore bifide,
- pour apporter une activité lactasique,
- pour renforcer les défenses naturelles de bébé,
- pour prévenir les infections intestinales,
- pour le bien être du nourrisson

IV. Technologie des alicaments

Les alicaments (aliments fonctionnels) sont des produits alimentaires formulés ou transformés de manière à apporter un bénéfice supplémentaire pour la santé au-delà de leur valeur nutritionnelle de base. Ils se situent entre :

- l'industrie agroalimentaire ;
- la nutrition clinique ;
- la biotechnologie ;
- le contrôle de qualité et la sécurité alimentaire.

Du point de vue technologique, les alicaments peuvent être classés en quatre grandes catégories :

- Alicaments allégés ;
- Alicaments enrichis ;
- Alicaments avec ajout de nouveaux composés ;
- Alicaments avec substitution de composants néfastes.

IV.1. Alicaments allégés et technologies utilisées

Les alicaments allégés sont des produits dont la teneur en un composant considéré comme excessif ou à risque (matières grasses, sucres, sel) est réduite tout en maintenant les qualités sensorielles et nutritionnelles.

Dans l'industrie agroalimentaire, plusieurs technologies sont mises en œuvre afin d'améliorer la qualité des produits, d'optimiser les procédés de fabrication et de garantir la conformité aux exigences sanitaires. Parmi ces technologies :

IV.1.1. Centrifugation

La centrifugation est une technique de séparation qui consiste à soumettre un mélange à une force centrifuge afin de séparer ses différents constituants selon leur densité. Ses principales applications comprennent l'écémage du lait pour obtenir des produits à teneur réduite en matières grasses, la clarification des jus, etc.

IV.1.2. Procédés membranaires

Les procédés membranaires sous pression (microfiltration [MF], ultrafiltration [UF], nanofiltration [NF] et osmose inverse [OI]) sont désormais largement utilisés pour la concentration, le fractionnement et la purification des solutions liquides, ainsi que pour le traitement de l'eau (Tableau 8). La MF est généralement utilisée pour l'élimination des particules fines ou des bactéries, ou pour les procédés de réduction de la turbidité, tandis que l'UF est

utilisée pour la concentration et le fractionnement des macromolécules. Les principales applications de la NF sont le traitement de l'eau, la déminéralisation du lactosérum et la concentration de petites molécules organiques. Quant à l'osmose inverse (OI), cette technique est principalement utilisée pour le dessalement de l'eau, mais elle est également largement employée pour la concentration de solutions aqueuses thermosensibles.

- **Application**

- Réduction de la teneur en sels minéraux (déminéralisation) ;
- Concentration et fractionnement des protéines bioactives ;
- Clarification et stabilisation des produits liquides ;
- Concentration de solutions thermosensibles sans traitement thermique intensif ;
- Traitement et purification de l'eau.

Tableau 8 : Procédés de séparation par membrane : caractéristiques et applications (Belleville et Vaillant, 2016)

Procédés membranaires	Applications
Microfiltration	Clarification et stérilisation à froid
Ultrafiltration	Concentration, fractionnement de solutions macromoléculaires
Nanofiltration	Concentration, purification de petits composés organiques, séparation de sels sélectionnés
Osmose inverse	Concentration / dessalement
Électrodialyse	Séparation des ions de l'eau et des solutés non ioniques
Distillation membranaire / distillation membranaire osmotique	Dessalement, concentration

À l'exception de l'osmose inverse, les procédés membranaires sous pression font appel à des membranes poreuses inorganiques ou polymères présentant des gammes de tailles de pores variées, allant de 1 nm pour les membranes de nanofiltration (NF) à 1,4 µm pour les membranes de microfiltration (MF) (Tableau 9). Dans le cas de l'ultrafiltration (UF), les membranes sont généralement caractérisées par leur seuil de coupure, qui correspond à la masse molaire du plus petit soluté étalon retenu à 90 % par la membrane.

En ce qui concerne l'osmose inverse (OI), les membranes utilisées sont non poreuses et les mécanismes de séparation des espèces reposent sur le modèle « solution-diffusion ». Dans ce

procédé, les espèces ioniques sont totalement rejetées par la membrane. Les petits composés organiques non ioniques susceptibles d'être absorbés par la membrane sont également rejetés, car ils présentent une mobilité bien inférieure à celle des molécules d'eau.

Tableau 9 : Représentation comparative des procédés de séparation membranaire sous pression (Nazir et al., 2019)

Procédé membranaire	Plage de pression (MPa)	Plage de séparation	Exemples
Microfiltration	0,1–0,3	100–10 000 nm	Bactéries, globules gras du lait
Ultrafiltration	0,2–1	1–100 nm (10^2 – 10^6 Da)	Micelles de caséine, protéines du lactosérum, vitamines, virus
Nanofiltration	1–4	0,5–5 nm (10^2 – 10^3 Da)	Sels divalents, sucres, acides dissociés, une partie des ions monovalents comme sodium et chlorure
Osmose inverse	3–10	10^1 – 10^2 Da	Sépare tout sauf l'eau pure

Parmi les procédés membranaires à entraînement électrique, l'électrodialyse est le plus répandu. Elle permet la séparation sélective des espèces ioniques d'une solution grâce à un gradient de potentiel électrique. En pratique, une unité d'électrodialyse se compose de nombreuses membranes d'échange d'ions plates (Figure 13) formant des canaux distincts dans lesquels s'écoulent respectivement la solution à traiter et une solution d'extraction (une solution saline). Cet empilement de membranes est placé entre des électrodes et, lorsqu'un courant électrique est appliqué, les cations tentent de se déplacer vers la cathode tandis que les anions tentent de se déplacer vers l'anode. À la sortie de l'unité d'électrodialyse, la concentration en sel de la solution à traiter diminue tandis que, dans l'autre compartiment, elle augmente.

L'électrodialyse est principalement utilisée pour concentrer des solutions électrolytiques ou pour diluer ou déioniser des solutions (par exemple, la déminéralisation du lactosérum ou du moût de raisin, etc.).

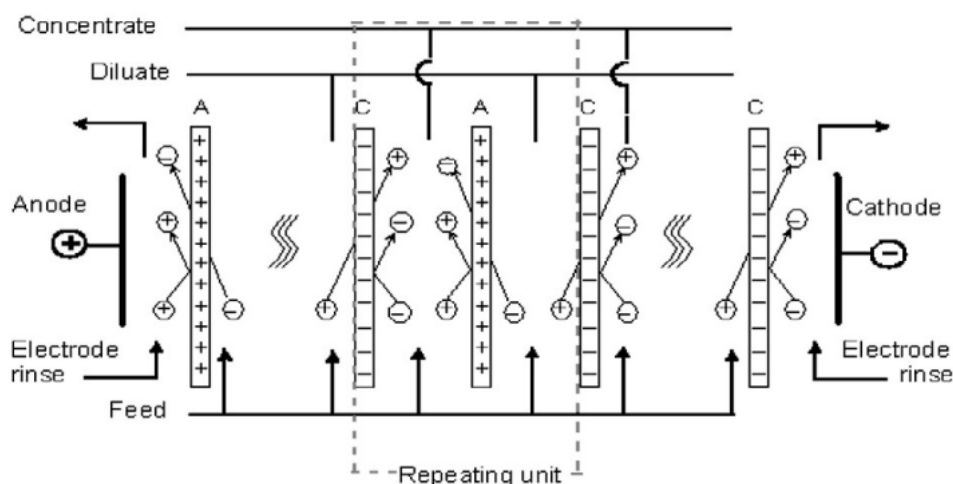


Figure 13 : Diagramme schématique illustrant le principe de l'électrodialyse (Strathmann, 2010)

- **Composés bioactifs récupérés par procédés membranaires**

Les technologies membranaires constituent généralement des procédés doux qui permettent une séparation à des températures plus basses et, dans la plupart des cas, sans changement de phase. Elles présentent donc un très grand intérêt pour les applications nécessitant une amélioration du goût, de l'arôme et de la couleur, mais aussi pour accroître l'absorption et la biodisponibilité des aliments fonctionnels, des nutraceutiques et des compléments alimentaires. La gamme de tailles et certaines propriétés des principaux composés bioactifs présents dans les sources alimentaires sont présentées dans le Tableau 9 et 10. En fonction de leurs propriétés physiques, ces composés peuvent être séparés de manière sélective à l'aide d'un procédé membranaire approprié. Une synthèse des systèmes membranaires qui ont été utilisés pour chaque famille de composés bioactifs est présentée dans le Tableau 10 et 11.

Tableau 10 : Plage de taille de certains composés bioactifs issus des aliments (Belleville et Vaillant, 2016)

Structures	Plage de taille (Da)
Peptides	700–20 000
Caroténoïdes (lycopène, lutéine et autres caroténoïdes)	550–600
Acides gras (acides gras polyinsaturés...)	280
Phytostérols et esters de stérols (tocotriénols, tocophérol)	400–450
Composés phénoliques	
Tanins condensés	1500–4000
Flavonoïdes et autres phénols simples	200–1000
Stilbènes (resvératrol)	200–400
Acides phénoliques	180–400
Composés organo-soufrés	200–400
Alliine, allicine, etc.	150–200
Isothiocyanates (légumes crucifères)	70–200
Terpénoïdes (monoterpènes des agrumes)	130–150
Phytoœstrogènes (daidzéine, génistéine, etc.)	250–600
Oligosaccharides	5000–10 000

Tableau 11 : Exemples de procédés sous pression appliqués au traitement des résidus de fruits (Belleville et Vaillant, 2016)

Produit	Procédé membranaire	Perméat	Rétentat
Peau d'amande	UF	Proanthocyanidines pentamères	Proanthocyanidines oligomères
Marc de raisin	UF/NF	Composés phénoliques de haut poids moléculaire	—
Graines de raisin	MF	Polyphénols des graines	—
Jus de raisin	UF	Monomères acides	Polymères acides
Infusion de café	UF + diafiltration	Mélanoïdines de faible masse moléculaire	—
Eaux usées de moulin à huile d'olive	UF/NF	Tyrosol	—
Jus d'orange	UF/NF/OI	Flavonoïdes / acides	—

IV.1.3. Décantation

La décantation est une technique de séparation gravitaire qui repose sur la différence de densité entre les constituants d'un mélange. Sous l'effet de la gravité, les particules solides en suspension ou les phases liquides non miscibles se séparent progressivement, permettant ainsi leur récupération ou leur élimination. Elle trouve notamment des applications dans la clarification des huiles végétales, le traitement et la clarification des jus, ainsi que dans la séparation de certaines phases au cours de la fabrication des produits fermentés.

