



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 البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimî B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques.

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Intitulé :

Applications, mécanismes d'action et impact des
probiotiques sur la santé humaine (étude bibliographique)

Présenté par:

Belayali Asma & Benameur Boutheyna

Soutenu le 11 / 06/ 2024, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. /Mme. IRATNI Nadjat	MAA	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	M. /Mme. BOUFAFA Mouna	MAB	Université de Bordj Bou Arreridj
Co-Encadrant	M. /Mme. AMARA KORBA Raouf	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur :	M. /Mme. BOUGUERRA Asma	MCA	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2023/2024

REMERCIEMENTS

*D'abord et avant tout, louange à Allah, qui nous a donné la capacité et la patience et qui nous a aidés et soutenus pour achever ce modeste travail tout au long de notre parcours, reconnaissant Sa grande faveur et Sa grâce à Allah de notre carrière académique. Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame **IRATNI Nadjat** pour avoir accepté de présider le jury de notre mémoire. Qu'elle soit assurée de notre plus grand respect. Nos sincères remerciements vont à Madame **BOUGUERRA Asma** pour l'honneur et le privilège qu'elle nous a accordé en acceptant d'examiner ce travail. Nous lui adressons toute notre gratitude et nos sentiments les plus respectueux. Nous voudrions exprimer nos remerciements et notre gratitude à notre superviseur, le **Dr Boufafa Mouna**, pour ses conseils, sa direction et son soutien inestimable, qui ne nous a jamais épargné ses connaissances, son expérience et sa patience tout au long de ce projet, car elle a été la raison la plus importante de la réussite de notre travail. Nous tenons également à remercier sincèrement le **Dr Amara Korba Raouf** d'avoir pris le temps de lire cette thèse. Enfin, nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude à tous les professeurs de notre collège qui n'ont pas lésiné sur leurs connaissances et à tous ceux qui nous ont aidés tout au long de ces cinq années.*

Asma et Boutheyna

DÉDICACE:

Le parcours scolaire touche véritablement à sa fin, après cinq années d'efforts et de travail acharné pour le savoir. Ce n'était pas un voyage court, facile, ni même un rêve proche, mais plutôt un voyage portant dans ses plis des prières lors de la prosternation et des souhaits lors des nuits froides. Aujourd'hui, ma fatigue est devenue douce à mes yeux. Ô Dieu, je te remercie pour ta grâce et ta guidance dans l'accomplissement de ce succès. Louange à Dieu jusqu'à ce que la louange atteigne son apogée.

Je dédie cette réussite à moi-même, qui ai lutté et travaillé sans jamais échouer ni faiblir un jour dans ma quête d'atteindre mes objectifs. Aujourd'hui, je récolte les fruits de mes années, levant fièrement mon diplôme, heureuse de ma victoire.

À toi qui possèdes un paradis à tes pieds, toi qui m'as soutenu sans limites, donné sans rien attendre en retour, toi qui as facilité mes épreuves avec tes prières, qui m'as enlacé avec ton cœur avant tes bras, le rubis de ma vie, "**ma mère**" ma première et éternelle supportrice, je te dédie ce succès. Sans tes sacrifices énormes, je n'aurais jamais atteint ce que je suis aujourd'hui. Je suis très reconnaissant que Dieu t'ait choisie parmi les humains comme un soutien sur lequel je peux compter.

À celle qui a rendu ma vie plus belle par ses paroles, ses actions et son attention, la douceur de ma vie, ma sœur que ma mère n'a pas donnée naissance : **Katia**, merci pour avoir sculpté mes jours avec ton cœur pur. Merci pour ta présence et pour tout l'amour, la sincérité et la loyauté que tu m'as offerts. Que tu restes pour moi la meilleure des sœurs.

À ma collègue de travail **Asma**, merci pour ta gentillesse, ton respect, merci pour ton cœur doux et aimant, merci pour ta patience et ta compréhension. Tu es merveilleuse.

