

## FICHE 3

# Les nutraceutiques et les aliments fonctionnels: L'alimentation au-delà de la nutrition

Stéphane Salmieri, Agent de recherche

Monique Lacroix, Professeure titulaire

INRS – Centre Armand-Frappier Santé Biotechnologie

Février 2023 (Mise à jour: Août 2023)

## SOMMAIRE

<b>1. Introduction</b> .....	3
<i>Définitions – Produit nutraceutique vs Aliment fonctionnel</i> .....	3
<b>2. Fonctions nutraceutiques des molécules actives et des bactéries probiotiques</b> .....	4
<i>Caroténoïdes</i> .....	5
<i>Fibres alimentaires</i> .....	6
<i>Composés phénoliques</i> .....	8
<i>Autres composés organiques naturels à caractère nutraceutique</i> .....	9
<i>Vitamines</i> .....	10
<i>Acides gras</i> .....	10
<i>Métabolisme des acides gras</i> .....	10
<i>Aspect nutraceutique des acides gras mono- et polyinsaturés</i> .....	11
<i>Protéines et peptides</i> .....	11
<i>Probiotiques</i> .....	12
<i>Immunité et microbiote intestinal</i> .....	12
<i>Action des bactéries probiotiques</i> .....	12
<b>3. Aliments fonctionnels</b> .....	14
<i>Classification d'aliments fonctionnels</i> .....	14
<b>4. Défis réglementaires</b> .....	16
<i>Produits nutraceutiques: État de la situation par rapport au Règlement sur les PSN</i> .....	16

<i>Aliments fonctionnels: État de la situation par rapport à la Loi et Règlement sur les aliments et drogues</i>	17
<i>Questions déterminantes pour satisfaire aux normes</i>	17
<b>5. Marché des nutraceutiques et enjeux industriels</b>	18
<b>6. Technologies émergentes d'extraction des ingrédients fonctionnels – Notion de biodisponibilité et de stabilité</b>	20
<i>Technologies non thermiques</i>	20
<i>Biodisponibilité des molécules actives</i>	20
<i>Microencapsulation des ingrédients actifs</i>	21
<b>7. Conclusion</b>	21
<b>Références</b>	22
<b>Pour en savoir plus</b>	28
<b>Qui sommes-nous – Les membres du groupe INRS-PROX</b>	31
<b>Remerciements</b>	32

## 1. Introduction

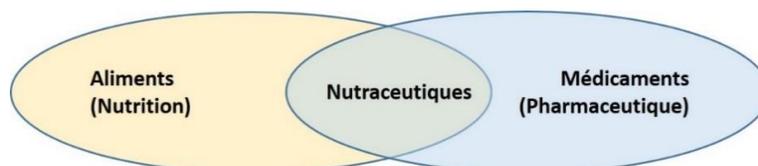
Depuis plusieurs années, les consommateurs ont de plus en plus conscience du lien qui existe entre leur santé et leur alimentation. Ils optent davantage pour des produits naturels, dans le but de prévenir certains risques de maladie ou pour se garder en santé. Certains facteurs tels que le vieillissement de la population, l'augmentation du coût des soins médicaux et les progrès obtenus en R&D expliquent ce phénomène (Granato et al., 2020; MDEIE, 2010). Face à des maladies telles que les maladies cardiovasculaires ou le cancer —fléau du 20<sup>e</sup> siècle qui constitue la principale cause de mortalité au Canada, les cibles thérapeutiques se tournent depuis environ 30 ans vers la prévention plutôt que le dépistage ou les techniques de guérison (Société canadienne du cancer, 2022). C'est pour cette raison que le principe de saines habitudes de vie occupe maintenant une place importante dans la prévention de cette maladie. Il a notamment été rapporté que le régime alimentaire est associé à près de 70% de l'incidence du cancer colorectal (Fortin et al., 2018). Par ailleurs, l'American Institute for Cancer Research (AICR) et le Fonds mondial de recherche contre le cancer (FMRC) estiment que 30 à 40 % de tous les cancers peuvent être évités par l'intermédiaire d'une alimentation appropriée, une activité physique et un maintien de poids corporel adéquat (Haskins et al., 2020). Ce principe de saines habitudes a également un impact sur d'autres maladies telles que le diabète et les maladies cardiovasculaires (Oualid et Oucherif, 2021; Birch et Bonwick, 2019).

Dans ce contexte, la consommation d'aliments ayant des constituants qui possèdent un effet bénéfique sur la santé —ou encore la consommation du constituant naturel lui-même purifié— présente une avenue intéressante et prometteuse dans la prévention des désordres immunitaires et des maladies graves recensées ces dernières années (Galanakis, 2021; Plasek et Temesi, 2019). À ce titre, **les aliments fonctionnels** et **les produits nutraceutiques** font actuellement partie des choix de nombreuses personnes dans les pays développés, en raison de leur efficacité en tant que "médicaments naturels" dans le traitement ou la prévention de nombreuses maladies (Casas Mesa et al., 2023; Gupta et al., 2023; Granato et al., 2020). Cette constatation n'est pas nouvelle: pendant des siècles, les êtres humains ont attribué un rôle proprement fonctionnel aux aliments en matière de santé; ce qui est relativement nouveau, ce sont les preuves scientifiques et la terminologie qui en découlent (Komala et al., 2023).

Cette fiche fait un rapide survol des composés nutraceutiques et des aliments fonctionnels qui sont actuellement sur le marché de l'alimentation, les principales fonctions associés à ces produits ainsi que les enjeux réglementaires reliés à leurs allégations.

### **Définitions – Produit nutraceutique vs Aliment fonctionnel**

Le terme "**nutraceutique**" a été inventé à partir des mots "nutrition" et "pharmaceutique" (**Fig. 1**) en 1989 par Stephen DeFelice, fondateur et président de la *Foundation for Innovation in Medicine* (FIM). Il a ainsi défini les nutraceutiques comme une partie d'un aliment offrant des avantages médicaux ou de santé, y compris le traitement et/ou la prévention d'une maladie (Banan-Mwine Daliri et Lee, 2015).



**Figure 1** – Nutraceutiques: un mélange de nutrition et de pharmaceutique (d'après Banan-Mwine Daliri et Lee, 2015).

- **PSN (ou produit nutraceutique).** Selon Santé Canada (2023a), les **PSN** comprennent les probiotiques, les plantes médicinales, les vitamines et minéraux, les remèdes homéopathiques, les remèdes traditionnels d'autres produits tels que les acides aminés, les acides gras essentiels, etc. Auparavant, un **produit nutraceutique** était défini comme étant fabriqué à partir d'aliments, mais vendu sous forme de pilules ou de poudres, potion ou sous d'autres formes médicinales qui ne sont pas généralement associées à des aliments et qui s'avère avoir un effet physiologique bénéfique ou assure une protection contre les maladies chroniques (Santé Canada, 1998). De nos jours, certains produits végétaux, comme les extraits de plantes, les teintures mères et les huiles essentielles sont également parfois considérés comme des PSN (AQTN, 2023).
- **Aliment fonctionnel.** Selon Santé Canada (1998), un **aliment fonctionnel** est semblable en apparence aux aliments conventionnels, il fait partie de l'alimentation normale et il procure des bienfaits physiologiques démontrés et/ou réduit le risque de maladie chronique au-delà des fonctions nutritionnelles de base.

Les aliments fonctionnels dérivent des nutraceutiques en ce sens que ce sont des aliments ordinaires qui comportent des ingrédients actifs et qui présentent donc des avantages physiologiques dépassant leurs fonctions nutritionnelles. Ils peuvent être préparés :

- soit en ajoutant directement des ingrédients actifs à l'aliment de base comme des muffins renfermant des  $\beta$ -glucanes, des saucisses renfermant des caroténoïdes, du pain contenant des champignons riches en nutraceutiques, des aliments enrichis en fibres solubles (Birch et Bonwick, 2019; Alvado-Ramirez et al., 2018; Yuan et al., 2017);
- soit en utilisant des techniques de production spéciales, comme la sélection de végétaux, de fibres ou des diètes alimentaires spécialisées (ex : tomates renfermant un niveau élevé de lycopène, œufs oméga-3, etc.) (Augustin et Sanguansri, 2015; Granato et al., 2020).

## 2. Fonctions nutraceutiques des molécules actives et des bactéries probiotiques

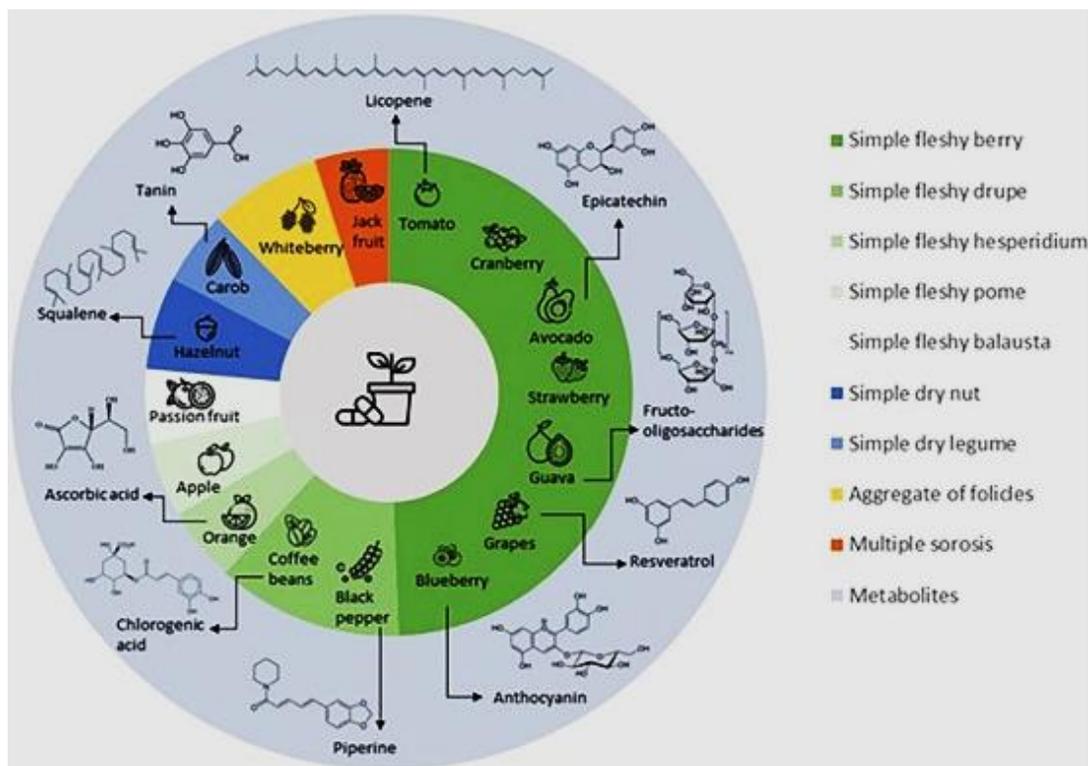
Dans notre vie quotidienne, des milliers de molécules agissent sur nos voies métaboliques de façon positive ou négative. Dans les aliments se trouvent des molécules que l'on qualifie de "bioactives" car elles ont des effets bénéfiques sur l'organisme. Plusieurs études ont démontré que ces molécules contribuent à maintenir ou renforcer les fonctions immunitaires. Le défi des chercheurs est d'identifier ces composés actifs et de déterminer leur mécanisme d'action pour comprendre comment ils améliorent la santé humaine (Kim et al., 2022; Varsha, 2022; Oualid et Oucherif, 2021; Ashaolou, 2020, Ashaolu, 2019; Birch et Bonwick, 2019; Fortin et al., 2018; Lacroix et Vu, 2016; Desrouillères et al., 2015 ; Vu et al., 2012).

Pour bien fonctionner, les cellules de notre organisme consomment de l'oxygène. Toutefois, certaines espèces réactives de l'oxygène (de l'anglais *Reactive Oxygen Species*; ROS) telles que les **radicaux libres**, les **ions oxygénés** et les **peroxydes** peuvent se former de manière exogène—sous l'effet de rayonnements ou de la chaleur— ou endogène—comme sous-produits du métabolisme normal de l'oxygène (Fortin et al., 2017; Caillet et al., 2012; Caillet et al., 2006). Les **ROS** sont particulièrement instables et peuvent engendrer des dommages cellulaires en réagissant avec différents constituants cellulaires, notamment le matériel génétique (ADN ou ARN), les protéines, les enzymes et les lipides. C'est ce qu'on appelle le phénomène de **stress oxydant**. Une modification dans l'ADN peut ainsi activer des oncogènes (et donc le cancer) alors

qu'une oxydation des lipides peut augmenter les risques de maladies cardiovasculaires (Gianazza et al., 2019; Shahidi, 2012).

En plus d'être produits par l'oxygène, les ROS peuvent également être générés par des substances étrangères potentiellement toxiques appelées **xénobiotiques**, auxquelles nous sommes constamment exposés. Une fois dans l'organisme, ces substances sont transformées par différentes enzymes hépatiques et causer des dommages cellulaires (Croom, 2012).