IV.1.4. Traitements biologique

IV.1.4.1. Hydrolyse enzymatique du lactose (produits sans lactose), produits alimentaires destinés aux personnes intolérantes au lactose

- Méthodes de dé lactosation

La dé lactosation est un procédé technologique qui consiste à éliminer le lactose du lait ou à réduire sa concentration en dessous d'un certain seuil. Une teneur maximale de 0,01 % pour les produits sans lactose et de 1 % pour les produits à faible teneur en lactose pourrait être adoptée comme seuils appropriés pour les personnes intolérantes au lactose. Les produits dans lesquels le lactose est hydrolysé par voie enzymatique en glucose et en galactose et dont le galactose n'a pas été éliminé ne conviennent pas aux patients atteints de galactosémie, quelle que soit la teneur résiduelle en lactose, et nécessitent des seuils différents. Pour atteindre ces niveaux, le lactose peut être éliminé des produits laitiers de deux manières :

- La première consiste à hydrolyser le lactose présent dans le lait à l'aide de l'enzyme β -galactosidase, qui transforme le lactose en glucose et en galactose. Cette opération s'effectue en ajoutant l'enzyme au lait dans des cuves de stockage. Cette enzyme est obtenue à partir de différentes souches de micro-organismes, telles que les levures *Kluyveromyces lactis*, *Aspergillus oryzae* et *A. niger*. La première est principalement utilisée pour la dé lactosation du lait, tandis que les autres servent souvent à obtenir du lactosérum de fromage sans lactose. Le processus de dé lactosation s'effectue à une température comprise entre 6 et 10 °C pendant 15 à 20 heures. Cette température est inférieure à la température optimale d'efficacité, qui se situe entre 35 et 40 °C, ce qui allonge d'autant la durée du processus. Ce contrôle de la température est important pour empêcher la prolifération d'une flore bactérienne résiduelle psychrophile et psychotrope qui, bien que le lait subisse un prétraitement thermique, peut affecter le processus par l'action d'enzymes thermorésistantes (lipases et protéases). Dans les conditions décrites ci-dessus, ce pourcentage est d'environ 85 %. Les laits dé lactosés produits selon cette méthode présentent un goût de cuit et une saveur sucrée plus intenses, car le

glucose et le galactose ont un pouvoir sucrant supérieur à celui du lactose, ce qui peut parfois constituer un obstacle à leur consommation.

- La deuxième méthode consiste en une variante de la précédente, avec au préalable une ultrafiltration du lait suivie de l'action de l'enzyme lactase afin de réduire la le lactose aux niveaux souhaités. Cette méthode élimine les sels, dont il faut compenser la perte après la délactosation.

IV.1.4.2. Fermentation contrôlée

La fermentation contrôlée est un procédé où l'on utilise des microorganismes sélectionnés (bactéries, levures) dans des conditions maîtrisées (température, pH, temps) afin d'obtenir un produit de meilleure qualité.

Les microorganismes utilisent les sucres comme source d'énergie pour les transformer en acides organiques (ex : acide lactique), gaz ou alcool (diminution du taux de sucre, aliments plus adaptés (ex : pour diabétiques)).

Les enzymes microbiennes dégradent les protéines (peptides, acides aminés) ou bien les glucides complexes (formes simples (digestion plus facile, meilleure absorption des nutriments)).

IV.2. Alicaments enrichis et technologies utilisées

Les alicaments enrichis sont des produits alimentaires dont la teneur en nutriments bénéfiques est volontairement augmentée afin d'améliorer leur valeur nutritionnelle et leurs effets physiologiques.

IV.2.1. Concentration et évaporation

Les procédés de concentration et d'évaporation permettent d'augmenter la densité nutritionnelle des aliments en réduisant leur teneur en eau.

Applications

- Jus concentrés ;
- Laits concentrés ;
- Extraits végétaux concentrés.

IV.2.2. Biotechnologie microbienne

La biotechnologie microbienne repose sur l'utilisation de micro-organismes sélectionnés ou modifiés pour produire ou enrichir des composés bioactifs. Ces micro-organismes peuvent synthétiser des vitamines, des acides aminés, des probiotiques ou encore certains métabolites d'intérêt nutritionnel.

IV.2.3. Microencapsulation, cas de probiotique

La microencapsulation est une technique clé en industrie alimentaire qui consiste à enrober un composé bioactif dans une matrice protectrice. Son principe repose sur l'encapsulation de substances sensibles afin de les isoler de l'environnement extérieur. Cette méthode vise principalement à protéger les ingrédients contre l'oxydation, à masquer les goûts ou odeurs indésirables et à permettre une libération contrôlée du principe actif au cours de la digestion ou lors de la transformation alimentaire. Elle est largement utilisée pour améliorer la stabilité et l'efficacité de nombreux composés fonctionnels tels que les oméga-3, la vitamine C, les polyphénols ainsi que les probiotiques.

IV.2.3.1. Principaux critères de sélection des souches probiotiques

✓ Critères de sécurité

- Identification taxonomique précise ;
- Souche caractérisée par des méthodes phénotypiques et génotypiques ;
- Souche déposée dans une collection de cultures reconnue internationalement ;
- Historique de non pathogénicité ;
- Pas de transmission possible de gènes de résistance aux antibiotiques ;
- Pas de déconjugaison excessive des sels biliaires ;
- Souche d'origine humaine de préférence.

✓ Critères fonctionnels

- Tolérance à l'acidité gastrique, à la bile et aux enzymes digestives ;
- Adhésion aux cellules intestinales et/ou au mucus et persistance dans le tractus digestif
- Antagonisme vis-à-vis des pathogènes, production de substances antimicrobiennes et immunomodulation
- Aptitude à produire des effets bénéfiques sur la santé (efficacité documentée et prouvée dans des études *in vitro* et *in vivo* contrôlées chez l'Homme).

✓ Critères technologiques

- Viabilité et stabilité au cours des procédés de production et dans le produit fini ;
- Conservation des propriétés probiotiques après production ;
- Bonnes propriétés organoleptiques.

IV.2.3.2. Conservation et intégration des bifidobactéries dans un produit laitier

Les probiotiques peuvent être ingérés sous différentes formes : gélules, comprimés ou encore sous forme d'une suspension. En raison de leur large consommation, les produits laitiers fermentés sont de bons vecteurs des probiotiques. Pour escompter un effet, la prise quotidienne

de probiotiques devrait être comprise entre 10^8 et 10^9 UFC. Cependant, des études menées sur des produits laitiers du commerce montrent une perte de viabilité de ces souches en amont de leur consommation. Plusieurs facteurs peuvent en être responsables, comme les pH acides ou les phénomènes d'oxydation et plus particulièrement les effets liés à l'oxygène lors de la fabrication et le stockage des produits laitiers.

Ainsi, les deux objectifs principaux de la microencapsulation de bactéries probiotiques sont les suivants :

- ✓ isoler et protéger les cellules du milieu environnant afin de limiter le contact avec des conditions défavorables à la survie des bactéries. En effet, un pH acide, des enzymes ou encore des micro-organismes compétiteurs peuvent nuire à la viabilité des cellules ;
- ✓ maîtriser la libération des bactéries probiotiques au sein du site voulu, c'est-à-dire au niveau de l'intestin.

Cette technique permet d'augmenter la survie des bactéries probiotiques dans les produits laitiers. Différents procédés de dispersion (atomisation, émulsion, extrusion, enrobage par lit fluidisé) ainsi que différents matériaux (alginate, gomme de xanthane, k-carraghénane, chitosane, amidon, gélatine ou protéines de lait) peuvent être utilisés pour encapsuler des bactéries (Figure 14 et 15). Cependant, même si la micro-encapsulation se révèle être très efficace pour protéger les bactéries probiotiques dans les laits fermentés, elle n'est que très peu utilisée en raison de la taille des particules (20-50 μm) (Figure 16). En effet, lors de l'ingestion des produits laitiers, les consommateurs les perçoivent en bouche. La recherche pourrait s'orienter à diminuer la taille des particules pour palier à ce problème d'acceptation de la part du consommateur.

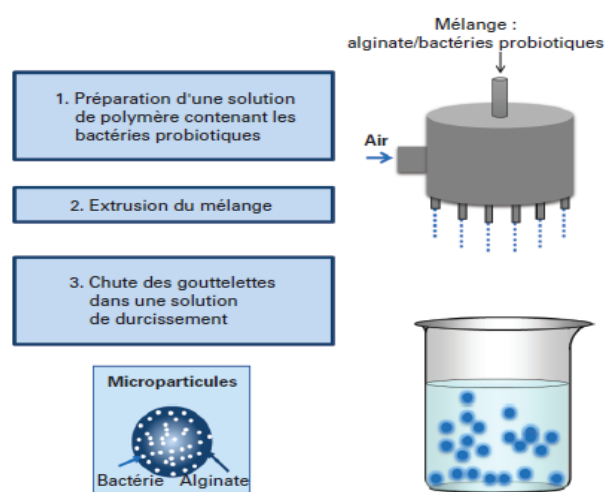


Figure 14 : procédé d'encapsulation par extrusion (Burgain et al., 2016)

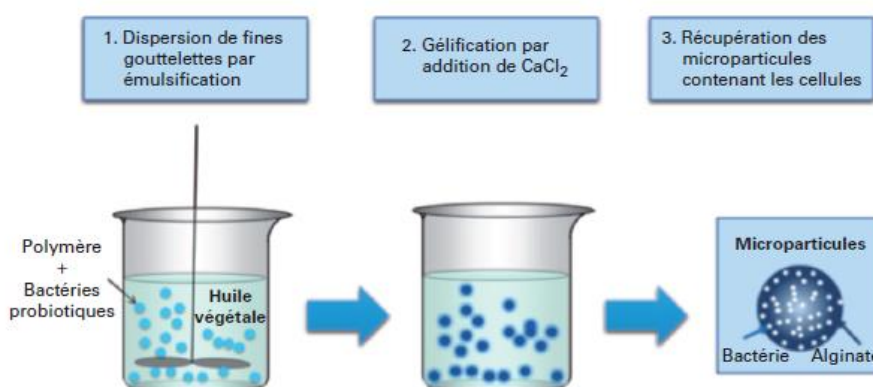


Figure 15 : procédé d'encapsulation par émulsification ((Burgain et al., 2016)

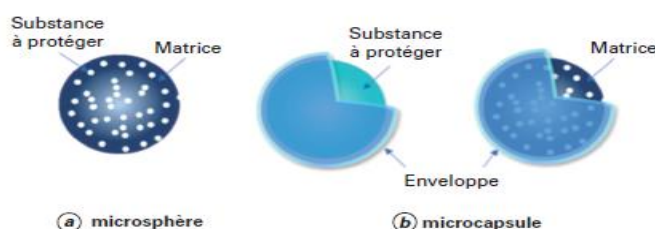


Figure 16 : Différents types de microparticules obtenus à partir des procédés d'encapsulation (Burgain et al., 2016)

IV.2.3.2. Autres méthodes de préservation des probiotiques

a) Emballage actif

La concentration en oxygène dissous est mesurée dans des yaourts commerciaux immédiatement après leur conditionnement dans des pots en polyéthylène téréphtalate (PET), puis tout au long de leur période de stockage. Les résultats montrent que cette concentration double entre la fabrication du yaourt et la fin du stockage (42 jours). Afin de limiter la diffusion de l'oxygène à travers l'emballage et de préserver la qualité du produit, des emballages actifs à base de polyéthylène téréphtalate (PET) ont été développés. Ces emballages intègrent une couche barrière aux gaz qui réduit significativement la pénétration de l'oxygène, permettant ainsi de maintenir une faible concentration en oxygène dissous dans le yaourt tout au long de sa durée de conservation.

b) Méthodes physiques

La sur-acidification, néfaste pour les probiotiques, du produit peut-être évitée en maintenant le

pH à une valeur supérieure à 5, en appliquant des chocs thermiques au yaourt (58 °C, 5 min) avant l'addition de la souche probiotique, en diminuant la température de stockage en dessous de 4 °C ou en augmentant le pouvoir tampon du yaourt par l'ajout de protéines de lactosérum.

c) Ajout de molécules actives

Un certain nombre de molécules sont connues pour améliorer la croissance des bactéries probiotiques. Ainsi, la supplémentation du lait avec un mélange de casitone et de fructose stimule la croissance de *L. acidophilus*. Les protéines de lactosérum, le jus de tomate et la pulpe de papaye stimule également la croissance de *L. acidophilus*.