Enfin, je dédie ce succès à ceux qui ont contribué à ma réussite par leur générosité et leur soutien continu. Merci pour votre encouragement permanent et votre reconnaissance sincère.

Boutheyna

DÉDICACE:

"Au nom de mon Créateur, de mon Facilitateur et de mon Soutien, c'est à Toi que reviennent toutes les louanges et toute la gratitude " Louanges, remerciements et gratitude pour le début et la fin. Mon parcours universitaire s'est achevé après bien des efforts et des épreuves, et aujourd'hui je couronne les derniers moments de ma recherche de fin d'études avec force et vigueur. Je dédie ce succès à mon ambitieux moi, qui a commencé avec l'ambition et a fini avec le succès, la locomotive de la recherche a traversé de nombreux obstacles, mais j'ai essayé de les surmonter régulièrement par la grâce de Dieu, grâce à Dieu qui a facilité les débuts et a atteint la fin avec sa grâce et sa générosité.

- À la lumière qui a éclairé mon chemin et qui a déployé l'effort des années pour que je puisse gravir les marches du succès, mon bien-aimé, **mon cher père**.
- À celle qui m'a enseigné la morale, qui m'a embrassé avec son cœur avant ses mains et qui a atténué mon adversité avec ses prières : **Ma précieuse mère**.
- À ceux qui m'encouragent et continuent de me donner et de me soutenir sans contrepartie, à ceux qui ont été pour beaucoup dans ces victoires, à mes sœurs **Samiha** et **Siham**.
- À l'inspirateur de mon succès, qui m'a soutenu avec amour lorsque j'étais faible et a écarté les difficultés de mon chemin, m'ouvrant la voie, m'insufflant confiance et détermination, l'épaule sur laquelle je m'appuie toujours, et l'ombre de ce succès, mon frère **Nasreddine**.
- À mon neveu **Anas**, que Dieu prolonge sa vie et lui permette d'atteindre les plus hauts rangs.
- À ma chère amie **Nesrine**, merci pour ton soutien et tes encouragements. Tu es ma meilleure amie.
- À ma collègue **Boutheyna**, merci pour cette expérience inoubliable avec toi et pour ta patience, ta compréhension et ta gentillesse Vous êtes merveilleuses.

Je prie Allah le Tout-Puissant de prolonger vos vies et de vous bénir avec de bonnes choses.

Asma

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur les probiotiques	
1.1. Définition	3
1.2. Historique.....	3
1.3. Critères de sélection des souches probiotiques	3
1.3.1. Survie au cours du transit digestif.....	4
◆ L'acido-résistance	4
◆ La bilio-résistance et survie fécale	5
1.3.2. Adhésion à la muqueuse intestinale.....	5
1.3.3. L'origine humaine	6
1.3.4. L'activité antimicrobienne	6
1.4. Principales souches microbiennes à potentiel probiotique	7
1.4.1. Les bactéries du genre <i>Lactobacillus</i>	7
1.4.2. Les bactéries du genre <i>Bifidobacterium</i>	8
1.4.3. <i>Streptococcus thermophilus</i>	10
1.4.4. <i>Lactococcus lactis</i>	11
1.4.5. <i>Saccharomyces cerevisiae var boulardii</i>	12
Chapitre II : le tractus gastro intestinal et son microbite	
2. Le microbiote intestinal.....	15
2.1. Définition	15
2.2. Composition du microbiote intestinal	15
2.3. Les facteurs influençant la composition du microbiote intestinal	17
2.3.1. Influence du mode d'accouchement	17
2.3.2 Influence de l'alimentation	17
2.3.3. Influence des antibiotiques	19
2.3.4. Influence de l'environnement et des conditions d'hygiène	19
2.3.5 influences de la génétique	19