Les **antioxydants** sont des molécules ou groupes de molécules qui sont capables de piéger les ROS afin de prévenir ou éviter ces dommages. Les antioxydants peuvent agir en inhibant certaines enzymes hépatiques responsables de la biotransformation des xénobiotiques. Ils neutralisent également les radicaux libres —d'où leur dénomination de piègeurs de radicaux libres (de l'anglais *Free Radical Scavengers*; FRS)— pour empêcher toutes modifications génétiques à l'origine du développement de tumeurs (Harvard Medical School, 2019; Caillet et al., 2012). Au cours des dernières années, plusieurs classes d'antioxydants ont été identifiées comme bénéfiques pour l'organisme (Guiné et al., 2016). Un exemple de métabolites antioxydants qui peuvent être extraits à partir de fruits est représenté à la **Fig. 2**.



**Figure 2** – Représentation de catégories de fruits selon leur physiologie et exemples de métabolites qui peuvent être extraits à des fins nutraceutiques (d'après Casas Mesa et al., 2023).

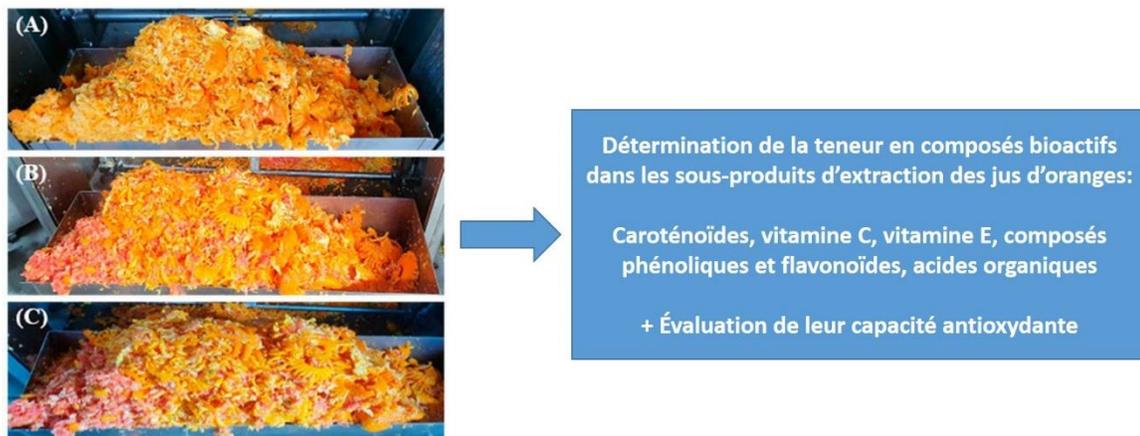
### **Caroténoïdes**

Les **caroténoïdes** regroupent les molécules des familles des carotènes et des xanthophylles, aussi appelés tétraterpénoïdes. Ces molécules phytochimiques sont des pigments jaunes ou oranges liposolubles (facilement assimilables). On retrouve un grand nombre de ces composés dans les plantes, les algues, les

champignons (levures et moisissures) et certaines bactéries. Les caroténoïdes les plus consommés sont le  $\beta$ -carotène, le lycopène, l'astaxanthine, la lutéine, et la zéaxanthine. Ces deux derniers se retrouvent dans la rétine de l'œil (Melendez-Martinez et al., 2021).

Les propriétés anti-cancer des caroténoïdes sont essentiellement dues à leur fort potentiel antioxydant, notamment celui à piéger les radicaux libres générés par les rayons UV. Les caroténoïdes peuvent également inhiber la prolifération de cellules cancéreuses. Plusieurs études ont également démontré un effet préventif de ces molécules contre les maladies cardiovasculaires, la dégénérescence maculaire et le développement de cataractes. Par ex., le lycopène présent dans la tomate est bien connu pour inhiber le développement du cancer de la prostate (Kulczynski et al., 2017). N'étant pas produits par l'organisme, les caroténoïdes doivent provenir de notre alimentation. Une fois ingérées, ces molécules hydrophobes doivent être transportées dans l'organisme grâce aux lipoprotéines.

Un exemple d'application commerciale de caroténoïdes est tiré de leur dosage dans les sous-produits d'extraction des jus d'agrumes. La **Fig. 3** illustre l'application potentielle —d'un point de vue économie circulaire— tirée d'une étude comparative d'extraction des caroténoïdes à partir de sous-produits (déchets) de différentes variétés d'oranges. L'étude a démontré que le procédé industriel d'extraction (pasteurisation, homogénéisation HP) avait un effet sur la teneur en caroténoïdes et les oranges à chair rouge contenaient 10 fois plus de caroténoïdes (principalement phytoène et phytofluène) que les oranges standards.



**Figure 3** – Valorisation de sous-produits d'extraction de jus d'oranges pour leur teneur en caroténoïdes et en vitamines. **A:** oranges Navel (standards); **B:** oranges Cara Cara (sanguines); **C:** oranges Kirkwood (sanguines).

En plus de leur fonction nutraceutique, les caroténoïdes sont utilisés dans l'industrie agroalimentaire pour leurs propriétés colorantes, et également dans les industries cosmétique et pharmaceutique pour leurs propriétés antioxydantes et leur capacité de photoprotection.

### **Fibres alimentaires**

Les **fibres alimentaires** sont des mélanges complexes de glucides qui proviennent exclusivement de végétaux. On retrouve ces molécules bioactives dans les céréales, les fruits et les légumes, les fruits secs,

(pruneaux, abricots secs). Elles ne peuvent pas être totalement décomposées par les enzymes digestives chez l'homme (Kendall et al., 2010). Elles peuvent être classées selon 2 catégories de facteurs cellulaires:

- **Polysaccharides pariétaux** (issus de la paroi cellulaire): cellulose, hémicellulose, pectines, lignine,  $\beta$ -glucanes, arabinoxylanes, fructo-oligosaccharides;
- **Polysaccharides cytoplasmiques**: gomme arabique, gomme de guar, agar-agar, alginate, carraghénanes, inuline;

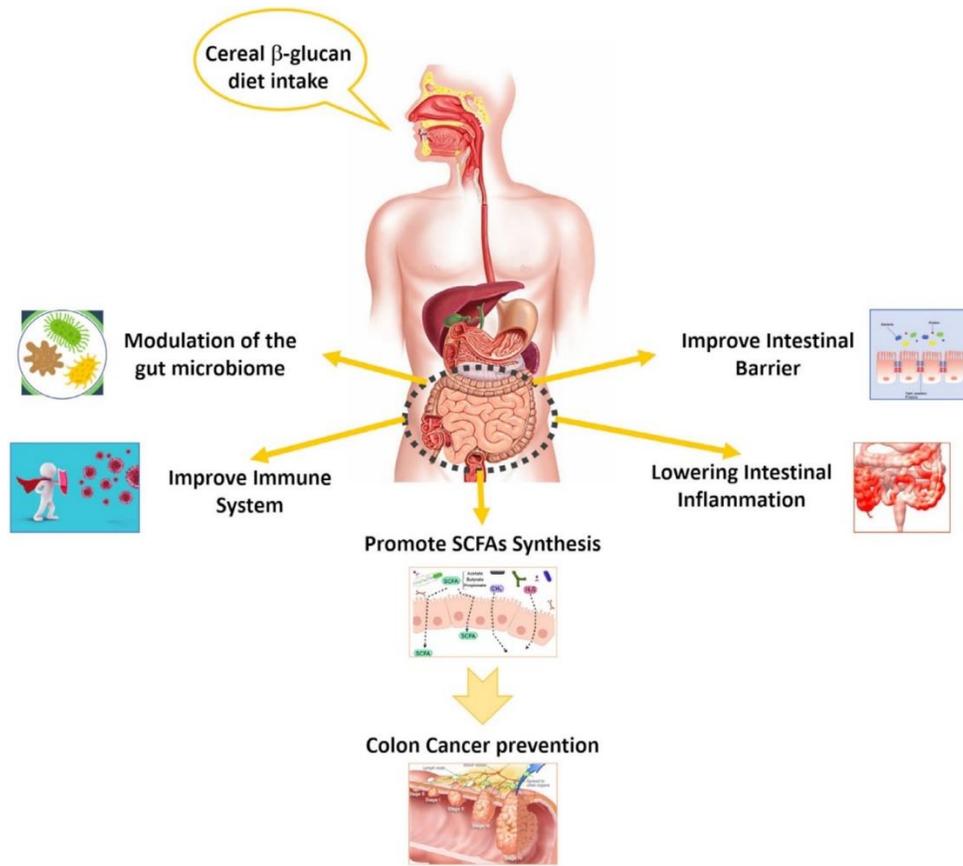
ou selon 2 autres catégories de facteurs de solubilité:

- **Fibres solubles** (forment un gel visqueux, facilement fermentées par les bactéries intestinales): appelées aussi fibres prébiotiques telles que pectines, gommages;
- **Fibres insolubles** (inertes par rapport aux enzymes digestives ; absorbeurs d'eau facilitant le transit intestinal): cellulose, hémicellulose, lignine.

Les fibres jouent donc un rôle important dans la digestion. En effet, les fibres insolubles génèrent un bol alimentaire de consistance plus ferme qui facilite le transit intestinal. Les fibres solubles, par leur viscosité, "gonflent" le bol alimentaire, permettant de ralentir la digestion de l'estomac à l'intestin et contrôlant ainsi le taux d'absorption du glucose (Bi et al., 2019; Nakashima et al., 2018; Naqash et al., 2017).

Plusieurs études démontrent que les fibres réduisent le taux de cholestérol LDL (*Low-Density Lipoproteins* associées au mauvais cholestérol) et de cholestérol total dans le sang, prévenant ainsi les maladies cardiovasculaires. Plusieurs mécanismes sont suggérés parmi lesquels les fibres ont la capacité de lier les sels biliaires. N'étant pas digérées ou absorbées, les fibres seraient éliminées en même temps que la bile, évitant leur retour à la circulation sanguine et diminuant ainsi les taux de cholestérol (Shoukat et Sorrentino, 2021; Fortin et al., 2018; Fortin et al., 2017; Kendall et al., 2010). Un autre bienfait des fibres est qu'en favorisant le transit intestinal, les agents mutagènes présents dans l'intestin y résident moins longtemps, ce qui diminue les risques d'affecter les muqueuses digestives. Enfin, les fibres solubles étant non digestibles, elles demeurent "intactes" dans le colon, où le microbiote intestinal peut les fermenter. Certains acides gras issus de cette fermentation auraient aussi des effets bénéfiques sur le métabolisme du cholestérol. Ils pourraient agir directement sur le métabolisme des LDL et favoriser l'excrétion de la bile en interférant avec la réabsorption des sels biliaires. Certaines études ont également démontré que ces acides gras pouvaient induire la mort cellulaire de cellules cancéreuses (Nakashima et al., 2018).

La **Fig. 4** illustre les avantages effets des  $\beta$ -glucanes des céréales sur l'intestin humain comme exemple de bienfaits des fibres. Les  $\beta$ -glucanes de céréales peuvent significativement augmenter l'efficacité du travail des différentes parties de l'intestin humain en produisant divers composés ayant des fonctions biologiques, tels que les acides gras à courte chaîne issus du processus de fermentation dans le gros intestin. Toutes ces propriétés fonctionnelles expliquent que les fibres alimentaires soient considérées comme des molécules bioactives —à caractère nutraceutique— et que les aliments qui en contiennent font partie des aliments fonctionnels.



**Figure 4** - Effet des  $\beta$ -glucanes de céréales sur la santé intestinale (d'après Shoukat et Sorrentino, 2021). SCFAs: "Short-Chain Fatty Acids" (acides gras à courte chaîne).

### **Composés phénoliques**

Les **composés phénoliques** comprennent un ensemble de molécules organiques très variées qui sont largement présentes dans le règne végétal (Munekata et al., 2023). Parmi les composés phénoliques, les **polyphénols** sont caractérisés par la présence d'au moins 2 groupes phénoliques associés en structures plus ou moins complexes (hauts poids moléculaires). Ces composés sont les produits du métabolisme secondaire des plantes. Les plus connus sont les **flavonoïdes**, qui constituent près de la moitié des composés phénoliques connus (Agrawal et al., 2023; Casas Mesa et al., 2023; Wink, 2022; Rodriguez et al., 2006). Les principales classes de composés phénoliques sont présentées au **Tableau 1**. La fiche à elle seule ne pourrait passer à travers toutes les structures et propriétés fonctionnelles de ces composés.

**Tableau 1.** Principales classes de composés phénoliques.

Classes de composés phénoliques	Exemples
Phénols simples	Catéchol, eugénol, carvacrol, thymol
Acides hydrobenzoïques	Acide gallique
Acides hydrocinnamiques, coumarines	Acide caféique, férulique
Naphtoquinones	Juglone

Stilbènes	Resvératrol
Flavonoïdes • Flavonols	Kaempférol, quercétine
• Anthocyanes	Cyanidine, pélargonidine
• Flavanols	Catéchine, épicatechine
• Flavanones	Naringénine
Isoflavonoïdes	Génistéine, daidzéine
Lignanes	Pinorésinol
Tannins	Proanthocyanidines

Les **flavonoïdes** ont des propriétés antioxydantes largement reconnues. Ces molécules bioactives peuvent également neutraliser des cofacteurs impliqués dans l'oxydation des lipides. La présence de flavonoïdes dans l'organisme est bénéfique à plusieurs niveaux: elle prévient l'activation de carcinogènes, favorise la détoxification des xénobiotiques, inhibe l'expression de gènes associés au cancer. L'expression des gènes est également modulée par les composés phénoliques tels que les **catéchines** qui font partie de la classe des **flavanols**. Le **gallate d'épigallocatechine (EGCG)** est le flavanol le plus important retrouvé dans le thé vert et le thé blanc. Les flavanols augmentent l'expression des récepteurs LDL, résultant en une diminution des LDL circulantes et donc du cholestérol sanguin (Casas Mesa et al., 2023; Rodriguez et al., 2006).