Des molécules antioxydantes (catéchines ou tocophérols) ou des enzymes (catalase) peuvent également être utilisées pour améliorer la survie des bactéries probiotiques dans les yaourts.

d) Activité microbienne

La présence de micro-organismes peut induire des modifications des propriétés oxydoréductrices du milieu. L'incorporation d'espèces consommatrices d'O₂ comme *St. thermophilus* fait partie des stratégies envisagées pour protéger les bactéries probiotiques des attaques des ROS. Cependant, ces souches induisent une acidification rapide du milieu à laquelle *L. acidophilus* et les bifidobactéries sont très sensibles. Une nouvelle stratégie serait alors d'ajouter des espèces telles que *Lc. lactis* prt (protéase négative) possédant des capacités réductrices considérables ainsi qu'une faible activité acidifiante.

e) Electroréduction

L'électroréduction est un procédé d'électrolyse pouvant être une voie à envisager afin de protéger les probiotiques des effets toxiques de l'oxygène.

Cette technique permet de diminuer le Potentiel d'oxydoréduction (Eh) sans altérer les qualités organoleptiques et nutritionnelles du lait, et ceci sans ajout de molécules chimiques. En effet, un effet similaire à l'ajout de cystéine ou au dégazage par l'azote a été observé sur des souches de *Bifidobacterium* dans du lait fermenté conservé à 4 °C pendant 4 semaines.

f) Utilisation des gaz

Selon quelques auteurs un faible contenu en O₂ et un faible potentiel redox ont été cités comme des facteurs importants pour la viabilité des bifidobactéries durant la conservation des produits laitiers fermentés. Ces auteurs ont, entre autre, trouvé une meilleure viabilité des bifidobactéries dans un lait dégazé.

De plus, d'après les travaux de Delbeau, des conditions de culture réductrices obtenues par l'utilisation d'un gaz réducteur (N₂-H₂) favorisent la viabilité des bactéries lyophilisées de *Lactobacillus rhamnosus* durant le stockage (la viabilité est doublé par rapport au témoin après

60 jours de stockage à température ambiante). L'utilisation de gaz neutres comme l'azote ou comme l'hydrogène pourrait ainsi être une alternative aux méthodes chimiques ou physiques qui bien souvent ont un effet négatif sur le produit. En effet, des auteurs ont montré que le dégazage du lait pour confectionner des yaourts n'entraînait aucun défaut organoleptique sur le produit fini et tendait même à l'améliorer.

IV.2.4. Enrichissement en composés bioactifs

IV.2.4.1. Extraction

L'extraction est la première étape permettant de séparer les produits naturels souhaités des matières premières. Les méthodes d'extraction comprennent l'extraction par solvant, la distillation, le pressage et la sublimation, selon le principe d'extraction (Tableau 12).

Tableau 12 : Résumé des différentes méthodes d'extraction des produits naturels (Zhang et al., 2018)

Méthode	Solvant	Température
Macération	Eau, solvants aqueux et non aqueux	Température ambiante
Percolation	Eau, solvants aqueux et non aqueux	Température ambiante, parfois sous chauffage
Décoction	Eau	Sous chauffage
Extraction par reflux	Solvants aqueux et non aqueux	Sous chauffage
Extraction Soxhlet	Solvants organiques	Sous chauffage
Extraction liquide sous pression	Eau, solvants aqueux et non aqueux	Sous chauffage
Extraction par fluide supercritique	Fluide supercritique (généralement CO ₂ supercritique), parfois avec un modificateur	Proche de la température ambiante
Extraction ultrasons assistée par	Eau, solvants aqueux et non aqueux	Température ambiante ou sous chauffage
Extraction micro-ondes assistée par	Eau, solvants aqueux et non aqueux	Température ambiante
Extraction assistée par champ électrique pulsé	Eau, solvants aqueux et non aqueux	Température ambiante ou sous chauffage
Extraction assistée par enzymes	Eau, solvants aqueux et non aqueux	Température ambiante, ou chauffage après traitement enzymatique
Hydrodistillation et distillation à la vapeur	Eau	Sous chauffage

L'extraction par solvant est la méthode la plus couramment utilisée. L'extraction des produits naturels se déroule selon les étapes suivantes :

- le solvant pénètre dans la matrice solide ;
- le soluté se dissout dans le solvant ;
- le soluté est diffusé hors de la matrice solide ;
- les solutés extraits sont récupérés.

Tout facteur améliorant la diffusivité et la solubilité au cours des étapes ci-dessus facilitera l'extraction. Les propriétés du solvant d'extraction, la granulométrie des matières premières, le rapport solvant/solide, la température d'extraction et la durée de l'extraction auront une incidence sur l'efficacité de l'extraction.

IV.2.4.2. Enrichissement des huiles en antioxydants naturels

Les antioxydants constituent un groupe de substances chimiques largement utilisées pour prolonger la durée de conservation d'une grande variété de produits alimentaires.

Un antioxydant alimentaire est considéré comme idéal lorsqu'il est :

- facilement incorporable
- efficace à faible dose
- non toxique
- n'entraîne ni coloration, ni odeur, ni saveur indésirable
- résistant aux processus technologiques
- stable dans le produit fini

Bien que la plupart des matières premières utilisées contiennent déjà des antioxydants naturels, mais durant les procédés de fabrication des aliments, ils en sont appauvris. Cela nécessite donc l'addition d'antioxydants synthétiques.

Malgré leur teneur naturelle en antioxydants tels que les tocophérols, les tocotriénols, les composés phénoliques, les caroténoïdes et les stérols, les huiles et les graisses ne présentent pas une stabilité oxydative suffisante. En général, cette faible stabilité oxydative est due à un problème majeur, connu sous le nom d'oxydation. Celle-ci entraîne une détérioration de la qualité de l'huile et peut être à l'origine de problèmes de santé tels que les rhumes, le cancer, les maladies cardiaques, la mutagénicité et d'autres pathologies.

Afin de préserver la haute valeur nutritionnelle des huiles et d'améliorer leur stabilité oxydative ainsi que leur durée de conservation, de nombreuses approches sont utilisées. L'ajout de composés synthétiques tels que le BHT, le BHA, le PG et le TBHQ constitue l'une des

stratégies les plus courantes. Récemment, en raison des inquiétudes liées à la sécurité de ces composés synthétiques, une forte tendance à utiliser des composés bioactifs naturels extraits de plantes a été observée. L'enrichissement des huiles végétales comestibles et d'autres produits est également pratiqué dans le cadre des aliments fonctionnels, appréciés par les consommateurs pour leurs bienfaits sur la santé. En effet, le produit est enrichi en nutriments et sa saveur est améliorée grâce au transfert de composés aromatiques dans la matrice alimentaire.

Cette pratique connaît un essor rapide à l'échelle mondiale. De nombreuses plantes présentant des profils sensoriels et phytochimiques intéressants, telles que le romarin, la lavande, la sauge, le laurier, l'origan, la menthe, le basilic, le citron et le thym, entre autres, sont utilisées à cette fin. Dans ce contexte, plusieurs types d'huiles aromatisées à base de différents produits (légumes, herbes, épices, champignons et fruits) ont récemment été commercialisés. Les sous-produits issus de la transformation des fruits et légumes, tels que les fleurs, les amandes, les écorces, les feuilles et les racines, qui présentent une teneur élevée en composés bioactifs comme les acides phénoliques, les flavonols, les anthocyanidines, les flavonones, les caroténoïdes et les glycosides, sont utilisés comme principale source d'antioxydants naturels afin d'améliorer la stabilité des huiles.

IV.2.4.3. Enrichissement des produits en fibres alimentaires

Les recommandations nutritionnelles ont souligné l'importance des fibres alimentaires dans notre alimentation quotidienne et préconisent leur consommation régulière ou leur augmentation, en fonction des habitudes et des comportements nutritionnels de chacun. Les fibres alimentaires peuvent être utilisées pour enrichir les aliments dans le but de formuler et de produire des aliments fonctionnels.

Les méthodes d'extraction conventionnelles jouent un rôle important dans les procédés industriels, malgré le développement de nouvelles méthodes permettant d'obtenir des rendements plus élevés et de réduire les temps d'extraction. Les méthodes d'extraction assistées par micro-ondes et par ultrasons se sont avérées être les techniques d'extraction les plus efficaces. Les méthodes utilisées pour l'extraction des fibres comprennent l'extraction à sec/humide ainsi que les méthodes chimiques, enzymatiques, gravimétriques et microbiennes. Dans le cas des méthodes enzymatiques, la durée de réaction prolongée (supérieure à 24 h), le coût élevé des enzymes et le faible rendement présentent plusieurs inconvénients. Les avantages de l'extraction assistée par ultrasons et par micro-ondes sont une faible consommation d'énergie, une durée d'opération réduite, une diminution des quantités de solvants utilisées et un rendement d'extraction accru. Les fibres alimentaires, en particulier la pectine, proviennent généralement du

marc de pomme ou des écorces d'agrumes. Actuellement, les sources de fibres alimentaires comprennent de nouveaux déchets alimentaires et sous-produits, tels que les écorces de mangue, la pulpe de goyave, les pépins de figue, les écorces de fruit de la passion, les cosses de fèves et de cacao, l'écorce de pastèque, les bananes, les écorces de grenade, les coques d'arachide, la balle de riz, le son d'orge sans enveloppe, etc.