2.4. Rôle du microbiote	20
2.4.1. Le microbiote naturel de l'homme	20
2.4.2. La muqueuse intestinale	21
2.4.3. Le système immunitaire intestinal	22
2.5. Les différentes pathologies améliorées par les probiotiques	23
2.5.1: Les différentes pathologies	23
2.5.1.1. Les gastro-entérites	23
2.5.1.2. Pathologies inflammatoires du tube digestif	23
2.5.1.3. Recto-colite hémorragique	24
2.5.1.4. Maladie de Crohn	25
2.5.1.5. Ulcères à <i>Helicobacter pylori</i>	26
2.5.1.6. Syndrome du côlon irritable	27
2.5.2 . Action des probiotiques sur les maladies	28
Chapitre III : Impact des probiotiques sur la santé humaine	
3. Les probiotiques et leurs effets bénéfiques sur la santé de l'homme	29
3.1. Effets bénéfiques des probiotiques sur les fonctions intestinales	29
3.1.1. Probiotiques et diarrhées	29
3.1.1.1. La diarrhée du voyageur	29
3.1.1.2. La diarrhée associée aux antibiotiques	30
◆ Impact des probiotiques pour ces deux types de diarrhée	30
3.1.2. Les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin	31
▪ La maladie de Crohn	31
▪ La rectocolite hémorragique (RCH)	31
▪ La maladie de pouchite	31
3.2. Mécanismes d'action des probiotiques	32
3.2.1. Mécanismes d'action sur le syndrome du côlon irritable	32
3.2.2. Mécanismes d'action sur les infections de l'estomac à <i>Helicobacter pylori</i>	32
3.2.3. Mécanismes d'action sur le cancer colorectal	33
3.2.4. Mécanismes d'action sur l'intolérance au lactose	33
3.3. Effets bénéfiques des probiotiques sur les fonctions extra-digestives	35
3.3.1. Les allergies	35

3.3.2. Les infections du système respiratoire supérieur	36
3.3.3. Les infections vaginales	36
3.3.4. La réduction du taux de cholestérol.....	37
3.4. Futures approches des probiotiques	38
3.4.1. Probiotiques et pathologies dentaires	38
3.4.2. Probiotiques et maladies mentales.....	38
3.4.3. Probiotiques, obésité et diabète	39
Conclusion	41

Liste des références bibliographiques

Le résumé

Liste des tableaux

Tableau I : les facteurs alimentaires affectant la communauté microbienne intestinale.....17

Tableau II : Probiotiques utilisés pour prévenir ou traiter les allergies.....35

Liste des figures

Figure 1: <i>Lactobacillus plantarum</i>	8
Figure 2: <i>Bifidobacterium Longum</i>	9
Figure 3 : <i>Streptococcus thermophilus</i>	10
Figure 4 : Micrographie électronique à balayage de <i>Lactococcus lactis</i>	12
Figure 5 : <i>Saccharomyces cerevisiae var boulardii</i>	13
Figure 6 : Le microbiote intestinal associé au système digestif	16
Figure 7 : Diversité des procaryotes, des eucaryotes et des virus dans le microbiote intestinal humain	20
Figure 8 : La recto-colite hémorragique	25
Figure 9 : La maladie de Crohn	26
Figure 10: L'ulcère à <i>Helicobacter pylori</i>	27
Figure11 : la comparaison entre la digestion normale et la digestion en cas d'intolérance au lactose	34

Liste des abréviations

OMS : Organisation mondiale de la santé

FAO : Organisation pour l'alimentation et l'agriculture

GRAS : Generally Recognized As Safe

FDA : Administration des aliments et des médicaments

pH : Potentiel hydrogène

VIH : virus de l'immunodéficience humaine

B12 : cobalamine

B11 : acide folique

K : vitamine liposoluble essentielle pour la coagulation sanguine

Spp. : Plusieurs espèces.