Les composés phénoliques comprennent également des **phytoestrogènes**, tels que les **isoflavones**, **lignanes** et **stilbènes**. La structure des phytoestrogènes est semblable à celle des hormones stéroïdiennes. Parmi les bienfaits de ces composés, notons l'inhibition de la prolifération des cellules cancéreuses hormono-dépendantes (Casas Mesa et al., 2023; Rodriguez et al., 2006).

**LE SAVIEZ-VOUS? PROPRIÉTÉS ANTIMICROBIENNES DES COMPOSÉS PHÉNOLIQUES.** En plus de leurs propriétés antioxydantes, la canneberge, les bleuets ou le raisin sont des bons exemples de l'activité antimicrobienne des composés phénoliques. Ces fruits contiennent des proanthocyanidines (appelés aussi tannins condensés qui sont des polymères de flavanols) qui préviennent l'adhérence de la bactérie pathogène *Escherichia coli* aux cellules du tractus urinaire, prévenant ainsi les infections (Lacroix et Vu, 2016 ; Caillet et al., 2012). Des études ont aussi démontré que les flavonoïdes pouvaient inhiber la production de cytokines anti-inflammatoires dans les macrophages (Al-Khayri et al., 2022).

### Autres composés organiques naturels à caractère nutraceutique

D'autres classes de composés organiques naturels présentant des propriétés antioxydantes ou antimicrobiennes sont présentées au **Tableau 2**.

**Tableau 2.** Autres composés organiques naturels ayant des propriétés antioxydantes.

Classes de composés	Exemples
Phytostérols et phytostanols	$\beta$ -sitostérol, stigmastérol, campésterol
Tocotriénols	$\gamma$ -Tocotriénol
Composés organosulfurés	Glucosinolates, isothiocyanate d'allyle

Fait intéressant, la structure des **phytostérols** et **phytostanols** s'apparente à la molécule de cholestérol. Ces composés peuvent empêcher l'absorption du cholestérol au niveau de l'intestin, induisant ainsi une baisse

de cholestérol sanguin (Granato et al., 2020). De la même manière, les **tocotriénols** (forme rare de vitamine E; homologues des tocophérols) sont reconnus pour diminuer les taux de cholestérol sanguin en empêchant le fonctionnement d'une enzyme nécessaire à sa synthèse et jouent un rôle important dans la protection des cellules du cerveau et dans la prévention de certains cancers. Les **composés organosulfurés** que l'on retrouve dans les crucifères, l'ail et l'oignon sont reconnus pour leur activité antimicrobienne et leurs effets hypocholestérolémiques et hypoglycémiques (Rodriguez et al., 2006). En particulier, il a été démontré que les composés organosulfurés contenu dans l'ail (allicine et dérivés de disulfure d'allyle) inhibent la croissance de la bactérie *Helicobacter pylori* (agent infectieux de la muqueuse gastrique) et réduisent ainsi les risques de cancer de l'estomac (Lee et al., 2021; Viskelis et al., 2009).

### **Vitamines**

Les **vitamines** sont des substances qui, en faibles doses (ordre du µg), sont essentielles aux activités métaboliques et peuvent agir comme cofacteurs de plusieurs enzymes. Elles sont reconnues pour moduler plusieurs aspects du processus inflammatoire (Wink, 2022). Une déficience en **vitamine A** peut mener à une baisse de production d'interféron et une baisse d'activité des macrophages. La **vitamine C** (ou acide ascorbique) joue un rôle dans la prévention de maladies cardiaques et constitue un puissant agent antioxydant et anti-inflammatoire. Des doses entre 150 et 200 mg par jour seraient suffisantes pour stimuler les fonctions immunitaires. Il est d'ailleurs souvent conseillé d'en prendre afin de réduire les symptômes associés à diverses infections virales (rhume ou grippe) (Morelli et al., 2020). Certaines études conduites sur des cellules cancéreuses de la prostate et des poumons ont montré que la **vitamine D** diminue l'expression des récepteurs de prostaglandines E2 qui sont pro-inflammatoires. Sans récepteurs, les prostaglandines E2 ne peuvent alors se lier et activer le mécanisme de réactions inflammatoires. La vitamine D pourrait aussi augmenter l'expression d'autres gènes anti-tumoraux en plus de ses effets anti-inflammatoires (Liu et al., 2014). La **vitamine E** est reconnue pour son potentiel antioxydant et semble également importante dans la différenciation des lymphocytes T cytotoxiques. Les personnes ayant une déficience en vitamine E ont une baisse d'activité des cellules NK et une baisse de production d'anticorps suite à la vaccination (Lewis et al., 2019).

**LE SAVIEZ-VOUS? PROPRIÉTÉS ANTIOXYDANTES DU SELENIUM.** Le sélénium est un oligo-élément antioxydant jouant un rôle clé dans plusieurs fonctions de protection de l'organisme, en particulier dans la lutte contre le stress oxydatif. Il fonctionne avec la vitamine E comme antioxydant. Le sélénium est aussi un micronutriment important. Cette molécule a été retrouvée en concentration significative dans de nombreux tissus, incluant le foie, la rate et les tissus lymphoïdes secondaires. Il active les cellules T cytotoxiques et les cellules NK. Le sélénium pourrait s'avérer important pour induire la mort de cellules anormales (Donaldson, 2004).

### **Acides gras**

**Métabolisme des acides gras.** Bien que les lipides aient mauvaise réputation, ils jouent un rôle important en contribuant au bon fonctionnement de l'organisme. Dans les aliments, les gras alimentaires sont principalement présents sous forme de triglycérides à longues chaînes. Ces chaînes d'acides gras peuvent être saturées ou insaturées. Les gras saturés sont associés à une augmentation du taux de mauvais cholestérol (LDL) dans le sang, et constituent ainsi un facteur de risque important de maladies du cœur et d'AVC (Granato et al., 2020). Le cholestérol, composé hydrophobe assimilé à une graisse, est également présent dans de nombreux aliments (produits laitiers, œufs, poisson, viandes, etc.). C'est un lipide essentiel

car il contribue à la stabilité des membranes cellulaires (bicouche lipidique), il intervient comme précurseur de certaines hormones (progestérone, œstrogènes, testostérone, etc.) et d'autres molécules (vitamine D<sub>3</sub>, hème A, coenzyme Q<sub>10</sub>, sels biliaires) (ProActiv, 2022).

Il existe 2 types principaux de lipoprotéines qui attirent l'attention des médecins et des nutritionnistes : les **LDL** (*low density lipoproteins*) et les **HDL** (*high density lipoproteins*). Les LDL assurent le transport vers les tissus alors que les HDL assurent le retour au foie des graisses en excès pour qu'elles soient éliminées ou réutilisées pour la production de sels biliaires. Le transport des lipides par les lipoprotéines dans la circulation sanguine prend fin lorsqu'ils se lient à un récepteur spécifique qui permet leur entrée dans la cellule où les graisses sont libérées pour être utilisées ou pour servir de réserve. Ainsi, les acides gras saturés (mauvais gras) inhibent l'expression de récepteurs LDL de sorte que ceux-ci s'accumulent dans le sang et dans les artères et peuvent conduire à divers troubles cardiovasculaires. Par contre, les acides gras monoinsaturés et polyinsaturés sont à privilégier dans l'alimentation pour remplacer les acides gras saturés et aider à réduire le taux de cholestérol (Lecerf, 2016).

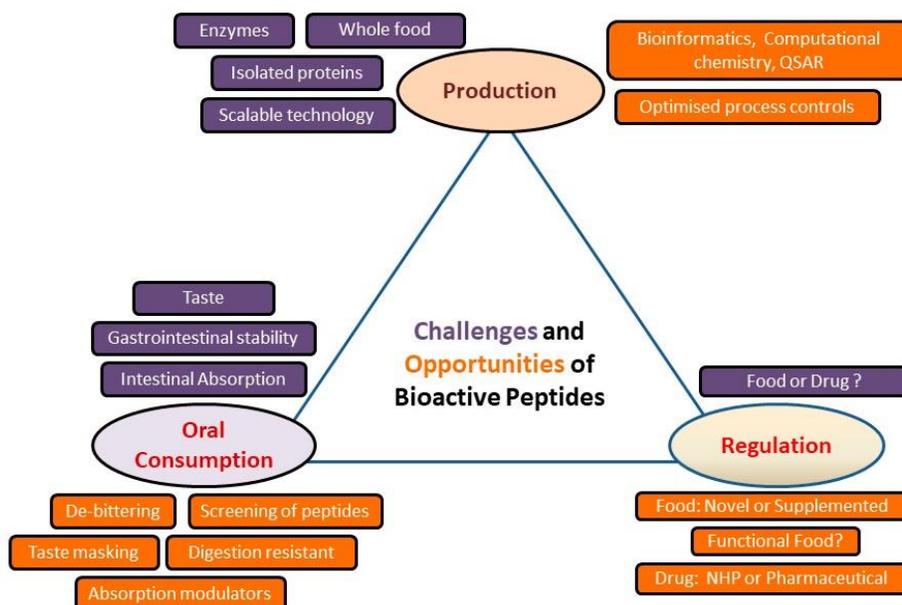
Une fois dans l'intestin, les molécules de gras sont trop grosses pour être absorbées et distribuées dans l'organisme. Elles vont être dans un premier temps être hydrolysées par des lipases (enzymes digestives) en acides gras et glycérol. Les sels biliaires et les chylomicrons assurent ensuite le transport des acides gras dans le milieu intestinal tandis que les lipoprotéines interviennent dans le transport sanguin du cholestérol et des acides gras (Papackova et Cahova, 2015).

**Aspect nutraceutique des acides gras mono- et polyinsaturés.** Il existe des acides gras essentiels à une bonne santé, mais qui malheureusement ne sont pas produits par l'organisme. Il faut donc se nourrir d'aliments qui contiennent ces molécules. Les acides gras faisant souvent l'objet d'études sont les **acides gras polyinsaturés**: les **oméga-3** (acide gras  $\alpha$ -linoléique, docosahexaénoïque, éicosapentaénoïque) et les **oméga-6** (acide linoléique). Nous pouvons en retrouver aussi bien dans des produits d'origine animale (poissons) que végétale (graines et huiles). Les oméga-3 sont des composantes essentielles des membranes cellulaires, surtout les cellules rétinienne et les cellules nerveuses (Wink, 2022).

Il a été démontré que les oméga-3 peuvent induire la mort des cellules cancéreuses du sein, de la prostate et du colon, et inhiber leur prolifération. Ils joueraient également un rôle au niveau du métabolisme des acides gras et pourraient réduire le risque de maladies cardiovasculaires. Des chercheurs ont également démontré le potentiel antimutagène de l'acide linoléique (Houston, 2010).

### **Protéines et peptides**

Les protéines, tant animales que végétales, sont essentielles à l'alimentation. Dans certains cas, elles contribuent bien plus qu'à un simple apport nutritionnel. Une fois digérées, elles peuvent générer des **peptides bioactifs** ayant des propriétés nutraceutiques. Certaines protéines peuvent avoir un effet hypotenseur, antimicrobien, antioxydant et anti-cancérigène. Des études ont également démontré que les protéines pouvaient abaisser les niveaux de cholestérol et prévenir l'obésité (San-Cristobal et al., 2020). Les protéines et peptides les plus étudiés sont ceux de l'**œuf** (lysosyme, ovotransferrine, ovalbumine, phosphatidylsérine, immunoglobulines), du **lait** (protéines de lactosérum, lactoferrine,  $\beta$ -lactoglobuline, etc.) et du **soja** (Wang et al., 2022; Chakrabarti et al., 2018). La **Fig. 5** illustre un exemple d'enjeux et d'opportunités futures qui sont associés aux principaux aspects de la commercialisation de peptides bioactifs dans le domaine de la santé humaine; ce principe s'applique à la grande majorité des composés nutraceutiques.