Les prébiotiques (groupe de fibres alimentaires) sont de plus en plus présents dans le domaine des ingrédients fonctionnels. L'approche prébiotique est potentiellement plus avantageuse que l'approche probiotique car elle agit sur les bactéries commensales spécifiques de l'hôte qui, de plus, sont déjà bien établies dans le gros intestin. Les prébiotiques peuvent également être facilement incorporés dans pratiquement tous les produits alimentaires tandis que l'emploi des probiotiques se limite principalement aux produits fermentés et aux produits laitiers frais.

IV.2.4.4. Enrichissement des produits en phytostérols

- Origine des phytostérols

Les phytostérols sont des composés naturellement présents dans la fraction lipidique des plantes. Ils sont surtout présents dans l'extrait huileux de bois de pin, les huiles végétales, les noix et les graines, les légumineuses et les légumes. Le pain et les céréales contiennent environ 17 % des phytostérols totaux. Les sources diététiques les plus importantes sont les huiles végétales et les produits à base d'huiles végétales tels que les margarines. Environ 2 500 tonnes d'huiles végétales doivent être raffinées pour produire une tonne de phytostérols.

- Comment intégrer les phytostérols dans l'approche diététique des sujets hypercholestérolémiques

Les phytostérols estérifiés peuvent être utilisés facilement. Ils peuvent être dissous dans un corps gras. Techniquement, c'est dans la margarine que les phytostérols se dissolvent le mieux. Ils n'entraînent pas de modification du goût ni de l'aspect de l'aliment. L'utilisation d'une margarine enrichie en esters de phytostanols ou de phytostérols peut parfaitement s'incorporer dans le régime hypocholestérolémiant (Tableau 13).

Tableau 13 : Effet hypocholestérolémiant des phytostérols (Serfaty-Lacrosnière et al. 2001)

Dose de phytostérol	forme	Diminution du cholestérol total	Diminution du cholestérol LDL
5-7 g/j	Sitostérol	28 %	
10 -15 g/j	Sitostérol	10 à 20 %	
18 g/j	Sitostérol	12 %	17 %
3 g/j	Sitostérol	12 %	
1,5 g/j	Sitostanol		33 %
3 g/j	Esters sitostanol	de 10 %	14 %
0,8-3 g/j	Esters de stanol	2,8 à 11,3 %	1,7 à 10,4 %
1,84 g/j	Esters phytostérol	de 13,4 %	12,9 %
1,84 g/j	Esters phytostanol	de 10,2 %	7,9 %

IV.3. Aliments avec ajout de composés nouveaux

Les « aliments » avec ajout de composés nouveaux désignent des aliments fonctionnels auxquels sont incorporés des substances bioactives inédites ou optimisées afin d'améliorer leurs effets bénéfiques sur la santé au-delà de leur valeur nutritionnelle de base. Ces composés peuvent être d'origine naturelle, comme des peptides bioactifs, des fibres spécifiques ou des polyphénols extraits et purifiés.

IV.3.1. Alimentation fonctionnelle animale

L'alimentation fonctionnelle animale consiste à modifier la ration alimentaire des animaux afin d'obtenir des produits (œufs, lait, viande) enrichis naturellement en composés bénéfiques pour la santé humaine (améliorer la valeur nutritionnelle des aliments).

Modification de l'alimentation animale pour enrichir naturellement :

IV.3.1.1. Enrichissement en oméga-3

a) Volailles

La physiologie digestive des oiseaux préserve relativement bien les acides gras poly-insaturés qu'ils consomment. Un effet dose est observé dans les tissus de l'animal, notamment pour les teneurs en ALA, qui peuvent passer d'environ 4 g/100 g à 22 g/100 g d'acides gras. Cet effet est moins net avec le DHA, d'autant que de fortes teneurs alimentaires en graines de lin

diminuent légèrement cet acide, tandis que l'ALA est augmenté.

La volaille est donc considérée, dans une étude américaine, comme un excellent moyen de modifier favorablement le statut nutritionnel en oméga-3

b) Œufs

Ajoute dans l'alimentation des poules des graines de lin ou bien les huiles de poisson dans le but d'avoir des œufs riches en acides gras oméga-3 (bénéfiques pour le cœur et le cerveau).

Contrairement au dogme qui a longtemps prévalu, la composition de l'œuf n'est pas constante, mais varie en fonction de la nourriture fournie aux poules pondeuses : la nature des acides gras du jaune d'œuf est ainsi en relation avec la nature des graisses mangées par la poule.

Dans les œufs dits « industriels », par rapport aux œufs grecs pastoraux « sauvages », la quantité d'ALA est multipliée par 14 (et par 42 si les poules sont nourries avec des graines de lin), celle de DHA par 6 (par 5 si les poules sont nourries avec des graines de lin). Une explication en est la consommation par les poules grecques de divers végétaux, dont particulièrement le pourpier (variété de salade), d'escargots et de limaces. L'enrichissement est proportionnel à la quantité d'acide gras oméga 3 présents dans l'alimentation de la poule. Il est logiquement plus important avec des graines de lin qu'avec des graines de colza. La relation est d'ailleurs linéaire entre le contenu en ALA dans les aliments et sa teneur dans le jaune d'œuf. Par exemple, une alimentation destinée aux poules pondeuses contenant 0 %, 10 % ou 20 % d'huile de graine de lin provoque une augmentation croissante du contenu des œufs en ALA (de 28, 261 et 527 mg par œuf, respectivement) et en DHA (51, 81 et 87 mg par œuf), tout en ne modifiant pas leur teneur en cholestérol (Tableau 14 et 15).

Tableau 14 : Facteurs de multiplication les plus favorables obtenus en nourrissant les animaux avec de l'ALA (graines de lin ou de colza) (Bourre, 2005).

	ALA dans le produit alimentaire consommé par l'homme	EPA+DHA dans le produit alimentaire consommé par l'homme
Faux-filet de boeuf	X 2	X 1
Cuisse de poulet	X 9.5	X 3
Œuf	X 20 à 40	X 5

Tableau 15 : Facteurs de multiplication les plus favorables obtenus en nourrissant les animaux avec des huiles de poissons (EPA+DHA) (Bourre, 2005).

	ALA dans le produit alimentaire consommé par l'homme	EPA+DHA dans le produit alimentaire consommé par l'homme
Longue de boeuf	X 1,3	X 2
Cuisse de poulet	X 1	X 7
Saumon	-	X 20

IV.3.1.2. Enrichissement en vitamine E

La supplémentation en vitamine E dans l'alimentation animale et les produits carnés peut améliorer la qualité de la viande et des produits carnés en réduisant l'oxydation des protéines et des lipides et en augmentant la stabilité de la couleur.

IV.3.1.3. Enrichissement en CLA (CLA = Conjugated Linoleic Acid)

Obtenu en modifiant l'alimentation des vaches (pâturage, huiles végétales spécifiques). De nombreuses propriétés physiologiques et biologiques (antioxydantes, contre l'obésité, anticancérigènes, anti-athérosclérotiques, protection du système immunitaire, etc.) ont été attribuées au CLA. Bien que les résultats de l'incorporation de CLA dans l'alimentation animale soient variables, il semble qu'il améliore la composition corporelle en réduisant les dépôts de graisse et l'épaisseur du lard dorsal, et qu'il modifie également la composition en acides gras des lipides tissulaires, en augmentant la proportion d'AGS et en réduisant l'oxydation des lipides chez les porcs et la volaille.

IV.3.1.4. Enrichissement en sélénium

Le sélénium est un oligo-élément essentiel pour les animaux, car il intervient dans la régulation des fonctions physiologiques. Chez l'homme, une carence en sélénium est liée à une diminution de la fonction immunitaire, ce qui entraîne une augmentation de la susceptibilité au cancer, aux maladies cardiovasculaires, au diabète, à l'arthrite et à d'autres pathologies.

La carence en sélénium étant courante dans certains pays, du sélénium inorganique et organique a été ajouté à l'alimentation animale afin d'en enrichir la teneur dans la viande. L'application de techniques d'enrichissement a conduit à la production d'une viande porcine contenant une teneur en sélénium dix fois plus élevée que celle observée dans la viande porcine conventionnelle. La viande de bœuf et d'agneau a également été enrichie en ce minéral à différents niveaux.

IV.3.2. Incorporation directe par procédé mécanique (homogénéisation)

L'incorporation directe consiste à ajouter des composés fonctionnels directement dans l'aliment lors de sa transformation industrielle (fabrication, formulation).

- **Fibres solubles** : pectines, inuline, bêta-glucanes (amélioration du transit intestinal, réduction du cholestérol, effet prébiotique)
- **Phytostérols** : composés d'origine végétale similaires au cholestérol (diminution de l'absorption du cholestérol, contribution à la prévention des maladies cardiovasculaires).
- **Antioxydants naturels** : polyphénols, vitamine C, vitamine E (lutte contre le stress oxydatif, amélioration de la stabilité des aliments).

IV.3.3. Bio-ingénierie

La bio-ingénierie est l'utilisation de techniques scientifiques pour modifier ou améliorer des organismes vivants (bactéries, levures, champignons) afin d'obtenir un effet utile tel que l'amélioration génétique des micro-organismes (production de peptides bioactifs à effets antihypertenseurs, antioxydants, antimicrobiens).

IV.3.4. Fermentation contrôlée

Elle conduit à la biosynthèse de nouvelles molécules d'intérêt, telles que des vitamines (notamment certaines vitamines du groupe B), des acides organiques, des peptides antihypertenseurs et des métabolites antioxydants. Ces composés contribuent au renforcement des propriétés fonctionnelles des aliments, notamment par l'augmentation de leur activité antioxydante, leur capacité à neutraliser les radicaux libres et leur rôle dans la protection contre le stress oxydatif (fermentation des céréales afin d'augmenter leur teneur en composés phénoliques et leur pouvoir antioxydant).

IV.4. Aliments avec substitution de composant néfaste

Les aliments avec substitution de composant néfaste sont des produits alimentaires dans lesquels certains ingrédients considérés comme préjudiciables à la santé sont remplacés par des alternatives plus bénéfiques. Ainsi, les graisses saturées et les acides gras trans peuvent être remplacés par des huiles riches en acides gras insaturés (huiles riches en oméga-3), le sucre par des édulcorants naturels ou à faible valeur calorique (extrait de *Stévia*), et le sel par des substituts permettant de réduire l'apport en sodium (par KCl).