HAV : virus de l'hépatite A

HBV : virus de l'hépatite B

HCV : virus de l'hépatite C

HDV : virus de l'hépatite D

HEV : virus de l'hépatite E

DAA : une diarrhée associée aux antibiotiques

MICI : Les maladies inflammatoires chronique de l'intestin

MC : la maladie de Crohn

MHI : des maladies inflammatoires de l'intestin

RCH : La rectocolite hémorragique

VSL 3 : Le complément alimentaire Lactiplus

IVRS : Les infections des voies respiratoires supérieures

LDL : lipoprotéine de basse densité

HDL : lipoprotéine de haute densité

Introduction

Introduction :

Les avancées dans le domaine de la microbiologie au cours du siècle dernier ont révélé une diversité impressionnante de plus de 400 espèces de micro-organismes peuplant le système digestif humain (**Rajilić-Stojanović et al., 2007**). Cette diversité étonnante explique en partie la colonisation abondante de l'intestin par ces organismes, qui trouvent dans cet organe un habitat particulièrement propice. En effet, l'intestin humain se distingue par la plus grande concentration de microbiote parmi les différentes parties du corps, formant ainsi un écosystème complexe et dynamique essentiel au maintien de la santé digestive et globale (**Dieterich et al., 2018**).

Les micro-organismes présents dans le système digestif humain revêtent une importance cruciale en raison de leurs fonctions et de leurs effets sur l'hôte (**Rajilić-Stojanović et al., 2007**). Ces organismes sont catégorisés en deux groupes principaux : les germes pathogènes et les bactéries probiotiques. Les germes pathogènes sont souvent introduits dans l'organisme à partir de sources externes telles que les aliments contaminés ou l'eau, entraînant des maladies et des infections, notamment dans le tractus gastro-intestinal où ils perturbent l'équilibre des microbiote. En revanche, les bactéries probiotiques sont des micro-organismes non pathogènes qui, lorsqu'ils sont consommés en quantités appropriées, exercent des effets positifs et bénéfiques sur la santé. Elles contribuent à la prévention et au traitement des infections et des maladies causées par les germes pathogènes en favorisant un équilibre sain dans le microbiote intestinal (**Stavropoulou et Bezirtzoglou, 2020**).

La présence d'un grand nombre d'organismes bénéfiques dans le tractus gastro-intestinal humain, en particulier dans l'intestin, indique clairement que les probiotiques ont des propriétés et des qualités qui les aident à s'adapter à ces conditions de vie difficiles (**Stavropoulou et Bezirtzoglou, 2020**). Parmi les souches bactériennes les plus couramment utilisées comme probiotiques, on trouve *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*, les scientifiques classent ces souches en fonction d'une série de caractéristiques différentes, notamment leur état de santé. En outre, ces souches contribuent à la prévention et au traitement de nombreuses maladies, telles que la maladie de Crohn, le syndrome de l'intestin irritable, et renforcent le système immunitaire d'un individu.

Ces effets sont exercés par une variété de mécanismes d'action, notamment la compétition avec les organismes nuisibles pour adhérer à la paroi intestinale et la promotion de la santé digestive. Ces souches bactériennes favorisent l'équilibre bactérien dans le tractus gastro-intestinal, contribuant ainsi à une meilleure digestion, à une absorption plus efficace des nutriments et à une amélioration de la santé générale de l'organisme (**Dieterich *et al.*, 2018**).

C'est pourquoi, il est essentiel de comprendre comment les probiotiques défendent notre organisme contre les agents pathogènes et le préservent des maladies, qu'elles touchent le tractus gastro-intestinal ou d'autres parties du corps.

Dans ce mémoire divisé en trois chapitres, nous avons exploré ces mécanismes de défense :

Le premier chapitre va nous familiariser avec les probiotiques et leurs souches bactériennes clés, largement répandues et aux effets multiples.

Le deuxième chapitre va traiter l'écosystème gastro-intestinal et le rôle crucial du microbiote intestinal, ainsi que des maladies les plus impactées par les probiotiques.