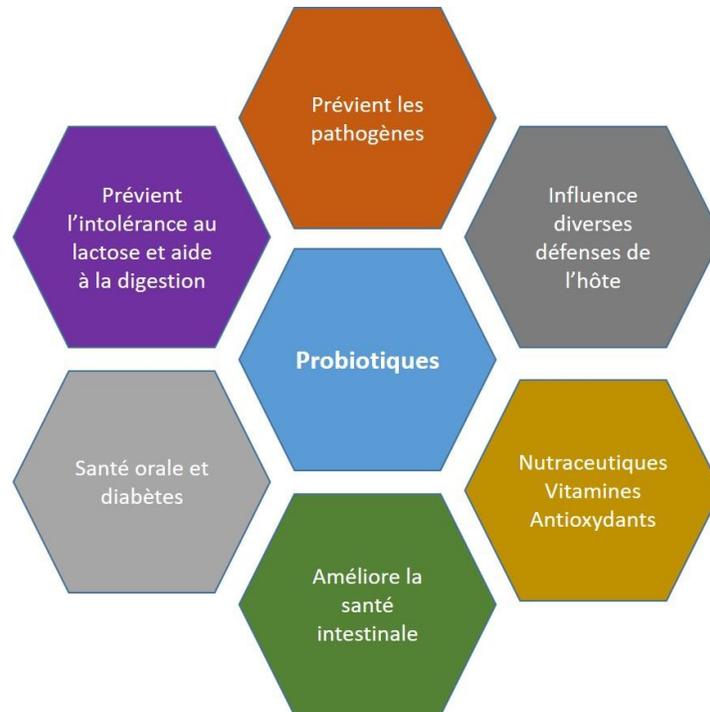
**Figure 5** - Défis et solutions potentielles à l'utilisation des peptides bioactifs en santé humaine (d'après Chakrabarti et al., 2018). Les 3 principaux aspects liés aux utilisations des peptides bioactifs d'origine alimentaire sont: **1) la production, 2) la consommation orale et 3) la réglementation.**

### **Probiotiques**

**Immunité et microbiote intestinal.** Afin d'assurer une défense efficace contre les agents infectieux, plusieurs tissus secondaires associés au système immunitaire sont distribués dans l'organisme. Parmi ceux-ci, le **tissu lymphoïde** associé au tube digestif est d'une importance capitale (environ 75% des défenses immunitaires s'y retrouvent). En effet, les muqueuses du tube digestif sont très perméables et constituent l'une des voies d'accès les plus utilisées par les agents pathogènes. La surface du tube digestif (environ 32 m<sup>2</sup>) est constamment exposée à des substances étrangères que nous ingérons, ce qui la rend propice à la présence d'agents infectieux (Helander et Fandriks, 2014). Le rôle de la barrière muqueuse intestinale consiste à protéger les tissus muqueux et du système circulatoire contre l'exposition à diverses molécules pro-inflammatoires telles que des microorganismes, toxines, antigènes. On y trouve différents éléments immunologiques tels que des peptides antimicrobiens, des immunoglobulines, des macrophages, des lymphocytes (Zheng et al. 2020 ; Kim et al., 2022).

**Action des bactéries probiotiques.** En plus des cellules immunitaires, les quelque 100 000 milliards de bactéries qui colonisent cette région jouent aussi, conjointement avec les lymphocytes, un rôle protecteur important. Plus de 400 espèces différentes — dont les genres *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*— composent le microbiote intestinal. Outre leurs fonctions digestives, ces microorganismes contribuent aux défenses de l'hôte en entrant en compétition avec différents microorganismes pathogènes. Ils peuvent également sécréter dans le milieu intestinal des substances antimicrobiennes —incluant des peptides antimicrobiens appelés **bactériocines**. Il a été rapporté que la colonisation de l'intestin par ces bactéries joue un rôle important dans le développement du système immunitaire. Ainsi, un déséquilibre de la flore

intestinale pourrait nuire à la régulation de ce système de défense et causer diverses pathologies (Kim et al., 2022; Varsha et al., 2022; Granato et al., 2020; Ashaolu, 2019; Banan-Mwine Daliri et Lee, 2015; Desrouillères et al., 2015; Millette et al., 2008). De manière formelle, **les probiotiques sont des microorganismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés en quantité adéquate, ont un effet bénéfique sur la santé de l'hôte** (Santé Canada, 2022a). Les aliments fermentés contiennent généralement un ou plusieurs genres de microorganismes probiotiques vivants qui ont un impact positif sur l'hôte en préservant de manière bénéfique le microbiote intestinal qui, en retour, a un rôle modulateur dans les réponses immunitaires et la santé humaine (**Fig. 6**).



**Figure 6** – Représentation schématique et applications des probiotiques et de leurs métabolites bioactifs (d'après Varsha et al., 2022).

#### LE SAVIEZ-VOUS? PROBIOTIQUES, PRÉBIOTIQUES ET SYNBIOTIQUES.

- Les **probiotiques** sont des microorganismes qui peuvent être ajoutés dans des produits végétaux (légumes lactofermentés), certaines viandes (saucissons fermentés), les yogourts ou jus de fruits. Les effets sur l'organisme sont nombreux, mais le plus connu est relié à la stimulation du système immunitaire, par exemple:
  - 1) Ils favorisent la sécrétion d'anticorps IgA qui éliminent les rotavirus responsables de diarrhées;
  - 2) Ils agissent sur les cellules immunitaires en stimulant l'action phagocytaire et la production de cytokines;
  - 3) Ils ont un effet hypercholestérolémique;
  - 4) Ils produisent plusieurs molécules bioactives (acide lactique, bactériocines) qui préviennent la croissance de pathogènes.
- Les **prébiotiques** ne sont pas des microorganismes. Ce sont des molécules non digestibles qui favorisent la croissance sélective de certaines bactéries de la flore intestinale. Parmi ces composés bioactifs, on compte certaines fibres alimentaires et différents carbohydrates (sucres), comme l'inuline et les fructo-oligosaccharides. Ces composés n'étant pas absorbés, ils sont utilisés par les bactéries au niveau intestinal (processus de

fermentation et croissance). Parfois appelés "fibres", les prébiotiques peuvent aussi favoriser l'absorption de minéraux essentiels.

- Les **synbiotiques** sont des produits qui combinent l'utilisation de probiotiques et de prébiotiques. Ces produits pourraient ainsi à la fois permettre l'implantation de bactéries lactiques et favoriser leur croissance et leur survie intestinale (Swanson et al., 2020).

### 3. Aliments fonctionnels

#### *Classification d'aliments fonctionnels*

De nombreuses publications scientifiques ont permis l'identification de molécules bioactives dans les aliments. Il est bien connu que de nombreux aliments renforcent les fonctions immunitaires des individus (Wink, 2022 ; Oualid et Oucherif, 2021; Granato et al., 2020; Pushpaanjali et al., 2020; Birch et Bonwick, 2019). **Un aliment fonctionnel est un aliment qui procure des bienfaits physiologiques démontrés et (ou) réduit le risque de maladie chronique au-delà des fonctions nutritionnelles de base** (Santé Canada, 2013). Ces aliments peuvent être d'origine végétale ou animale et contiennent souvent plusieurs molécules phytochimiques. Les **Tableaux 3** et **4** mentionnent divers aliments fonctionnels (d'origine végétale et animale respectivement) qui sont cités régulièrement ainsi que les principales molécules bioactives qu'ils contiennent.

**Tableau 3.** Aliments fonctionnels d'origine végétale.

Catégories d'aliments	Exemples	Molécule(s) bioactives(s)
<b>1. Céréales</b>	Orge	$\beta$ -glucanes
	Avoine	$\beta$ -glucanes
	Blé	Fibres insolubles, prébiotiques
	Seigle	Fibres solubles, lignanes, isoflavonoïdes, acides phénoliques, sélénium
	Psyllium	Fibres solubles
<b>2. Légumes</b>	Oignon	Composés phénoliques et organosulfurés (quercétine, allicine), sélénium, vitamine C, prébiotiques
	Ail	Allicine, prébiotiques
	Brocoli	Caroténoïdes (lutéine, zéaxanthine), composés organosulfurés (isothiocyanates, sulforaphane), tocotriénols, glucosinolates
	Choux et crucifères	Vitamine A, C, isothiocyanates, flavonoïdes, glucosinolates
	Carottes	Fibres, caroténoïdes ( $\alpha$ -carotène, $\beta$ -carotène, lutéine), vitamines (C, E)
	Piments	Vitamines (C, E), flavonoïdes
	Épinards	Caroténoïdes (lutéine 7.4 mg/100g, zéaxanthine)
	Champignons	Sélénium, vitamines B

<b>3. Fruits</b>	Agrumes	Fibres prébiotiques, caroténoïdes, Vitamines (A, C, E), composés phénoliques
	Pomme	Fibres solubles, flavonoïdes (quercétine, catéchine), vitamine C, triterpénoïdes
	Raisins (Vin)	Composés phénoliques (flavonoïdes, stilbènes, catéchines, procyanidines, épicatechine), vitamine C
	Tomate	Vitamines (A, B), flavonoïdes, lycopène
	Canneberge	Composés phénoliques (quercétine, proanthocyanidines)
	Mangue	Vitamines (A, C), fibres prébiotiques, minéraux, caroténoïdes ( $\alpha$ -carotène), polyphénols
	Papaye	Vitamines (A, B, C), caroténoïdes, fibres prébiotiques
	Citrouille	Caroténoïdes (lutéine 14.4 mg/100g)
	Petits fruits	Vitamine C, polyphénols, fibres prébiotiques
	Date	Caroténoïdes, polyphénols, fibres prébiotiques
<b>4. Noix/Huiles</b>	Lin (huile, graines)	Lignanes, acide linoléique
	Graines de lin	Acide gras oméga-3, acide linoléique, lignanes
	Huile de sésame	Vitamine E, lignanes (phytoœstrogènes), phytostérols
	Huile de tournesol	Vitamine E, antioxydants, acides gras oméga-6
	Fèves de soya	Composés phénoliques (isoflavones, génistéine), protéines, phytoœstrogènes
	Amandes et noix	Faibles en gras saturés et cholestérol
	Huiles végétales (huile d'olive, canola, etc.)	Phytostérols, acides gras monoinsaturés
<b>5. Thé</b>	Thé vert	Composés phénoliques (catéchine (200 mg/tasse))
	Thé noir	Composés phénoliques
<b>6. Chocolat</b>	Cacao	Composés phénoliques (Catéchines, procyanidols, flavonoïdes, anthocyanes)
<b>7. Épices</b>	Romarin	Composés phénoliques
	Origan	Composés phénoliques
	Gingembre	Composés phénoliques (triterpénoïdes, gingérol)
	Persil	Vitamine C
	Thym	Vitamines (C, K), composés phénoliques (thymol)
	Curcumin	Composés phénoliques, flavonoïdes, curcumine

**Tableau 4.** Aliments fonctionnels d'origine animale.

Catégories d'aliments	Exemples	Molécule(s) bioactives(s)
<b>1. Poissons</b>	Thon	Vitamines, sélénium, oméga-3 (acide éicosapentanoïque, docosahexanoïque)
	Saumon	Oméga-3 (acide éicosapentanoïque, docosahexanoïque)
	Maquereau	Oméga-3 (acide éicosapentanoïque, docosahexanoïque)
	Sardines	Oméga-3 (acide éicosapentanoïque, docosahexanoïque)
	Hareng	Oméga-3 (acide éicosapentanoïque, docosahexanoïque)
<b>2. Fromages</b>		Vitamines (A, E), peptides, bactéries lactiques, acides linoléiques conjugués
<b>3. Œufs</b>	de poule	Protéines (ovalbumine, ovotransferrine, ovomicine, lysosyme, immunoglobulines)
	de cailles	Sélénium, vitamines B, protéines
<b>4. Produits laitiers</b>	Yogourt	Probiotiques et/ou prébiotiques, acide linoléique
	Laits fermentés	Probiotiques et/ou prébiotiques
<b>5. Viandes</b>	Bœuf cru	Acide linoléique
	Agneau	Acide linoléique

**LE SAVIEZ-VOUS? TRANSITION ALIMENTS FONCTIONNELS → ALIMENTS NUTRACEUTIQUES → PRODUITS NUTRACEUTIQUES**

Contrairement aux **aliments frais** que l'on qualifie de "**fonctionnels**" du fait qu'ils contiennent une ou plusieurs molécule(s) bioactive(s), les **aliments nutraceutiques** sont des produits transformés qui contiennent des molécules bioactives isolées et purifiées à partir de différents aliments fonctionnels. Par ex., il peut s'agir de margarine dans laquelle des phytostérols ont été ajoutés afin de réduire le mauvais cholestérol, de jus enrichis en fibres prébiotiques ou en antioxydants ou encore de pains enrichis en oméga-3 ou en fibres solubles. De nombreuses gélules en vente dans les magasins de produits naturels contiennent également des molécules bioactives en grande quantité (ex: suppléments d'oméga-3) et font également partie du large éventail des **produits nutraceutiques**.

#### 4. Défis réglementaires

Depuis 2004, Santé Canada réglemente les **produits de santé naturels (PSN)** —auparavant dénommés **produits nutraceutiques**— de façon à ce que les citoyens canadiens aient confiance en des produits sécuritaires, efficaces et de haute qualité (Santé Canada, 2023a; BVG, 2021). La **Direction des produits de santé naturels et sans ordonnance (DPSNSO)** est l'organisme canadien de réglementation des PSN et des médicaments sans ordonnance.