- *Stévia*

Elle est utilisée dans de nombreuses régions du monde comme édulcorant non calorique. Outre son goût sucré, elle procure également une sensation d'amertume chez l'être humain. Sous forme d'extrait, cette plante s'est avérée avoir un pouvoir édulcorant similaire à celui d'une solution de saccharose à 10 %, que ce soit à un pH de 3,0 ou de 7,0. L'extrait végétal avait également un pouvoir édulcorant comparable à celui de l'aspartame et d'un mélange de cyclamate et de saccharine. La puissance des extraits de stévia s'est avérée supérieure à celle d'autres extraits végétaux édulcorants, tels que ceux de *Thladiantha grosvernorii* (Cucurbitacées) ou d'*Abrus precatorius* (Fabacées). Le pouvoir sucrant du stéviolside, principal composant sucrant des espèces de stévia, a été détecté à une concentration aussi faible que 24 mg/ml.

- Utilisations de la stévia

- . La stévia est sans danger pour les diabétiques, car elle n'a aucune incidence sur la glycémie ;
- . La stévia ne présente pas les effets secondaires neurologiques ou rénaux associés à d'autres édulcorants artificiels ;
- . La stévia possède des propriétés antifongiques et antibactériennes, en plus de ses autres utilisations polyvalentes. Elle peut être utilisée en toute sécurité dans les remèdes à base de plantes, les toniques destinés aux patients diabétiques ainsi que dans des produits d'usage quotidien tels que les bains de bouche et les dentifrices ;
- . Une infusion légère à base de feuilles de stévia apporte un excellent soulagement en cas de maux d'estomac.

V. Aliment et pathologies

Les cellules ont besoin de lipides, qui constituent une importante source d'énergie. Les lipides font également partie des principaux constituants des membranes cellulaires. La fluidité de ces membranes dépend du type d'acides gras qui les composent et est directement liée à l'alimentation. Certains acides gras sont dits essentiels, car l'organisme ne peut pas les synthétiser et doit donc les trouver dans l'alimentation.

Les glucides, ou sucres, jouent également un rôle important, car ils constituent le principal carburant des muscles. Toutefois, tous les glucides n'ont pas la même valeur nutritionnelle. Les sucres raffinés, consommés en quantités croissantes, peuvent fatiguer l'organisme et leur excès, transformé en acides gras, favorise l'augmentation de la masse grasse. Les vitamines et les minéraux sont eux aussi indispensables au bon fonctionnement des cellules.

V.1. Alimentation saine

Les aliments sains sont ceux que fournit la nature et non ceux que fabrique l'industrie. Le régime « arc-en-ciel » devrait être suivi : il consiste à consommer des aliments de toutes les couleurs, à l'exception du blanc, qui correspond aux produits raffinés. Les aliments sains privilégiés sont :

- Céréales complètes de culture biologique ;
- Huiles vierges issues de graines de culture biologique ;
- Pain complet préparé avec des farines biologiques fraîchement moulues ;
- Des fruits et des légumes sans pesticides ;
- Réduire la consommation de viande et préparer deux fois par semaine du poisson ;

- L'œuf (de ferme) est un aliment complet. C'est une excellente source d'oméga 3 si le jaune n'est pas trop cuit ;
- Penser à consommer des amandes pour apporter du calcium, indispensable à l'organisme;
- L'huile d'olive est la plus résistante, pour bénéficier de ses acides gras ;
- Varier les repas en n'oubliant pas que le petit-déjeuner (repas de roi) doit comporter des protéines, des sucres complexes, des oléagineux, des fruits frais, un œuf. Le déjeuner (de prince) comprendra en entrée des crudités tandis que le souper (de pauvre) sera pauvre en graisses mais riche en sucres complexes : céréales, légumineuses, potage maison...

V.2. Fonctions des aliments

Les aliments peuvent avoir plusieurs fonctions :

V.2.1. Fonctions de renforcement

Plusieurs des produits actuellement développés ont un rôle de renforcement sur le système immunitaire, les capacités intellectuelles et physiques.

V.2.2. Fonctions de réduction du risque

Plusieurs des aliments fonctionnels présents sur le marché concernent la gestion des maladies du système cardio-vasculaire.

Les aliments réduisant les risques de cancers font également l'objet de développement.

V.2.3. Produits pour les excès et les déficiences

Il existe un besoin et une opportunité pour des aliments fonctionnels traitant des déficiences cliniques classiques. Dans les pays développés, par contre, le problème résidant dans le contrôle des surplus de poids.

V.2.4. Rétablissement

Les aliments fonctionnels peuvent faciliter le rétablissement de certaines maladies. Il s'agit principalement des produits de la sphère colorectale qui aident à rétablir la flore intestinale.

V.3. Aliments et pathologies liées au stress oxydant

La plupart des maladies induites par le stress oxydant apparaissent avec l'âge car le vieillissement diminue les défenses antioxydantes et augmente la production mitochondriale de radicaux. En faisant apparaître des molécules biologiques anormales et en surexprimant certains gènes, le stress oxydant sera la principale cause initiale de plusieurs maladies : cancer, cataracte, syndrome de détresse respiratoire aigu, œdème pulmonaire, vieillissement accéléré. Le stress

oxydant est aussi un des facteurs potentialisant l'apparition de maladies plurifactorielles tel le diabète, la maladie d'Alzheimer, les rhumatismes et les maladies cardiovasculaires.

V.3.1. Pathologies

V.3.1.1. Athérosclérose

C'est une étape de la maladie cardiaque impliquant des dépôts de graisses à l'intérieur des parois artérielles. Dans cette pathologie les LDL oxydés ne sont plus reconnus par leurs récepteurs habituels, cela conduit à l'absorption massive de cholestérol caractéristique de la phase précoce de l'athérome, et les lésions comme phénomène extracellulaire.

V.3.1.2. Infection par le VIH

Cette infection provoque la libération de (TNF) tumor necrosis factor et la production des radicaux libres. Chez les patients séropositifs, la diminution de la vitamine E entraîne la diminution de l'activité de glutathion peroxydase (Elle assure la transformation des hydroperoxydes organiques, lipidiques notamment, de type ROOH en ROH), et les radicaux libres formés sont impliqués dans la réplication de VIH et perturbent ainsi la réponse immune par la diminution d'IL-2 (Interleukin-2).

V.3.1.3. Diabète (hyperglycémie)

Chez le diabétique, l'hyperglycémie (diminution de glutathion peroxydase érythrocytaire et augmentation de la lipoperoxydation) entraîne un effet délétère au niveau endothélial en favorisant la production de superoxyde et de peroxynitrites, qui réduisent l'activité des enzymes de la glycolyse (la glyceraldéhyde-3- phosphate-déshydrogénase (GAPDH)). De ce fait, le flux de glucose est transformé à une autre voie métabolique, qui est la voie de la glucosamine qui conduit en partie à des effets transcriptionnels (activation de l'expression de gènes contribuant au développement des complications diabétiques).

V.3.2. Aliments

V.3.2.1. Aliment à base de la vitamine E

L' α -tocophérol (un puissant antioxydant) inhibe la croissance de cellules cancéreuses mammaire et prostatique. Chez 35 000 femmes (55- 69 ans) suivies pendant 4 ans, il existe une relation inverse entre l'apport en vitamine E et le risque de cancer du colon. Chez 30 000 adultes, une tocophérolémie basse est associée à un risque de cancer 1,5 fois plus important. Cependant, la supplémentation en vitamine E diminue la fréquence des cancers de la prostate mais augmente celle des cancers de l'estomac.

V.3.2.2. Aliment à base de la vitamine C

La vitamine C est un puissant antioxydant et, à ce titre, possède de nombreuses propriétés pharmacologiques. C'est aussi, un nutriment essentiel et sa carence définit une maladie, le scorbut. C'est donc, à la fois, un complément alimentaire et un médicament, en fonction de la dose et des allégations portées.

V.4. Aliment et problèmes intestinaux

L'intestin joue un rôle capital dans le système digestif. C'est lui qui assure 80 % de l'immunité de l'organisme. Pour remplir sa fonction d'absorption, sa muqueuse doit être saine. C'est la flore intestinale qui assure sa protection tout en contrôlant la flore pathogène. Mais cette flore intestinale peut se détériorer sous l'influence d'une mauvaise alimentation : trop de sucres raffinés et de graisses saturées. Les médicaments, l'alcool, les pollutions, les toxines, les aliments non digérés... l'endommagent également... sans parler du stress ! La muqueuse s'enflamme sous son influence empêchant la transformation des aliments et perturbant la composition de la flore. Les signes de cette perturbation sont des ballonnements, des maux de tête, des infections à répétition....

V.4.1. Aliment à base de probiotiques

Plusieurs effets bénéfiques pour la santé ont été associés à la consommation des probiotiques. Ils consistent à réduire un ou plusieurs facteurs de risque de maladie ou à améliorer des fonctions de l'organisme de l'hôte. Ces effets se retrouvent tout d'abord sur les fonctions intestinales, mais les probiotiques ont également une répercussion sur des fonctions non intestinales.

Les probiotiques jouent un rôle important sur la qualité et la composition de la flore intestinale. Celle-ci doit notamment jouer un rôle mécanique sur le transit intestinal et la fonction digestive, participer à l'élaboration de substances ou enzymes indispensables à l'organisme, participer à l'absorption de minéraux, vitamines, enzymes, médicaments, etc.

Elle doit encore participer au métabolisme et à l'équilibre du cholestérol, lutter contre certains bacilles ou champignons, participer au bon équilibre des défenses immunitaires. Voici comment ils influent sur le système immunitaire : premièrement, ils le stimulent en augmentant l'activité des cellules de défense telles que les macrophages et les cellules T, deuxièmement, ils diminuent l'inflammation et produisent des substances appelées bactériocines, qui agissent à la façon des antibiotiques sur les bactéries pathogènes. Comme ces bactériocines ne sont pas

absorbées par l'organisme, elles iront détruire les mauvaises bactéries sans éliminer les bactéries probiotiques.

V.4.2. Prebiotiques

V.4.2.1. Prévention du diabète type II

Les fibres solubles et visqueuses ralentissent la vitesse de vidange de l'estomac, diminuent la vitesse de digestion des aliments (en particulier celle des glucides et des protéines) et ralentissent l'absorption des nutriments issus de cette digestion. Elles permettent ainsi de ralentir la réponse glycémique à l'ingestion d'un aliment glucidique et par conséquent de diminuer la réponse insulinique, ce qui, sur le long terme, est favorable pour prévenir le diabète de type 2.

V.4.2.2. Bon fonctionnement du transit

Les fibres partiellement digérées contribuent au bon fonctionnement du transit par augmentation du volume de selles, un effet d'autant plus important qu'elles ont une forte capacité de rétention d'eau.

V.4.2.3. Prévention de certains cancers

Le processus de fermentation dans le côlon génère notamment des acides organiques, en particulier les acides gras à chaîne courte (AGCC), parmi lesquels l'acétate et le butyrate. Or, en ce qui concerne le butyrate il a été montré qu'une production insuffisante de butyrate liée à une faible consommation de fibres serait en partie à l'origine de plusieurs pathologies touchant le côlon, dont le cancer colo-rectal et peut-être les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI).