***Produits nutraceutiques: État de la situation par rapport au Règlement sur les PSN***

Santé Canada a modifié le **Règlement sur les PSN** afin de rendre les étiquettes plus faciles à comprendre, en toute sécurité (Santé Canada, 2023b; 2022b). Ce règlement est le fruit de nombreuses consultations entre consommateurs, universitaires, professionnels de la santé et industriels qui ont mis en place 53 recommandations. Au Canada, pour autoriser la vente d'un PSN, une licence de mise en marché (incluant un numéro de produit naturel; NPN) doit être délivrée selon les conditions suivantes:

- **Preuves de l'innocuité et de l'efficacité du produit:** résultats d'essais cliniques, données publiées
- **Exigences en matière d'étiquetage et d'emballage:** ingrédients, source, dose, activité, usage, contre-indications, conditions d'entreposage;
- **Bonnes pratiques de fabrication (BPF; GMP en anglais):** spécifications, hygiène et sécurité, assurance qualité, etc.

#### ***Aliments fonctionnels: État de la situation par rapport à la Loi et Règlement sur les aliments et drogues***

Contrairement aux PSN, il n'existe aucun règlement qui traite explicitement des aliments fonctionnels comme catégorie distincte au Canada. Tous les aliments et drogues sont régis par les dispositions contenues dans **la Loi et le Règlement sur les aliments et drogues** (Santé Canada, 2023c; 2023d). Cependant, Santé Canada peut émettre des allégations santé indiquant le bienfait d'un aliment —ou d'un ingrédient— en établissant des liens entre consommation et répercussion sur la santé (Santé Canada, 2016) parmi lesquels on compte:

- les **allégations de réduction du risque de maladies;**
- les **allégations fonctionnelles** (effets favorables particuliers).

De nombreuses ressources sont disponibles sur le site web de Santé Canada, afin de guider les entreprises dans leurs demandes d'approbation. Ainsi, les aliments fonctionnels semblent s'inscrire plus difficilement que les PSN dans le cadre réglementaire actuel. Bien que certains aliments fonctionnels puissent paraître ordinaires aux yeux du consommateur, ils sont connus pour leurs effets physiologiques. Face à cette dichotomie entre **la consommation d'aliments pour être "en santé"** et **la consommation de drogues qui sont nécessaires pour combattre la "maladie"**, les fabricants d'aliments fonctionnels font face à 2 choix:

- 1) mettre leur produit sur le marché sans faire d'allégations concernant les effets sur la santé;
- 2) ou respecter les exigences réglementaires plus rigoureuses nécessaires pour les drogues. Dans ce cas, un grand nombre de renseignements fiables sont demandés face à la sensibilisation du consommateur (Komala et al., 2023).

#### ***Questions déterminantes pour satisfaire aux normes***

Les entreprises qui désirent commercialiser des produits nutraceutiques ou aliments/ingrédients fonctionnels doivent se poser certaines questions pertinentes suivantes recommandées par Santé Canada (1998):

- Comment doit-on définir avec précision les produits nutraceutiques/aliments fonctionnels à des fins réglementaires?
- Faut-il que de tels aliments demeurent des aliments ou des drogues selon la *Loi sur les aliments et drogues*?
- Devrait-on permettre des allégations concernant les effets sur la santé sur les étiquettes des aliments et, si oui, quels types d'allégation?

- Quelle norme de preuve serait nécessaire et suffisante pour prouver un effet bénéfique sur la santé?
- Comment peut-on réglementer les produits nutraceutiques/aliments fonctionnels sans compromettre outre mesure le droit des Canadiens d'assumer plus de responsabilité quant à leur propre santé?

#### LE SAVIEZ-VOUS? LA PROBLÉMATIQUE DES ÉTIQUETAGES D'ALLÉGATION SANTÉ – DE "SUCCESS STORIES" À "FAILURE" DES LOGOS SANTÉ DANS LES ANNÉES 2000

En 1999, le gouvernement canadien a autorisé l'étiquette **Visez santé**, une forme d'étiquetage sur certains aliments permettant aux consommateurs d'être informés des bienfaits de leur consommation. Ces allégations concernaient notamment des produits pauvres en sodium, en gras *trans* ou saturés, riches en calcium et en vitamine D, ou encore des produits contenant des ingrédients permettant de réduire le risque de maladies cardiovasculaires. Selon la réglementation gouvernementale, ces allégations n'étaient accordées que si les preuves scientifiques sur les bienfaits étaient suffisantes. Cependant, en 2014, la Fondation des maladies du cœur et de l'AVC a annoncé la fin du logo car ce programme était désuet, notamment du manque de rectitude dans les critères d'admission, des rapides changements dans l'industrie des ingrédients fonctionnels et du nombre de logos des concurrents créant la confusion. À ce titre, il est maintenant recommandé de lire l'étiquette nutritionnelle et la liste d'ingrédients des produits alimentaires afin de s'y retrouver (Allard, 2014).

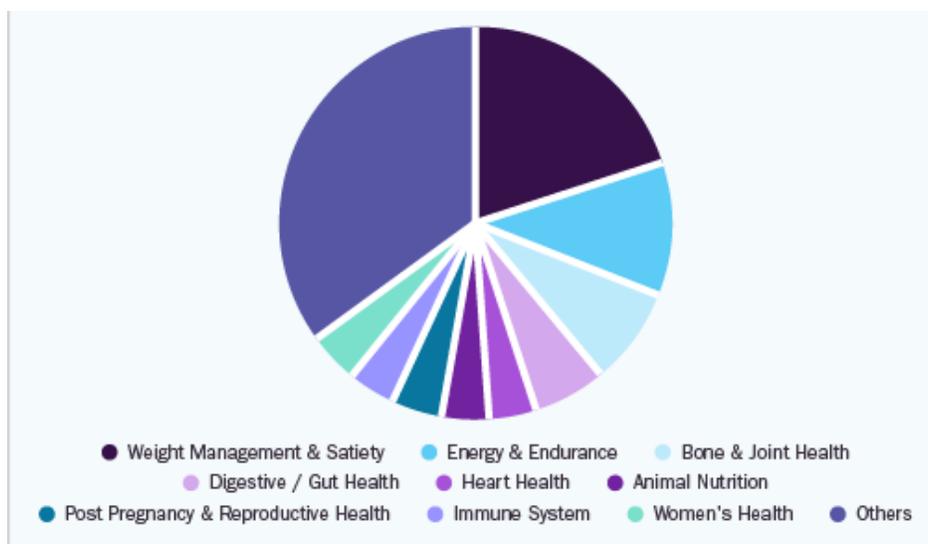
## 5. Marché des nutraceutiques et enjeux industriels

La taille du marché mondial des nutraceutiques était évaluée à **291.33 milliards USD en 2022** et devrait croître à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de **9.4% de 2023 à 2030**. L'Amérique du Nord représente la plus grande part avec plus de 35 % des revenus. Les principaux facteurs de croissance du marché sont :

- les soins de santé préventifs,
- l'augmentation des cas de troubles liés au mode de vie,
- l'intérêt croissant des consommateurs pour les régimes alimentaires favorables à la santé.

L'augmentation du pouvoir d'achat des consommateurs dans les économies à forte croissance contribue à la demande croissante des produits nutraceutiques. Cette croissance serait également attribuée aux préférences des consommateurs qui se tournent vers les soins "autogérés", notamment ceux reliés aux troubles cardiovasculaires et la malnutrition.

**En 2022, les probiotiques occupaient une position dominante sur le marché (26.5 %)** — entre autres attribuable aux préférences des consommateurs pour les produits laitiers et les suppléments à base de probiotiques en raison de la sensibilisation croissante à la santé intestinale dans le monde. Le secteur des probiotiques devrait afficher le taux de croissance le plus rapide (14 %) d'ici 2030. Les fabricants de l'industrie alimentaire et des boissons proposent des probiotiques dans différents formats prêts-à-boire, des collations et des céréales avec de fortes stratégies de promotion (Ashaolu, 2019). Cependant, **les ingrédients probiotiques sont plus efficaces à des températures fraîches**, de sorte qu'une réfrigération est nécessaire dans tout le canal de distribution, ce qui peut éventuellement constituer un défi pour la croissance de ce secteur. D'autre part, **le secteur des aliments fonctionnels domine le marché avec une part des revenus de 37.8 % en 2022**, les produits les plus populaires étant les boissons pour sportifs, marché dominé par les "millennials" (Grand View Research, 2023), tel qu'illustré à la **Fig. 7**.



**Figure 7** – Marché global des nutraceutiques par applications en 2022 (d’après Grand View Research, 2023). Les leaders du marché ont mis en place des fusions et acquisitions comme stratégies clés dans le but de lancer de nouveaux produits —ou d’améliorer les produits.

**Au Canada**, de nombreux investisseurs étrangers tirent profit des vastes ressources agricoles et marines du territoire (Investir au Canada, 2014). Des entreprises canadiennes se sont taillé une réputation internationale grâce à leurs ingrédients bioactifs tels que:

- **les fibres solubles** de l’avoine, de l’orge et des légumineuses à grain,
- **les acides gras oméga-3** des huiles de poisson et de lin,
- **les acides gras non saturés** de l’huile de canola,
- **les stérols végétaux et les stanols** des huiles végétales,
- **les protéines** de soya.

Fait important, la pandémie de COVID-19 à travers le monde a ouvert la voie aux nutraceutiques pour établir une forte présence sur le marché mondial. En effet, durant cette période, la demande de compléments alimentaires et d'aliments fonctionnels a monté en flèche de sorte que les suppléments renforçant l'immunité sont devenus courants. Cette tendance a entraîné un changement significatif dans les habitudes d'achat et le comportement des consommateurs. Ainsi, les mesures de santé préventives telles que les compléments alimentaires sont appelés à faire partie de la vie quotidienne des gens à long terme (Abhimanyu Thakur and Thakur, 2021; Martirosyan, 2020).

#### LE SAVIEZ-VOUS? LE MARCHÉ DES NUTRACEUTIQUES EN FORTE INTERACTION AVEC CELUI DE LA MICROENCAPSULATION

L'adoption croissante de nouvelles technologies telles que la **microencapsulation** stimule les innovations technologiques dans l'industrie des aliments fonctionnels. La microencapsulation aide non seulement à **préserver la stabilité du produit actif** (contre les facteurs externes environnementaux, l’auto-oxydation, etc.) mais aussi à **améliorer le goût de l'aliment fonctionnel final**. Par exemple, les acides gras oméga-3 ont une odeur désagréable, cependant, le parfum et le goût de ces ingrédients sont améliorés grâce à l'utilisation de la technologie d'encapsulation. Cela aide le produit à être plus savoureux et plus attrayant pour les consommateurs. Ces progrès, conformes à l'évolution des

préférences des consommateurs, devraient stimuler la croissance des produits alimentaires fonctionnels (Grand View Research, 2023; Fernandes et al., 2019).

## 6. Technologies émergentes d'extraction des ingrédients fonctionnels – Notion de biodisponibilité et de stabilité

### *Technologies non thermiques*

Au cours des dernières décennies, bon nombre de technologies non thermiques émergentes ont montré leur potentiel pour réduire l'impact environnemental de la transformation des aliments. Ces technologies ont également permis d'accroître la durabilité de la chaîne de transformation en améliorant la récupération des composants à haute valeur ajoutée —tels que des ingrédients bioactifs pour la fabrication d'aliments fonctionnels— à partir de déchets et de sous-produits alimentaires (Galanakis, 2021; Granato et al., 2020; Tappi et al., 2020). Parmi ces technologies, on note:

- Les champs électriques pulsés (Pulsed Electric Fields; PEF)
- Les ultrasons (UltraSound; US)
- La haute pression hydrostatique (High Hydrostatic Pressure, HPP)
- Le plasma froid (Cold Plasma ; CP)
- L'irradiation gamma
- Les micro-ondes
- L'extraction par fluide supercritique

Ces traitements se sont avérés très efficaces comme procédés d'extraction de composés nutraceutiques/fonctionnels à partir de sous-produits variés tels que protéines, glucides, lipides, minéraux, vitamines, polyphénols, glucosinolates, polyphénols, composés aromatiques et enzymes, tout en conservant leurs propriétés fonctionnelles —contrairement aux procédés thermiques conventionnels (Galanakis, 2021). De plus, ces technologies pourraient être utilisées pour l'amélioration de la qualité et de la sécurité des aliments (Tappi et al., 2020).

### *Biodisponibilité des molécules actives*

L'efficacité des composés bioactifs alimentaires dépend de différents paramètres tels que la métabolomique, la nutriginomique, la **biodisponibilité** et leur stabilité dans la matrice alimentaire. Cette biodisponibilité représente une **fraction de l'apport alimentaire total assimilée dans le corps humain, stocké et utilisé pour des fonctions métaboliques précises**, selon différents processus physicochimiques. Les technologies non thermiques peuvent maintenir la biodisponibilité des composants alimentaires, améliorer leurs propriétés fonctionnelles et augmenter les rendements de récupération des produits agricoles (Galanakis, 2021). D'autre part, la biodisponibilité d'un nutraceutique après ingestion dépend de son absorption et en partie des changements qui pourraient l'affecter lors du passage dans le tractus gastro-intestinal (Augustin et Sanguansri, 2015).

### ***Microencapsulation des ingrédients actifs***

Souvent, les fabricants ne peuvent pas simplement ajouter un nutraceutique dans un aliment lors de la formulation d'aliments fonctionnels du fait de l'instabilité du composé et d'attributs sensoriels indésirables. Face au défi d'incorporation de nutraceutiques dans un aliment, la technique de **microencapsulation** est une solution pour stabiliser et protéger les nutraceutiques, permettant leur distribution efficace dans les aliments et empêchant de possibles interactions indésirables avec les autres constituants de la matrice alimentaire. Cela prévient également leur dégradation au cours des procédés de transformation menant au produit final mais aussi leur protection au cours du transit gastro-intestinal jusqu'à ce qu'ils soient libérés au site souhaité (effet ciblé sur la santé) (Augustin et Sanguansri, 2015).

L'encapsulation implique le **piégeage d'un composant actif dans un matériau secondaire, appelé matrice**. Le composant actif encapsulé est protégé de l'environnement externe jusqu'à ce qu'il soit libéré par un paramètre déclencheur sur un site et à un moment souhaité. Les critères de conception d'un ingrédient encapsulé avec les structures-fonctions souhaitées comprennent:

- les caractéristiques physicochimiques inhérentes du composant actif et de la matrice ;
- la stabilité du composant actif et de la matrice dans divers environnements ;
- les interactions entre le composant actif et la matrice ;
- la technologie utilisée pour préparer l'ingrédient encapsulé.

L'encapsulation peut être utilisée pour protéger les nutraceutiques lorsqu'ils sont à l'état d'ingrédient, pendant la fabrication des aliments, pendant le stockage de l'aliment final ou pendant la consommation de l'aliment jusqu'à ce qu'ils atteignent le site prévu dans l'organisme. Parmi les matériaux servant de matrices d'encapsulation, on note par ex. les protéines laitières (lactosérum, caséinates, caséine), les protéines végétales (soja, blé, avoine, zéine), la gélatine, les polysaccharides (amidon, maltodextrines, alginate, pectine, carraghénanes, chitosane, gomme arabique, gomme xanthane, cellulose et dérivés, cyclodextrines), les lipides (huile de soja, de canola, de tournesol) et les cires (carnauba, candelilla, cire d'abeille), les surfactants (Tween, Span, polyols, sucrose esters, phospholipides, mono- et diglycérides) (Antequera et al., 2022; Augustin et Sanguansri, 2015).

## **7. Conclusion**

Dans le collectif, la consommation de produits nutraceutiques et d'aliments fonctionnels est considérée comme un aspect positif, avec un impact bénéfique pour maintenir une bonne santé et prévenir certaines maladies. Cette tendance —qui se manifeste mondialement à plusieurs niveaux générationnels et catégories sociales— a ouvert la porte à l'industrie agroalimentaire qui développe ainsi de nouveaux produits santé. En parallèle, de nombreux travaux de recherche sont menés afin d'identifier et de caractériser de nouveaux composés bioactifs dans différents aliments et de démontrer leurs effets bénéfiques sur l'organisme. Il est important de noter que les aliments fonctionnels et les produits nutraceutiques ne peuvent à eux seuls contribuer à un mode de vie sain. Une alimentation variée doit être combinée à d'autres bonnes habitudes de vie.

En raison des charges financières, les gouvernements du monde entier devraient encourager la création d'entreprises qui se consacrent à la R&D d'aliments qui peuvent avoir des effets potentiellement positifs sur la santé humaine au-delà de la nutrition de base. Les scientifiques et les technologues en alimentation doivent garder à l'esprit que les aliments fonctionnels peuvent nécessiter des essais *in vitro*, *in vivo* (animaux) et cliniques pour étayer toute allégation santé.

Depuis quelques années, la recherche sur les produits nutraceutiques et les aliments fonctionnels s’inscrit dans une nouvelle discipline appelée **nutrigénomique**. Cette dernière étudie les effets des aliments et des constituants alimentaires au niveau moléculaire sur l’expression des gènes. Le profil génétique variant d’un individu à l’autre, certaines études permettraient d’adapter l’alimentation en fonction du profil génétique. La nutrigenomique est une application d’une discipline plus vaste appelée **métabolomique** qui étudie l’ensemble des métabolites primaires (sucres, acides aminés, acides, gras, etc.) et des métabolites secondaires (polyphénols, flavonoïdes, etc.) dans une cellule, un organe ou un organisme. On note que le terme anglais **Foodomics** est de plus en plus utilisé dans les sujets de recherche et représente une discipline qui étudie les domaines de l’alimentation et de la nutrition par l’intégration de technologies avancées – **omiques** avec un gain considérable de compilation de données. L’application de produits nutraceutiques et aliments fonctionnels s’étend donc de plus en plus par l’intermédiaire de nouvelles disciplines scientifiques pour une meilleure compréhension des effets sur la santé humaine.

## Références

- Abhimanyu Thakur, H., Thakur, N.S. (2021). Role of functional food components in COVID-19 pandemic: A review. *Ann. Phytomedicine.* 10, S240-50. <http://dx.doi.org/10.21276/ap.covid19.2021.10.1.22>
- Allard, M. (2014). Mort de Visez santé. La Presse, Alimentation (9 août 2014). <https://www.lapresse.ca/vivre/sante/nutrition/201408/08/01-4790367-mort-de-visez-sante.php>
- Alvado-Ramirez, M., Santana-Galvez, J., Santacruz, A., Carranza-Montealvo, L.D., Ortega-Hernandez, E., Tirado-Escoboza, J., Cisneros-Zevallos, L., Jacobo-Velazquez, A. (2018). Using a functional carrot powder ingredient to produce sausages with high levels of nutraceuticals. *J. Food Sci.* 83, 2351-61. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14319>
- Agrawal, R.S., Ranveer, R.C., Rathod, N.B., Nirmal, N.P. (2023). Chapter 6 - Phytochemicals as bioactive ingredients for functional foods. In: *Recent Frontiers of Phytochemicals, Applications in Food, Pharmacy, Cosmetics, and Biotechnology*. ISBN: 978-0-443-19143-5. Ed: Pati, S., Sarkar, T., Lahiri, D. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. pp. 95-108. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-01237-X>
- Al-Khayri, J.M., Sahana, G.R., Nagella, P., Joseph, B.V., Alessa, F.M., Al-Mssallem, M.Q. (2022). Flavonoids as potential anti-inflammatory molecules: A review. *Molecules.* 27, 2901. <https://doi.org/10.3390/molecules27092901>
- Antequera, T., Solomando, J.C., Perez-Palacios, T. (2022). Improvements in the procedures to encapsulate diverse bioactive compounds. *Foods.* 11, 205. <https://doi.org/10.3390/foods11020205>
- Ashaolou, T.J. (2020). Immune boosting functional foods and their mechanisms: A critical evaluation of probiotics and prebiotics. *Biomed. Pharmacother.* 130, 110625. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110625>
- Ashaolou, T.J. (2019). A review on selection of fermentative microorganisms for functional foods and beverages: the production and future perspectives. *Int. J. Food Sci, Technol.* 54, 2511-9. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14181>
- Association Québécoise des Thérapeutes Naturels (AQTN). (2023). Les produits de santé naturelle (PSN). Naturothérapeutes, Naturopathes (2 mars 2023). <https://aqtn.ca/questions/naturopathes/les-produits-de-sante-naturelle/>

- Augustin, M.A., Sanguansri, L. (2015). Challenges and solutions to incorporation of nutraceuticals in foods. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 6, 463-77. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015507>
- Banan-Mwine Daliri, E., Lee, B.H. (2015). Current trends and future perspectives on functional foods and nutraceuticals. In: In: Beneficial microorganisms in food and nutraceuticals. Microbiology Monographs (Vol. 27). Ed: Liong, M.-T. Springer, Penang, Malaysia. ISBN: 978-3-319-23176-1. pp. 221-44. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23177-8>
- Bi, D., Yang, X., Yao, L., Hu, Z., Li, H., Xu, X., Lu, J. (2019). Potential food and nutraceutical applications of alginate: A review. *Mar. Drugs.* 20, 564. <https://doi.org/10.3390/md20090564>
- Birch, C.S., Bonwick, G.A. (2019). Ensuring the future of functional foods. *Int. J. Food Sci. Technol.* 54, 1467-85. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14060>
- Bureau du Vérificateur Général du Canada (2021). Les produits de santé naturels — Santé Canada. Rapport 2. Rapports du commissaire à l'environnement et au développement durable au Parlement du Canada. No. cat. FA1-26/2021-1-2F-PDF. ISBN 978-0-660-38240-1. [https://publications.gc.ca/collections/collection\\_2021/bvg-oag/FA1-26-2021-1-2-fra.pdf](https://publications.gc.ca/collections/collection_2021/bvg-oag/FA1-26-2021-1-2-fra.pdf)
- Caillet, S., Lorenzo, G., Côté, J., Sylvain, J.-F., Lacroix, M. (2012). Free radical-scavenging properties and antioxidant activity of fractions from cranberry products. *Food Nutr. Sci.* 3, 337-47. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2012.33049>
- Caillet, S., Salmieri, S., Lacroix, M. (2006). Evaluation of free radical-scavenging properties of commercial grape phenol extracts by a fast colorimetric method. *Food Chem.* 95, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.011>
- Casas Mesa, N., Almeida Alves, I., Pinto Vilela, F.M., Mesquita e Silva, D., Palomeque Forero, L.A., Aragon Novoa, D.M., de Carvalho da Costa, J. (2023). Fruits as nutraceuticals: a review of the main fruits included in nutraceutical patents. *Food Res. Int.* 170, 113013. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113013>
- Chakrabarti, S., Guha, S., Majumder, K. (2018). Food-derived bioactive peptides in human health: Challenges and opportunities. *Nutrients.* 10, 1738. <https://doi.org/10.3390/nu10111738>
- Croom, E. (2012). Chapter Three - Metabolism of xenobiotics of human environments. *PMBTS.* 112, 31-88. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415813-9.00003-9>
- Desrouillères, K., Millette, M., Vu, K.D., Touja, R., Lacroix, M. (2015). Cancer preventive effects of a specific probiotic fermented milk containing *Lactobacillus acidophilus* CL1285, *L. casei* LBC80R and *L. rhamnosus* CLR2 on male F344 rats treated with 1,2-dimethylhydrazine. *J. Funct. Foods.* 17, 816-27. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.035>
- Donaldson, M.S. (2004). Nutrition and cancer: A review of the evidence for an anti-cancer diet. *Nutr. J.* 3, 19. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-3-19>
- Fernandes, S.D., Narayana, R.C., Narayanan, A.V. (2019). The emergence of India as a blossoming market for nutraceutical supplements: An overview. *Trends Food Sci. Technol.* 86, 579-85. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.017>
- Fortin, O., Aguilar-Uscanga, B., Vu, K.D., Salmieri, S., Zhao, J.C., Lacroix, M. (2017). Chemo-preventive properties of essential oils obtained from *Boswellia carterii* and *B. sacra* in combination with Insoluble  $\beta$ -glucan. *J. Nutraceut. Food Sci.* 2, 13. <https://nutraceuticals.imedpub.com/chemopreventive->

[properties-of-essential-oils-obtained-from-boswellia-carterii-and-b-sacra-in-combination-with-insoluble-glucan.php?aid=21196](https://doi.org/10.1080/01635581.2018.1380204)

- Fortin, O., Aguilar-Uscanga, B.R., Vu, K.D., Salmieri, S., Lacroix, M. 2018. Cancer chemopreventive, antiproliferative, and superoxide anion scavenging properties of *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* cell wall components. *Nutr. Cancer.* 70, 83-96. <https://doi.org/10.1080/01635581.2018.1380204>
- Galanakis, C.M. (2021). Functionality of food components and emerging technologies. *Foods.* 10, 128. <https://doi.org/10.3390/foods10010128>
- Gianazza, E., Brioschi, M., Fernandez, A.M., Banfi, C. (2019). Lipoxidation in cardiovascular diseases. *Redox Biol.* 23, 101119. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101119>
- Granato, D., Barba, F.J., Kovacevik, D.B., Lorenzo, J.M., Cruz, A.G., Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 11, 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Grand View Research (GVR). (2023). Nutraceuticals market size, share & trends analysis report by product (dietary supplements, functional foods, functional beverages), by ingredient, by application, by region, and segment forecasts, 2023-2030. Report ID: GVR-2-68038-059-0. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/nutraceuticals-market>
- Guiné, R., Lima, M.J., Barroca, M.J. (2016). Role and health benefits of different functional food components. *Millenium - Journal of Education, Technologies, and Health.* 37, 9-36. <https://revistas.rcaap.pt/millenium/article/view/8268>
- Gupta, A., Sanwal, N., Bareen, M.A., Barua, S., Sharma, N., Olatunji, O.J., Nirmal, N.P., Sahu, J.K. (2023). Trends in functional beverages: functional ingredients, production and processing technologies, stability, health benefits, and consumer perspective. *Food Res. Int.* 170, 113046. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113046>
- Harvard Medical School. (2019). Understanding antioxidants. Harvard Health Publishing, Staying healthy. 31 jan. 2019. <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/understanding-antioxidants>
- Haskins, C.P., Champ, C.E., Miller, R., Vyfhuis, M.A.L. (2020). Nutrition in cancer: Evidence and equality. *Adv. Rad. Oncol.* 5, 817-23. <https://doi.org/10.1016/j.adro.2020.05.008>
- Helander HF, Fändriks L. (2014). Surface area of the digestive tract—revisited. *Scand. J. Gastroenterol.* 49, 681-689. <https://doi.org/10.3109/00365521.2014.898326>
- Houston, M.C. (2010). The role of cellular micronutrient analysis, nutraceuticals, vitamins, antioxidants and minerals in the prevention and treatment of hypertension and cardiovascular disease. *Ther. Adv. Cardiovasc.* 4, 165-183. <http://10.1177/1753944710368205>
- Investir au Canada (2014). Aliments fonctionnels et produits de santé naturels. Avantages concurrentiels du Canada. Affaires étrangères, Commerce et Développement Canada, Ottawa, ON, Canada. No. cat. FR5-38/19-2013F-PDF. ISBN 978-0-660-21634-8. (Hiver 2014). [https://publications.gc.ca/collections/collection\\_2015/maecd-dfatd/FR5-38-19-2013-fra.pdf](https://publications.gc.ca/collections/collection_2015/maecd-dfatd/FR5-38-19-2013-fra.pdf)
- Kendall, C.W.C., Esfahani, A., Jenkins, D.J.A. (2010). The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocoll.* 24, 42-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.08.002>