V.5. Aliment et phénomène inflammatoire

Les oméga 3 et 6 dont le déficit favorise les maladies dégénératives, en particulier les maladies cardio-vasculaires, certains cancers, les maladies auto-immunes... Les oméga 6 d'origine végétale se trouvent dans l'huile de tournesol, de soya, de germe de blé... Ils ont des propriétés anti-inflammatoires. Les oméga 3 d'origine végétale se retrouvent dans l'huile de lin, de colza, de noix... Ils assurent une protection cardiaque et agissent contre les phénomènes inflammatoires ou allergiques. Oméga 6 et oméga 3 doivent toujours être en équilibre, ce qui n'est pas le cas dans notre alimentation.

Les aliments sont des aliments possédants des propriétés au de là des apports nutritionnels. Malgré leurs effets préconisés, il peut y avoir des effets négatifs sur la santé humaine. Pour donner un exemple concret, la surconsommation de β -carotène visant à réduire les cancers du foie et de l'oesophage, avait provoqué l'apparition du cancer du poumon dans

certain cas. Les risques liés aux effets à long terme des AGM (aliments génétiquement modifiés) sur la santé doivent rendre la publique plus consciente à leurs consommations (car ils contiennent des caractères qui pourraient avoir des effets à long terme). Face à ce problème, le recours vers les aliments naturels (non modifiés génétiquement) s'avère une préférence satisfaisante qui doit être recherchée par le consommateur.

V.6. Athérosclérose et vitamine E

Les complications de l'athérosclérose représentent la première cause de mortalité et de morbidité dans les pays à haut niveau de vie. L'athérosclérose restant sans traitement spécifique étiologique, la correction des facteurs de risque est actuellement le meilleur moyen de lutter contre ce fléau. Certains facteurs de risque comme l'âge ou les facteurs génétiques ne sont pas modifiables mais ils doivent être pris en compte pour l'estimation du risque.

V.6.1. Définition

L'athérosclérose est une maladie inflammatoire de la paroi des artères qui est responsable de plusieurs maladies cardiovasculaires, telle que la cardiopathie ischémique (regroupe un ensemble de troubles consécutifs à l'insuffisance d'apports en oxygène au muscle cardiaque en raison du développement et des complications de l'athérosclérose au niveau d'une ou plusieurs artères coronaires. Dans les pays industrialisés, les maladies cardiovasculaires constituent la principale cause de mortalité. En 2007, 800 000 personnes sont mortes de maladies cardiovasculaires aux États-Unis.

V.6.2. Étapes du développement de l'athérosclérose

L'athérosclérose est une maladie inflammatoire chronique de la paroi des artères caractérisée par l'accumulation de macrophages spumeux. Ce processus commence par :

- L'infiltration des LDL dans la paroi vasculaire artérielle (La perméabilité de la paroi est donc un facteur initial de la maladie) ;
- Les LDL qui infiltrent la paroi vont par la suite être retenues dans l'intima via des liaisons entre l'apoB (apolipoprotéine B) et les glycosaminoglycanes (GAG) ;
- Les LDL retenues seront soumises à des modifications oxydatives causées par diverses enzymes présentes dans l'intima ;
- La formation des stries lipidiques dans la lésion débute par l'accumulation de macrophages qui internalisent les LDL oxydées (LDLox) via leur récepteurs éboueurs (scavengers) ;
- Les macrophages qui internalisent les LDLox deviennent activés et relâchent des

cytokines

- Pro-inflammatoires ;
- La lésion progresse par le développement d'une plaque fibreuse caractérisée par la prolifération de cellules musculaires lisses ;

La lésion d'athérosclérose peut, pendant plusieurs années, ne montrer aucun symptôme apparent pour le patient tant que le flux sanguin n'est pas perturbé. Cependant, les symptômes de la maladie apparaissent si la lésion obstrue la lumière de l'artère. De plus, les macrophages qui internalisent les LDL peuvent mourir par apoptose; dans les lésions avancées, la mort de ces cellules crée des corps nécrotiques qui participent à entretenir l'environnement inflammatoire. S'il y a une rupture de la plaque, il peut y avoir la formation de thrombose ou d'une embolie qui peut compromettre l'arrivée d'oxygène à des organes importants tels que le cœur ou le cerveau. Il survient alors des complications médicales tels qu'un l'infarctus du myocarde ou un accident vasculaire cérébral.

Un facteur de risque est défini comme une condition associée à une augmentation de l'incidence de la maladie avec un lien supposé causal.

V.6.3. Forme chimique et absorption de la vitamine E

Le terme "vitamine E" recouvre huit formes différentes de la vitamine, produites uniquement par les plantes et dont les structures chromanol similaires : le tocophérol triméthyle (α -), diméthyle (β - ou γ -) et monométhyle (δ -), et les tocotriénols correspondants (T3). Les T3 ont une chaîne latérale insaturée, alors que les tocophérols contiennent une queue phytyle saturée (Figure 17).

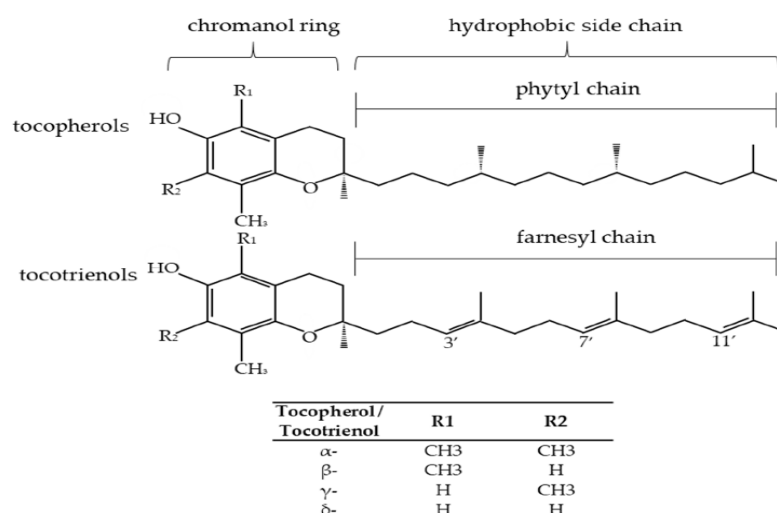


Figure 17 : Structures des tocophérols, des tocotriénols (Szewczyk et al., 2021)

La vitamine E disponible dans le commerce consiste en un mélange de tocophérols et de tocotriénols, qui se compose des huit stéréo-isomères possibles en quantités égales, ou de leurs esters. La forme ester empêche l'oxydation de la vitamine E et prolonge sa durée de vie. À l'exception des personnes souffrant de syndromes de malabsorption, ces esters sont facilement hydrolysés dans l'intestin et sont absorbés sous la forme non estérifiée. Les sources naturelles de vitamine E sont les huiles végétales : L'huile de graines de carthame, l'huile de soja, et l'huile de palme.

La biodisponibilité des différentes formes de vitamine E est très variable. Une fois ingérées, toutes les formes de vitamine E sont absorbées par les cellules intestinales et libérées dans la circulation dans les chylomicrons (Figure 18).

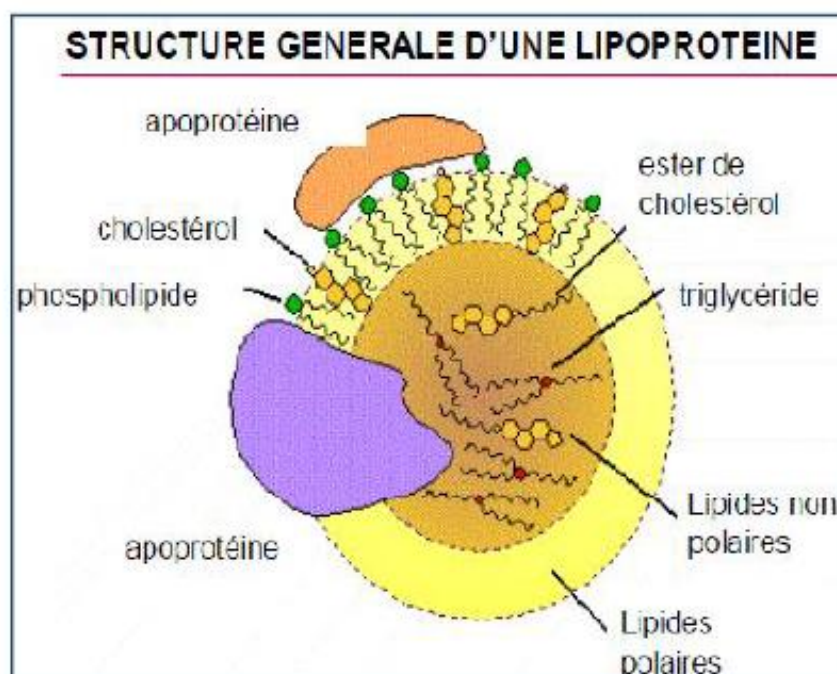


Figure 18 : Structure d'une lipoprotéine (Nachi, 2021)

- Lipoprotéine selon la densité (en fonction de la taille) :

Les chylomicrons

VLDL : Very Low Density Proteins, Lipoprotéines de très basse densité

IDL : Intermediate Density Proteins, Lipoprotéines de densité intermédiaire

LDL : Low Density Proteins, Lipoprotéines de basse densité

HDL : High Density Proteins, Lipoprotéines de haute densité

- Lipoprotéines selon les principales classes de lipides portées :

Chylomicrons : Triglycérides exogènes (en périodes post prandiales)

VLDL : Triglycérides Endogènes

LDL : Cholestérol (vers les cellules)

HDL : Phospholipides + cholesterol (vers le foie)

Les vitamines atteignent le foie par l'intermédiaire des restes de chylomicrons. Dans le foie, une protéine spécifique, la protéine de transfert de l' α -tocophérol (α -TTP), cible sélectivement la RRR-AT (An evaluation of natural (RRR-alpha-tocopheryl acetate) pour l'incorporer dans les lipoprotéines de très faible densité (VLDL : transportent les triglycérides principalement vers les muscles). D'autres formes sont beaucoup moins bien retenues et sont excrétées par la bile, l'urine (sous forme de carboxyéthylhydroxychromanes) ou par des voies inconnues. Les affinités relatives des analogues du tocophérol pour l' α -TTP, calculées à partir du degré de compétition pour la forme α , sont les suivantes : α -tocophérol, 100% ; β -tocophérol, 38% ; γ -tocophérol, 9% ; δ -tocophérol, 2%.