- Kim, J.H., Kim, D.H., Jo, S., Cho, M.J., Cho, Y.R., Lee, Y.J., Byun, S. (2022). Immunomodulatory functional foods and their molecular mechanisms. *Exp. Mol. Med.* 54, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s12276-022-00724-0>
- Komala, M.G., Ong, S.G., Qadri, M.U., Elshafie, L.M., Pollock, C.A., Saad, S. (2023). Investigating the regulatory process, safety, efficacy and product transparency for nutraceuticals in the USA, Europe and Australia. *Foods.* 12, 427. <https://doi.org/10.3390/foods12020427>
- Kulczynski et al. (2017) - The role of carotenoids in the prevention and treatment of cardiovascular disease – Current state of knowledge. *J. Funct. Foods.* 38, 45-65. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.001>
- Lacroix, M., Vu, K.D. (2016). Cranberry juice. In: Handbook of functional beverages and human health (1st Edition). Ed: Shaidi, F., Alasalvar, C. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. ISBN: 9780429167843. pp. 205-15.
- Lecerf, J.M. (2016). Acides gras saturés et risque cardio-métabolique. *Med. Des Mal. Metab.* 10, 421-9. [https://doi.org/10.1016/S1957-2557\(16\)30141-9](https://doi.org/10.1016/S1957-2557(16)30141-9)
- Lee, J., Zhao, N., Fu, Z., Choi, J., Lee, H.-J., Chung, M. (2021). Effects of garlic intake on cancer: a systematic review of randomized clinical trials and cohort studies. *Nutr. Res. Pract.* 15, 773-88. <https://doi.org/10.4162/nrp.2021.15.6.773>
- Lewis, E.D., Meydani, S.N., Wu, D. (2019). Regulatory role of vitamin E in the immune system and inflammation. *IUBMB Life.* 71, 487-94. <https://doi.org/10.1002/iub.1976>
- Liu, X., Nelson, A., Wang, X., Farid, M., Gunji, Y., Ikari, J., Iwasawa, S., Basma, H., Feghali-Bostwick, C., Rennard, S.I. (2014). Vitamin D modulates prostaglandin E2 synthesis and degradation in human lung fibroblasts. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.* 50, 40-50. <https://doi.org/10.1165/rcmb.2013-0211OC>
- Martirosyan, D. (2020). The emerging potential of functional foods in viral disease prevention. *FFHD.* 6, 95-9. <https://doi.org/10.31989/bchd.v3i6.726>
- Melendez-Martinez et al. (2021). Carotenoids: considerations for their use in functional foods, nutraceuticals, nutricosmetics, supplements, botanicals, and novel foods in the context of sustainability, circular economy, and climate change. *Ann. Rev. Food Sci. Technol.* 12, 433-60. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-062220-013218>
- Millette, M. et al. (2008). Characterization of probiotic properties of *Lactobacillus* strains. *Dairy Sci. Technol.* 88, 695-705. <https://doi.org/10.1051/dst:2008018>
- Ministère du Développement Économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE). (2010). Les produits de santé naturels, des occasions d'affaires à exploiter. 3<sup>ème</sup> trimestre 2010. ISBN : 978-2-550-59136-8. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2218259>
- Morelli, M.B., Gambardella, J., Castellanos, V., Trimarco, V., Santulli, G. (2020). Vitamin C and cardiovascular disease: An update. *Antioxidants.* 9, 1227. <https://doi.org/10.3390/antiox9121227>
- Munekata, P.E.S., Pateiro, M., Dominguez, R., Nieto, G., Kumar, M., Dhama, K., Lorenzo, J.M. (2023). Bioactive compounds from fruits as preservatives. *Foods.* 12, 343. <https://doi.org/10.3390/foods12020343>
- Nakashima et al. (2018). B-glucan in foods and its physiological functions. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 64, 8-17. <https://doi.org/10.3177/jnsv.64.8>

- Naqash, F., Masoodi, F.A., Rather, S.A., Wani, S.M., Gani, A., (2017). Emerging concepts in the nutraceutical and functional properties of pectin—A review. *Carbohydr. Polym.* 168, 227-39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.058>
- Oualid, D., Oucherif, M.N.E.H. (2021). Étude du marché de la nourriture fonctionnelle et alicaments. Mémoire de Master, Sciences de la Nature et de la Vie, Biochimie. Université des Frères Mentouri. Constantine, Algérie.
- Papackova, Z., Cahova, M. (2015). Fatty acid signaling: The new function of intracellular lipases. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 3831-55. <https://doi.org/10.3390/ijms16023831>
- Plasek, B., Temesi, A. (2019). The credibility of the effects of functional food products and consumers' willingness to purchase/willingness to pay— review. *Appetite.* 143, 104398. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.104398>
- ProActiv (2022). Que sont les acides gras monoinsaturés et polyinsaturés? ProActiv.com. Cœur & Cholestérol, Graisses saturées et insaturées. <https://www.pro-activ.com/fr-fr/coeur-et-cholesterol/graissses-saturees-et-insaturees/que-sont-les-acides-gras-monoinsatures-et-polyinsatures>
- Pushpaanjali, G., Geeta, R.V., Leslie Rani, S., Lakshmi, T. (2020). Recent advances in nutraceutical and functional food. *Indian J. Forensic Med. Toxicol.* 14, 5238-43. <http://doi.org/10.37506/ijfmt.v14i4.12446>
- Rodriguez, E.B., Flavier, M.E., Rodriguez-Amaya, D.B., Amaya-Farfan, J. (2006). Phytochemicals and functional foods. Current situation and prospect for developing countries. *Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas.* 13, 1-22. <https://doi.org/10.20396/san.v13i1.1841>
- San-Cristobal, R., Navas-Carretero, S., Martinez-Gonzalez, M.A., Ordovas, J.M., Martinez, J.A. (2020). Contribution of macronutrients to obesity: implications for precision nutrition. *Nat. Rev. Endocrinol.* 16, 305-20. <https://doi.org/10.1038/s41574-020-0346-8>
- Santé Canada (2023a). Produits de santé naturels. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-produits-sante/naturels-sans-ordonnance.html>
- Santé Canada (2023b). Règlement sur les produits de santé naturels. DORS/2003-196. <https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-2003-196.pdf>
- Santé Canada (2023c). Loi sur les aliments et drogues. L.R.C. (1985), ch. F-27. <https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/F-27.pdf>
- Santé Canada (2023d). Règlement sur les aliments et drogues. C.R.C., ch. 870. <https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/C.R.C., c. 870.pdf>
- Santé Canada (2022a). Questions et réponses sur les probiotiques. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/etiquetage-aliments/allegations-sante/questions-reponses-probiotiques.html#a1>
- Santé Canada (2022b). Règlement sur les produits de santé naturels au Canada. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-produits-sante/naturels-sans-ordonnance/reglement.html>
- Santé Canada (2016). Allégations santé. <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/etiquetage-aliments/allegations-sante.html>

- Santé Canada (1998). Document de politique (archivé) - Produits nutraceutiques/aliments fonctionnels et les allégations relatives aux effets sur la santé liées aux aliments. Programme des produits thérapeutiques et la Direction des aliments de la Direction générale de la protection de la santé. [https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/fn-an/alt\\_formats/hpfb-dgpsa/pdf/label-etiquet/nutra-funct\\_foods-nutra-fonct\\_aliment-fra.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/fn-an/alt_formats/hpfb-dgpsa/pdf/label-etiquet/nutra-funct_foods-nutra-fonct_aliment-fra.pdf)
- Shaidi, F. (2012). Nutraceuticals, functional foods and dietary supplements in health and disease. *J. Food Drug Anal.* 20, 226-30. <https://doi.org/10.3390/nu12061593>
- Shoukat, M., Sorrentino, A. (2021). Cereal β-glucan: a promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health. *Int. J. Food Sci. Technol.* 56, 2088-97. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14971>
- Société canadienne du cancer. (2022). Rapport spécial de 2022 sur la prévalence du cancer. Toronto (Ontario). Comité consultatif des statistiques canadiennes sur le cancer, en collaboration avec la Société canadienne du cancer, Statistique Canada et l'Agence de la santé publique du Canada. Numéro de publication : 0835-2976. <https://doi.org/10.24095/hpcdp.43.1.05f>
- Swanson, K.S., Gibson, G.R., Hutkins, R., Reimer, R.A., Reid, G., Verbeke, K., Scott, K.P., Holscher, H.D., Azad, M.B., Delzenne, N.M., Sanders, M.E. (2020). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 17, 687-701. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0344-2>
- Tappi, S., Tylewicz, U., Dalla Rosa, M. (2020). Chapter 8 - Effect of nonthermal technologies on functional food compounds. In: Sustainability of the food system. Sovereignty, waste, and nutrients bioavailability. Ed: Betoret, N., Betoret, E. Academic Press, Elsevier, Amsterdam, the Netherlands. ISBN 978-0-12-818293-2. pp. 147-65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818293-2.00008-2>
- Varsha, K.K., Narisetty, V., Brar, K.K., Madhavan, A., Alphy, M.P., Sindhu, R., Awasthi, M.K., Varjani, S., Binod, P. (2022). Bioactive metabolites in functional and fermented foods and their role as immunity booster and anti-viral innate mechanisms. *J. Food Sci. Technol.* 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05528-8>
- Viskelis, P., Rubinskiene, M., Jasutiene, I., Sarkinas, A., Daubaras, R., Cesoniene, L. (2009). Anthocyanins, antioxidative, and antimicrobial properties of American cranberry (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) and their press cakes. *J. Food Sci.* 74, C157-61. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01066.x>
- Vu, K.D., Carlettini, H., Bouvet, J., Côté, J., Doyon, G., Sylvain, J.-F., Lacroix, M. (2012). Effect of different cranberry extracts and juices during cranberry juice processing on the antiproliferative activity against two colon cancer cell lines. *Food Chem.* 132, 959-67. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.078>
- Wang, S., Zhao, M., Fan, H., Wu, J. (2022). Emerging proteins as precursors of bioactive peptides/hydrolysates with health benefits. *Curr. Opin. Food Sci.* 48, 100914. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100914>
- Wink, M. (2022). Current understanding of modes of action of multicomponent bioactive phytochemicals: Potential for nutraceuticals and antimicrobials. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 13, 337-59. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-100326>
- Yuan, B., Zhao, L., Yang, W., McClements, D.J., Hu, Q. (2017). Enrichment of bread with nutraceutical-rich mushrooms: Impact of *Auricularia auricular* (mushroom) flour upon quality attributes of wheat dough and bread. *J. Food Sci.* 82, 2041-50. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13812>

- Zheng, D., Liwinski, T., Elinav, E. (2020). Interaction between microbiota and immunity in health and disease. *Cell. Res.* 30, 492-506. <https://doi.org/10.1038/s41422-020-0332-7>

## Pour en savoir plus

### Principaux fournisseurs de nutraceutiques et d'aliments fonctionnels

#### Top 10 (mondial):

1. **Dutch State Mines (DSM):** <https://www.dsm.com/human-nutrition/en/products/nutraceuticals.html>
2. **Amway:** <https://www.amwayglobal.com/amway-products/nutrition/>
3. **Pfizer:** [https://www.pfizer.com/news/press-release/press-release-detail/introducing\\_pronutrients\\_a\\_new\\_line\\_of\\_dietary\\_supplements\\_from\\_the\\_makers\\_of\\_centrinum](https://www.pfizer.com/news/press-release/press-release-detail/introducing_pronutrients_a_new_line_of_dietary_supplements_from_the_makers_of_centrinum)
4. **Nestlé:** <https://www.corporate.nestle.ca/fr/nhw>
5. **The Kraft Heinz Company:** <https://www.kraftheinzcompany.com/>
6. **The Hain Celestial Group Inc.:** <https://www.hain.com/>
7. **Nature's Bounty:** <https://www.faitavecneville.ca/natures-bounty>
8. **General Mills Inc.:** <https://www.generalmills.ca/>
9. **Danone:** <https://www.danone.ca/fr/>
10. **Tyson Foods:** <https://www.tysonfoods.com/our-brands>

#### Top 10 (Canada):

1. **General Mills Inc.:** <https://www.generalmills.ca/>
2. **GFR Pharma:** <https://gfrpharma.com/>
3. **Herbalife:** <https://www.herbalife.ca/>
4. **Cargill Inc.:** <https://www.cargill.com/food-beverage/na/health-promoting-ingredients>
5. **Amway:** <https://www.amwayglobal.com/amway-products/nutrition/>
6. **Bremner Foods Ltd:** <https://www.bremnerfoods.com/our-products.html>
7. **Eurofins Experchem Laboratories:** <https://www.eurofins.ca/en/our-services/food-testing-and-analysis/>
8. **Aroma Borealis:** <https://aromaborealis.com/>
9. **Omega Nutrition Canada:** <https://omeganutrition.com/>
10. **DPA Industries:** <https://dpagold.com/>

### Réussites canadiennes

#### Aliments fonctionnels:

- **Saputo:** boisson énergétique à forte teneur en protéines Lait's Go
- **LaHave Natural Farms:** jus de chèvrefeuille bleu
- **Biscuits Leclerc:** biscuits Praeventia (au vin rouge et à l'inuline provenant de la chicorée)
- **Martin's Family Fruit Farm:** collations faites de croustilles de pommes (sans agent de conservation)
- **HapiFoods' Holly Crap:** céréales multigrains biologiques (sans gluten et sans OGM)
- **Atoka:** canneberges séchées, en poudre, concentrées ou congelées

- **Acadian Seaplants:** intégration de plantes marines dans les aliments, les nutraceutiques et les produits de beauté

#### Produits de santé naturels (PSN):

- **Centre de Recherche Agroalimentaire du Pacifique (CRAP):** extraction d'anthocyanes des petits fruits et du vin rouge
- **Nutra Canada:** extraits de fruits et de légumes
- **Greenfield Naturals:** extraits de protéines et de fibres de produits dérivés de l'éthanol de maïs
- **Nanton Nutraceuticals:** Rhoziva (supplément tiré de l'orpin rose, plante de l'Arctique)
- **Island Abbey Foods:** pastilles au miel Honibe (renfermant du menthol et de l'eucalyptus)
- **Natural Factor Nutritional Products:** PGX (PolyGlycopleX<sup>MD</sup>, complexe de fibres pour contrôler l'appétit)
- **Valeant Pharmaceuticals:** Cold-FX<sup>®</sup> (immuno-stimulant de source naturelle, à partir de ginseng nord-américain)

(d'après Agriculture et Agroalimentaire Canada. (mai 2014). Les aliments fonctionnels et les produits de santé naturels du Canada. No. AAC 12206F).

#### Entreprises florissantes (et inspirantes) dans le secteur des aliments fonctionnels au Québec

- **Agropur:** la plus importante coopérative laitière au Canada
- **Bio-K+, a Kerry Company:** probiotiques et ingrédients actifs de qualité supérieure
- **Fruits d'Or:** produits nutraceutiques à base de canneberge et de bleuets
- **Seabiosis:** transformation d'algues de mer en produits alimentaires
- **Groupe Environex:** analyses pour soutenir les entreprises désirant innover dans le secteur des aliments fonctionnels
- **ADM:** ingrédients pour suppléments alimentaires
- **Lallemand:** levures, bactéries et ingrédients fonctionnels
- **Ingredient Canada:** produits de santé naturels (prébiotiques, probiotiques), ingrédients fonctionnels
- **Kerry Canada:** PSN (probiotiques), ingrédients fonctionnels (ProActive Health)

(d'après Investissement Québec International. Nouvelles, Aliments fonctionnels: tendances du marché et entreprises florissantes. (4 oct. 2018). <https://www.investquebec.com/international/fr/salle-de-presse/nouvelle/Aliments-fonctionnels-tendances-du-marche-et-entreprises-florissantes.html>).

#### Liens Internet

##### Marchés:

- <https://www.expertmarketresearch.com/reports/canada-functional-food-and-natural-health-products-market>
- <https://www.euromonitor.com/article/emerging-trends-in-functional-food>
- <https://www.bevindustry.com/articles/95241-five-functional-beverage-trends-in-2022>
- <https://www.prnewswire.com/in/news-releases/functional-food-market-size-is-estimated-to-reach-usd-267-924-4-million-by-2027-valuates-reports-885918187.html>
- <https://www.statista.com/statistics/1040741/functional-foods-market-size-canada/>
- <https://www.businesswire.com/news/home/20201009005190/en/Global-Functional-Food-Market-2020-to-2027---by-Ingredient-Product-and-Application---ResearchAndMarkets.com>
- <https://pepswork.com/2020/08/13/agroalimentaire-micro-algues-marche-croissance/>
- <https://www.agro-media.fr/dossier/les-principales-tendances-qui-auront-un-impact-sur-lindustrie-alimentaire-selon-food-industry-46034.html>

- <https://www.statista.com/topics/1321/functional-foods-market/#dossierSummary>
- <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/05/28/2039919/0/en/Market-OverviewThe-Canadian-nutraceuticals-market-is-expected-to-witness-a-growth-rate-of-5-62-during-the-forecast-period-2019-2024.html>
- <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/nutraceutical-market/>
- <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/global-nutraceuticals-market>
- <https://mordorintelligence.com/fr/industry-reports/global-functional-food-market>
- <https://agriculture.canada.ca/fr/commerce-international/reseignements-marches/rapports>
- [https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV\\_f.pl?Function=getSurvey&SDDS=5038&wbdisable=true](https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p2SV_f.pl?Function=getSurvey&SDDS=5038&wbdisable=true)
- <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/18-001-x/2013001/part-partie1-fra.htm>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996923005586?via%3Dihub>
- <https://agriculture.canada.ca/fr/commerce-international/reseignements-marches/rapports/serie-sante-bien-etre-boissons-aliments-fonctionnels-aux-etats-unis>

### Fonctionnalités:

- <https://www.inaf.ulaval.ca/>
- <https://khni.kerry.com/news/articles/the-expanding-need-for-functional-foods/>
- [https://khni.kerry.com/wp-content/uploads/2018/07/Better-Beverages\\_KHNI-Webinar-Infographics\\_f.pdf](https://khni.kerry.com/wp-content/uploads/2018/07/Better-Beverages_KHNI-Webinar-Infographics_f.pdf)
- <https://khni.kerry.com/trends-and-insights/health-statistics-and-trends/>
- <https://www.drinksurely.com/a/blog/functional-beverages>
- <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2007/march/features/overcoming-challenges-in-functional-beverages>
- <https://www.novacti.com/>
- [https://tpe\\_the\\_vert.wikeo.fr/polyphenols-flavanoides-et-catechine-une-question-de-groupe.html](https://tpe_the_vert.wikeo.fr/polyphenols-flavanoides-et-catechine-une-question-de-groupe.html)
- [https://www.craaq.gc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-d\\_accompagnement-pour-le-conseil-en-transformation-alimentaire-developper-un-produit-alimentaire-ingredients-de-la-reussite/p/PALI0114-PDF](https://www.craaq.gc.ca/Publications-du-CRAAQ/guide-d_accompagnement-pour-le-conseil-en-transformation-alimentaire-developper-un-produit-alimentaire-ingredients-de-la-reussite/p/PALI0114-PDF)
- <https://www.selection.ca/cuisine/nutrition/6-meilleurs-aliments-enrichis/>
- <https://www.arcticgardens.ca/blog/fr/10-aliments-fonctionnels-qui-guerissent/>
- <https://www.coupdepouce.com/sante-et-vitalite/nutrition/article/que-sont-les-aliments-fonctionnels-ou-nutraceutiques>
- <https://www.eufic.org/fr/production-alimentaire/categorie/aliments-fonctionnels>
- <https://newrootsherbal.com/fr/products>
- <https://www.rfi.fr/fr/science/20170606-produits-sante-naturels-aliments-fonctionnels-est-exactement-stephane-besancon>
- <https://vegan.rocks/fr/blog/functional-foods/>
- [https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=aliments\\_verts\\_greens\\_ps](https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=aliments_verts_greens_ps)
- <https://www.compagnie-des-sens.fr/rapport-omega-3-omega-6-essentiel/#:~:text=On%20recommande%20aujourd'hui%20un,5%20mol%C3%A9cules%20d'Om%C3%A9gas%206>
- <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/understanding-antioxidants>
- <https://www.toutelanutrition.com/wikifit/nutrition/complements/qu-est-ce-que-la-nutraceutique>
- <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-nutrition/2544282-selenium-aliments-bienfaits-proprietes-definition/>
- [https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2020/july/columns/nutraceuticals-sporting-wellness?utm\\_campaign=Food%20Technology%20TOC%20Alerts&utm\\_medium=email&hsmi=911](https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2020/july/columns/nutraceuticals-sporting-wellness?utm_campaign=Food%20Technology%20TOC%20Alerts&utm_medium=email&hsmi=911)

[95413&\\_hsenc=p2ANqtz-myQ6rLsevaZYEQZndzFi9R1-6WyLyaHF2ppyQsb9VSUxmEHh2jgmSZ1tvVf2EnnLZEvKqYBTaidiH2wloBNyMwvX5tK8HogFRbDY\\_ntqZ4yF9JH8&utm\\_content=91195413&utm\\_source=hs\\_email](https://www.selection.ca/sante/prevention/30-meilleurs-aliments-anticancer-au-monde/)

- <https://www.selection.ca/sante/prevention/30-meilleurs-aliments-anticancer-au-monde/>
- <https://www.toutelanutrition.com/wikifit/nutrition/complements/qu-est-ce-que-la-nutraceutique>

#### Probiotiques, système immunitaire et tractus gastro-intestinal:

- <https://isappscience.org/>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK27169/>
- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7670/>
- <https://probiom.com/probiom-blog/the-intestinal-microflora-the-immune-system-and-probiotics>
- <http://elegantexperiments.net/fr/post/aire-tube-digestif/>
- <https://cdhf.ca/fr/ailments-fonctionnels-le-pouvoir-des-probiotiques/#:~:text=Sant%C3%A9%20Canada%20a%20propos%C3%A9%20de%20d%C3%A9finir%20un%20aliment,au-del%C3%A0%20des%20fonctions%20nutritionnelles%20de%20base%20C2%BB%201>

#### Règlementation:

- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/organisation/a-propos-sante-canada/directions-generales-agences/direction-generale-produits-sante-aliments/direction-produits-sante-naturels-sans-ordonnance.html>
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-produits-sante/naturels-sans-ordonnance.html>
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-produits-sante/naturels-sans-ordonnance/reglement/au-sujet-produits.html>
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-produits-sante/naturels-sans-ordonnance/reglement.html>
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/aliments-nutrition/etiquetage-aliments/allegations-sante.html>
- <https://www.ulaval.ca/etudes/cours/nut-7017-psn-nutraceutiques-et-aliments-fonctionnels-les-enjeux>
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-produits-sante/naturels-sans-ordonnance/demandes-presentations/licence-mise-marche/base-donnees-produits-sante-naturels-homologues.html>
- <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/medicaments-produits-sante/naturels-sans-ordonnance/reglement/autorise-vente-43-000-produits-nombre-est-hausse.html>

### Qui sommes-nous – Les membres du groupe INRS-PROX

- **Monique Lacroix** est Professeure titulaire à l'INRS-Centre Armand-Frappier Santé Biotechnologie (AFSB), titulaire de la Chaire de recherche du MAPAQ en Salubrité et qualité des aliments, Laboratoires de Recherche en Sciences, Appliquées à l'Alimentation (RESALA), Centre d'Irradiation du Canada (CIC), Laval, QC, Canada. Courriel: [monique.lacroix@inrs.ca](mailto:monique.lacroix@inrs.ca); <https://inrs.ca/la-recherche/professeurs/monique-lacroix/>
- **Stéphane Salmieri** est Agent de recherche – Chimiste à l'INRS-Centre AFSB, membre-superviseur des Laboratoires RESALA et du CIC. Courriel: [stephane.salmieri@inrs.ca](mailto:stephane.salmieri@inrs.ca).

- **Chantal Provost** est Présidente-Directrice Générale, Superviseure de la Coordination avec l'Industrie chez Prox Industriel, Laval, QC, Canada. Courriel: [cprovost@prox-industriel.ca](mailto:cprovost@prox-industriel.ca).
- **Stéphane Tanguay** est Directeur des relations-clients et du développement des partenariats chez Prox-Industriel. Courriel : [stanguay@prox-industriel.ca](mailto:stanguay@prox-industriel.ca).

Nous sommes les principaux intervenants d'un projet d'activités de communication portant sur l'innovation en agroalimentaire intitulé "*Réseau Innovation et programme de transfert de connaissances aux industries agroalimentaires québécoises pour améliorer leur compétitivité et former une main-d'œuvre spécialisée*".



## Remerciements

Ce projet est financé par l'entremise du Programme Innov'Action agroalimentaire, en vertu du Partenariat canadien pour l'agriculture, entente conclue entre les gouvernements du Canada et du Québec.