L'augmentation du stress oxydatif basal et de l'état inflammatoire chez les souris α -TTP-nulles, ainsi qu'une sévérité accrue de l'athérosclérose a été constaté. Des études *in vitro* démontrent les propriétés antioxydantes supérieures de l'AT dans la prévention de la peroxydation des lipides LDL en raison de sa solubilité dans les lipides et de son incorporation préférentielle dans les lipoprotéines. Dans l'ensemble, l'AT est le principal et le plus puissant antioxydant soluble dans les lipides dans le plasma et les LDL. L'AT est présent dans les particules de LDL en quantités (5-9 molécules/particule de LDL) qui peuvent être facilement modifiées par l'apport alimentaire ou une supplémentation orale. Plusieurs sources de données confirment l'existence d'une relation entre de faibles niveaux d'AT et le développement de l'athérosclérose. Par conséquent, les micronutriments alimentaires, en particulier ceux qui ont des propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes (par exemple, l'AT) ont des effets bénéfiques potentiels en ce qui concerne les maladies cardiovasculaires.

V.6.4. Une supplémentation en α -tocophérol chez l'homme

Plusieurs études ont montré que la supplémentation en AT diminue l'oxydation des LDL initiée par le cuivre *in vitro* ou par des cellules en culture. De même une augmentation de l'AT des LDL *in vitro* peut prolonger la phase de latence de l'oxydation.

Des études sur des êtres humaines ont montré qu'une :

- supplémentation en AT peut réduire la susceptibilité des LDL à l'oxydation. La dose minimale d'AT nécessaire pour obtenir un effet bénéfique sur les LDL est de 400 UI/j. Chez l'homme, une

supplémentation en AT (100–600 mg/j pendant deux semaines) a été démontré qu'il abaisse les isoprostanes F2 urinaires (biomarqueur du stress oxydatif) de 34 % à 36 % dans l'hypercholestérolémie sujets et chez les personnes diabétiques.

- Une supplémentation d'adultes en bonne santé avec 400 UI/j de RRR-AT pendant huit semaines entraînait une baisse des niveaux de F2-isoprostanes urinaires.
- D'autres études ont suggéré un effet pro-oxydant de la vitamine E (400 UI) chez les fumeurs de cigarettes consommant un régime riche (20%) en graisses polyinsaturées. Ces données suggèrent que la vitamine E peut fonctionner comme un prooxydant chez les fumeurs de cigarettes qui consomment un régime alimentaire riche en AGPI qui dépasse de loin le régime alimentaire américain normal.

IV. Conclusions

Souvent, les aliments fonctionnels sont plus chers que les autres et un régime sain équilibré permet d'obtenir les mêmes ingrédients bénéfiques à moindre coût et de façon plus naturelle. Par exemple, une boisson aux fruits fortifiée au calcium coûte beaucoup plus cher qu'un verre de lait contenant le minéral à l'état naturel.

Néanmoins, les aliments fonctionnels ont toutes les chances de plaire parce qu'ils correspondent au mode de vie actuel. Certains sont le résultat de véritables recherches et offrent des ingrédients nouveaux qui peuvent avoir plus rapidement des effets bénéfiques pour la santé que la seule consommation normale d'aliments sains traditionnels.

Un bon état de santé est étroitement lié à un mode de vie sain. Le principal message à adresser au consommateur devrait être d'avoir un régime alimentaire équilibré. Des aliments fonctionnels, preuves scientifiques sérieuses à l'appui, pris dans le cadre d'un tel régime, pourraient avoir un effet bénéfique supplémentaire pour la santé et le bien-être des consommateurs et contribuer à réduire le risque de maladie. Il ne faut toutefois en aucune manière voir dans les aliments fonctionnels une solution magique aux problèmes de santé et à la prévention de la maladie.

A

- Ali, I.B.E.H., Chaouachi, M., Bahri, R., Chaieb, I., Boussaïd, M., Harzallah-Skhiri, F. (2015). Chemical composition and antioxidant, antibacterial, allelopathic and insecticidal activities of essential oil of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. Industrial crops and products, 77, 631-639. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.046>
- Abeyrathne, E.D.N.S., Nam, K., Huang, X., Ahn, D.U. (2022). Plant-and animal-based antioxidants' structure, efficacy, mechanisms, and applications: A review. Antioxidants, 11(5), 1025. <https://doi.org/10.3390/antiox11051025>
- AFSSA. (2003, juin). Rapport du groupe de travail « Alimentation infantile et modification de la flore intestinale. 40 p.
- Afonso, V., Champy, R., Mitrovic, D., Collin, P & Lomri, A. (2007). Radicaux libres dérivés de l'oxygène et superoxydes dismutases : rôle dans les maladies rhumatismales. Revue du Rhumatisme. 74 : 636–643.
- Atia, A. (2016). Développement d'une matrice prébiotique pour l'encapsulation des probiotiques bactériocinogènes, destinée à l'alimentation animale : De la physicochimie à la biopharmacie. Thèse de doctorat (Ph.D.), Sciences et technologie des aliments, Québec, Canada. 219 p.
- Aurousseau, B., Durand, D & Gruffat, D. (2004). Contrôle des phénomènes Oxydatifs pendant la gestation chez les monogastriques et les ruminants. INRA Prod., 5, 339-354.

B

- Barouki, R. (2006). Stress oxydant et vieillissement. Médecine/Sciences, 22(3), 266–272. <https://doi.org/10.1051/medsci/2006223266>
- Bélangier, A. (2007). Le corps standardisé : La minceur et l'influence de l'environnement social sur les stratégies de perte de poids chez les adolescentes. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 119 p.
- Belleville, M.-P., & Vaillant, F. (2016). Membrane technology for production of nutraceuticals. In C. Shi (Ed.), Functional food ingredients and nutraceuticals: Processing technologies (pp. 217–234). CRC Press.
- Ben, M. A. (2018). Impact des fibres alimentaires et des acides gras à chaîne courte sur le dialogue tube digestif, foie et tissus périphériques, dans le cadre d'une surnutrition. Thèse de doctorat. Université Clermont Auvergne. 261 p.
- Ben Tekaya I., belgaïed S., el Atrache A., Hassouna M., (2007), Etude du conditionnement de l'huile d'olive dans les emballages plastiques. Revue sciences des aliments, 27(3), 214-233.
- Berdahl, D.R., Nahas, R.I., Barren, J.P. (2010). Synthetic and natural antioxidant additives in food stabilization: current applications and future research. Oxidation in foods and beverages and antioxidant applications, 272-320.

<https://doi.org/10.1533/9780857090447.2.272>

Berset, C. (2006). Antioxydants phénoliques-structure, propriétés, sources végétales. **In** : Les polyphénols en agroalimentaire. Paris : Lavoisier TEC & DOC. Pp. 265-290.

Borg, J & Reeber A. (2004). Le stress oxydant. **In** : Biochimie métabolique. Ellipses, Paris, pp. 217-228.

Bouhadja, K. (2011). Etude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge. Thèse de doctorat en Chimie de l'environnement. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou. 96 p.

Bouyahya, A. (2016). Alicaments : des aliments aux médicaments, quel apport pour la santé ? Annales des Sciences de la Santé, 1(4), 1-3.

Bourre, J.M. (2005). Enrichissement de l'alimentation des animaux avec les acides gras ω -3 : Impact sur la valeur nutritionnelle de leurs produits pour l'homme. M/S : Médecine Sciences, 21(8-9), 773-779. <https://id.erudit.org/iderudit/011462ar>

Buljeta, I., Šubarić, D., Babić, J., Pichler, A., Šimunović, J., & Kopjar, M. (2023). Extraction of dietary fibers from plant-based industry waste: A comprehensive review. Applied Sciences, 13(16), 9309. <https://doi.org/10.3390/app13169309>

Burgain, J., Scher, J., & Gaiani, C. (2016). Microencapsulation de bactéries probiotiques (Réf. F3800 V1). Techniques de l'Ingénieur. 1-9.

C

Cheung, P. C. K., & Mehta, B. M. (Eds.). (2015). Handbook of food chemistry. Springer. 1175 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36605-5>

Champ, M. (2014). Les fibres, c'est bien plus qu'une question de transit. Centre de Recherche en Nutrition Humaine Ouest, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). 6 p.

Champ, M. (2002). Les fibres alimentaires : définitions, méthodes de dosage, allégations nutritionnelles. Rapport du Comité d'experts spécialisé Nutrition humaine du 24 septembre 2002. Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA). 62 p.

Cillard, J., & Cillard, P. (2006). Mécanismes de la peroxydation lipidique et des anti-oxydations. Oleagineux, corps gras, lipides, 13(1), 24-29. <https://doi.org/10.1051/ocl.2006.6666>

Cuvelier, C., Dotreppe, O., Istasse, L. (2003). Chimie, sources alimentaires et dosage de la vitamine E. Annales de Médecine Vétérinaire, 147, 315-324.

Cuvelier, M.E., & Maillard, M.N. (2012). Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. OCL, 19(2), 125-132. <https://doi.org/10.1051/ocl.2013.0511>

D

Delattre, J., Durand, G & Jardillier, J. (2003). Radicaux libres et antioxydants. **In** : Biochimie pathologique : aspects moléculaire et cellulaire ; De la biologie à la clinique. Flammarion, France, pp. 59-81.

Derbré, S. (2010). Médicaments, compléments alimentaires, alicaments ou nutraceutiques, comment y voir clair ?. *Actualités Pharmaceutiques*, 49(496), 14-19.

De Torres, A., Espínola, F., Moya, M., Alcalá, S.M., Vidal, A., & Castro, E. (2018). Assessment of phenolic compounds in virgin olive oil by response surface methodology with particular focus on flavonoids and lignans. *LWT - Food Science and Technology*, 90, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.003>

Denisov, E.T., Afanas'ev, I.B. (2005). *Oxidation and Antioxidants in Organic Chemistry*. London, New York, Singapore. Taylor & Francis Group. 981 p.

E

Evrard, J., Pagès-Xatart-Parès, X., Argenson, C., & Morin, O. (2007). Procédés d'obtention et compositions nutritionnelles des huiles de tournesol, olive et colza. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 42, 13–23. [https://doi.org/10.1016/S0007-9960\(07\)91235-3](https://doi.org/10.1016/S0007-9960(07)91235-3)

F

Favier, A. (2003). Le stress oxydant : intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique : L'actualité chimique. 108-115. 1

G

Gharby, S., Oubannin, S., Ait Bouzid, H., Bijla, L., Ibourki, M., Gagour, J., Koubachi, J., Sakar, E. H., Majourhat, K., Lee, L.-H., Harhar, H., & Bouyahya, A. (2024). An overview on the use of extracts from medicinal and aromatic plants to improve nutritional value and oxidative stability of vegetable oils. *Molecules*, 29(7), 1605. <https://doi.org/10.3390/foods11203258>

Ghisolfi J., Bocquet, A., Bresson, J.-L., Briend, A., Chouraqui, J.-P., Darmaun, D., Dupont, C., Frelut, M. L., Girardet, J.-P., Goulet, O., Hankard, R., Rieu, D., Siméoni, U., Turck, D., & Vidailhet, M. (2013). Les aliments industriels (hors laits et céréales) destinés aux nourrissons et enfants en bas âge : un progrès diététique ? *Archives de Pédiatrie*, 20 (5), 523–532. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2013.02.072>

Giannakourou, M.C., & Taoukis P.S. (2021). Taoukis Effect of alternative preservation steps and storage on vitamin C stability in fruit and vegetable products: critical review and kinetic modelling approaches. *Foods*. 10, 2630. <https://doi.org/10.3390/foods10112630>

Goyal, S. K., Samsher, & Goyal, R. K. (2010). Stevia (*Stevia rebaudiana*) a bio-sweetener: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61(1), 1–10. <https://doi.org/10.3109/09637480903193049>

Gómez-Alonso, S., Mancebo-Campos, V., Salvador, M.D., & Fregapane, G. (2007). Evolution of major and minor components and oxidation indices of virgin olive oil during 21 months storage at room temperature. *Food Chemistry*, 100 (1), 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.006>

Gutiérrez-del-Río, I., López-Ibáñez, S., Magadán-Corpas, P., Fernández-Calleja, L., Pérez-

Valero, Á., Tuñón-Granda, M., Miguélez, E.M., Villar, C.J., Lombó, F. (2021). Terpenoids and polyphenols as natural antioxidant agents in food preservation. *Antioxidants*, 10(8), 1264. <https://doi.org/10.3390/antiox10081264>

H

Haddam, M., Chimi, H., Amine, A. (2014). Formulation d'une huile d'olive de bonne qualité. *OCL*, 21(5), D507. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013064>

Hadi, M. (2004). La quircétine et ses dérivés : molécules à caractère pro-oxydant ou capteurs de radicaux libres; études et applications thérapeutiques. Thèse de Doctorat en Science. Université Louis Pasteur. 268 p.

Hansel, B., & Bruckert, E. (2006). Stanols, stérols et cholestérol : que répondre aux patients ? *Réalités Cardiologiques*, N° 217, Cahier 1, 1–3.

Hilttenbrand, V. 1999. Place de la peroxydation lipidique dans les effets délétères des UV-A : mise en évidence des haptènes amino-imino-propene. Intérêts potentiels des antioxydants lipophiles en cosmétologie. Thèse de Doctorat en pharmacie. Université Joseph Fourier, Faculté de pharmacie de Grenoble. 122 p.

Houée-Levin, C., Sicard-Roselli, C., Bergès, J. (2005). Chimie et Biochimie radicalaires. Paris : Belin. 156 p.

J

Januel, C. (2003). Stress oxydant au niveau des plaquettes sanguines humaines dans le contexte du diabète : étude de glutathion et de glutathion peroxydase. 03: 1-200.

K

Kouakou, N. D. V., Koffi, K. F., Angbo-Kouakou, C. E. M., Koné, G. A., Kouassi, G. F., Amoikon, K. E., & Kouba, M. (2018). Enrichissement en acides gras polyinsaturés oméga-3 du jaune d'œuf de cailles (*Coturnix coturnix japonica*) par les graines d'euphorbe (*Euphorbia heterophylla*). *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 70(3), 99–103. <https://doi.org/10.19182/remvt.31523>

L

Lankanayaka, A., Lakshan, N.D., Jayathunge, L., Bandara, P., Manatunga, D.C., Senanayake, C. M. (2025). A review of sustainable strategies for encapsulating antioxidant-rich plant polyphenolic extracts using nanoemulsification to enhance the oxidative stability of edible oils. *Discover Food*, 5(1), 65. <https://doi.org/10.1111/are.14732>

Léger, C.L. (2006). Anti-oxydants d'origine alimentaire : diversité, modes d'action anti-oxydante, interactions. *OCL*, 13(1), 59-69. <https://doi.org/10.1051/ocl.2006.0059>

Levesque, E. (2006). Oligo-éléments et Stress Oxydant. *Alimentation & Santé*. p: 1-5.

Leverve, X. (2006). Stress oxydant et régulation de la glycémie : implications pour le syndrome métabolique. *Obes*, 1, 11–15.

M

- Charlotte Malbezin. (2017). Place des probiotiques dans la prise en charge de pathologies humaines. Thèse de doctorat en pharmacie. Université de Picardie Jules Verne. 101 p.
- Marfak, A. (2003). Radiolyse gamma des flavonoïdes : étude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools. Thèse de Doctorat en Biophysique. Université De Limoge. 199 p.
- Marc, F., Davin, A., Deglene-Benbrahim, L., Ferrand, C., Baccaunaud, M., Fritsch, P. (2004). Méthodes d'évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments. *Médecine/Sciences*, 20(4),458–463. <https://doi.org/10.1051/medsci/2004204458>
- Ministry of Health, Labour and Welfare. (2025). Food for Specified Health Uses (FOSHU). Consulté le 10 octobre 2025 sur le site du ministère japonais de la Santé, du Travail et du Bien-être social. 1-2.
- Milisav, I., Ribarič, S., Poljsak, B. (2018). Antioxidant vitamins and ageing. *Biochemistry and cell biology of ageing: Part I biomedical science*, 1-23. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2835-0_1

N

- Nachi, M. A. (2021). Métabolisme des lipoprotéines. Faculté de médecine, Université d'Oran. 1-11.
- Nazir, A., Khan, K., Maan, A. A., Zia, R., Giorno, L., & Schroën, K. (2019). Membrane separation technology for the recovery of nutraceuticals from food industrial streams. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 426–438. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.049>
- Niki, E. (2021). Lipid oxidation that is, and is not, inhibited by vitamin E: Consideration about physiological functions of vitamin E. *Free Radical Biology and Medicine*, 176, 1-15.

P

- Padilla, M., Hamimaz, R., El Dahr, H., Zurayk, R., & Moubarak, F. (2006). Le développement des produits protégeant la santé et l'environnement en Méditerranée. Les notes d'analyse du CIHEAM, N° 5, 1-21.
- Pehlivan, F.E. (2017). Vitamin C: An antioxidant agent. *Vitamin C*, 2, 23-35. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69660>
- Piquepaille, C. (2013). Place des probiotiques dans le traitement de diverses pathologies intestinales. Thèse d'exercice de doctorat en pharmacie. Université de Limoges. 183 p.

Q

- Quan, T.H., Benjakul, S., Sae-leaw, T., Balange, A.K., Maqsood, S. (2019). Protein–polyphenol conjugates: Antioxidant property, functionalities and their applications. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 507-517. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.049>

R

- Reische, D.W., Lillard, D.A., Eitenmiller, R.R. 2008. Antioxidants. **In** : Food lipids :Chemistry, Nutrition, and Biotechnology. 3rd ed. Boca Raton, London, New York : CRC Press.p. 422.
- Retsky, K. L., Chen, K., Zeind, J., Frei, B. (1999). Inhibition of copper-induced LDL oxidation by vitamin C is associated with decreased copper-binding to LDL and 2-oxo-histidine formation. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(1–2), 90–98. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00151-8](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00151-8)
- Ribeiro, D., Freitas, M., Silva, A. M., Carvalho, F., & Fernandes, E. (2018). Antioxidant and pro-oxidant activities of carotenoids and their oxidation products. *Food and Chemical Toxicology*, 120, 681-699. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.060>
- Rietjens, I.M., Boersma, M.G., de Haan, L., Spenkelink, B., Awad, H.M., Cnubben, N.H., van Zanden, J.J., van der Woude, H., Alink, G.M., & Koeman, J.H. (2002). The pro-oxidant chemistry of the natural antioxidants vitamin C, vitamin E, carotenoids and flavonoids. *Environmental toxicology and pharmacology*, 11(3-4), 321-333. [https://doi.org/10.1016/s1382-6689\(02\)00003-0](https://doi.org/10.1016/s1382-6689(02)00003-0)
- Rodriguez-Amaya, D.B. (2015). Nomenclature, structures, and physical and chemical properties **In** : Food Carotenoids Chemistry, Biology, and Technology. United kingdom. John Wiley & Sons, Ltd. P1-23.
- Rolland, Y. (2004). Antioxydants naturels végétaux. Oléagineux, Corps Gras, Lipides, 11(6), 419–424. <https://doi.org/10.1051/ocl.2004.0419>

S

- Shahidi, F., Ambigaipalan, P., & (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of functional foods*, 18, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Sharma, I., Khare, N., & Rai, A. (2024). Carotenoids: Sources, bioavailability and their role in human nutrition. **In**: Dietary Carotenoids-Sources, Properties, and Role in Human Health. *Intech Open*. 33 p. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.113012>
- Serfaty-Lacrosnière, C., Nigon, F., Chauvois, D., Neveu, C., Chapman, M. J., & Bruckert, E. (2001). Les phytostérols : une nouvelle approche dans la prise en charge diététique de l'hypercholestérolémie. *Le Courrier de l'Arco et de la SFA*, 3(1), 33-38.
- Strathmann, H. (2010). Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. *Desalination*, 264(3), 268–288. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.069>
- Szewczyk, K., Chojnacka, A., & Górnicka, M. (2021). Tocopherols and tocotrienols—Bioactive dietary compounds; What is certain, what is doubt? *International Journal of Molecular Sciences*, 22(12), 6222. <https://doi.org/10.3390/ijms22126222>

U

Ugidos-Rodríguez, S., Matallana-González, M. C., & Sánchez-Mata, M. C. (2018). Lactose malabsorption and intolerance: A review. *Food & Function*, 9(8), 4056–4068. <https://doi.org/10.1039/C8FO00555a>

Unlu, N. (2016). Surpoids, régimes amaigrissants et produits minceur : évaluations, mises en garde et conseils du pharmacien d'officine. Thèse de doctorat en sciences pharmaceutiques. Université de Lorraine. <https://hal.science/hal-01733183>.

V

Valko, M., Rhodes, C.J.B., Moncol, J., Izakovic, M.M., & Mazur, M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160(1), 1–40. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2005.12.009>

Vichnevetskaia, K.D., Roy, & D.N. (1999). Oxidative stress and antioxidative defense with an emphasis on plants antioxidants. *Environmental Reviews*, 7(1), 31–51. <https://doi.org/10.1139/a99-004>

Y

Yehye, W.A., Rahman, N.A., Ariffin, A., Abd Hamid, S.B., Alhadi, A.A., Kadir, F.A., Yaeghoobi, M. (2015). Understanding the chemistry behind the antioxidant activities of butylated hydroxytoluene (BHT): A review. *European journal of medicinal chemistry*, 101, 295-312. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.06.026>

Z

Zhang, Q.-W., Lin, L.-G., & Ye, W.-C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: A comprehensive review. *Chinese Medicine*, 13(20), 1-26. <https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x>