Enfin, le troisième chapitre va mettre en lumière les effets bénéfiques primordiaux des probiotiques sur le fonctionnement intestinal. Nous allons également examiner leurs mécanismes d'action et leurs applications variées dans les maladies courantes qui affectent la santé humaine aujourd'hui

Chapitre I :

Généralités sur les probiotiques

1.1. Définition :

Le terme "probiotique" vient du grec et signifie littéralement "pour la vie", il désigne les micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont ingérés en quantité suffisante, apportent des bienfaits à la santé de l'hôte. Parmi les espèces bactériennes couramment associées aux probiotiques, on trouve les genres *Lactobacillus* et le *Bifidobacterium*, ainsi que d'autres genres comme les streptocoques et les entérocoques. Les levures, notamment *Saccharomyces boulardii*, sont également considérées comme des probiotiques (**Butel, 2014**). La désignation des souches probiotiques suit le code international de nomenclature des micro-organismes, avec des recommandations pour leur dépôt dans des collections de cultures internationalement reconnues (**Burgain et al., 2011**).

1.2. Historique:

L'histoire des probiotiques remonte au début du XXe siècle avec les travaux d'Ilya Michnikov, un scientifique russe qui, fasciné par la santé des paysans bulgares, a découvert que les bactéries lactiques présentes dans leurs produits laitiers fermentés contribuaient à prévenir l'auto-intoxication intestinale. Ce concept fut ultérieurement développé par le pédiatre Français Henri Tissier en 1917, qui suggéra l'utilisation de bactéries en forme de Y, appelées *Bacillus bifidusommunis*, pour traiter la diarrhée chez les enfants (**Guarner et al., 2011**).

Au fil des décennies, la compréhension des probiotiques a évolué. En 1960, le terme "probiotique" a été créé pour décrire les effets positifs de substances produites par des micro-organismes sur d'autres (**Klaenhammer, 2000**). Fuller a élargi la définition en 1982, la qualifiant de complément alimentaire microbien bénéfique pour l'hygiène intestinale. En 2002, l'OMS et la FAO ont officiellement défini les probiotiques comme des organismes vivants ayant un impact positif sur la santé de l'hôte lorsqu'ils sont ingérés en quantité suffisante (**OMS/FAO, 2001**).

1.3. Critères de sélection des souches probiotiques :

Le système digestif humain abrite un nombre considérable de micro-organismes, qui soient pathogènes ou non. Ainsi, les scientifiques ont cherché à améliorer la santé humaine à travers l'utilisation des probiotiques, en rééquilibrant les micro-organismes présents dans le tractus gastro-intestinal, notamment dans l'intestin.

À la suite d'études approfondies, les chercheurs ont convenu des caractéristiques essentielles qu'une souche probiotique doit posséder pour apporter des bienfaits à la santé humaine et au système digestif. Parmi les critères les plus importants pour la sélection des souches probiotiques, on cite :

- une résistance aux conditions de transit dans le tractus gastro-intestinal et à la survie, y compris l'acidité et les niveaux élevés d'acides biliaries
- Capacité d'adhérer à la muqueuse intestinale, stimulant ainsi le système immunitaire de la muqueuse.
- Origine humaine
- Propriétés antioxydantes, ouvrir la capacité de composés, anticancéreux et antimicrobiens.
- Reconnaissance comme sûr (Generally Recognized As Safe - GRAS).
- Activité métabolique favorisant la transformation des aliments en énergie (Collins *et al.*, 1998).

1.3.1. Survie au cours du transit digestif :

Les mécanismes digestifs permettent aux aliments d'être transformés en nutriments pour être absorbés par l'organisme. Les probiotiques ingérés par voie orale peuvent se modifier lors de leur passage dans les différentes parties du système digestif et leur capacité à survivre détermine leur effet sur ces parties. Les probiotiques doivent surmonter l'acidité de l'estomac et les sels biliaries, qui sont les principaux obstacles à leur fonctionnement dans l'intestin grêle et le côlon.

◆ L'acido-résistance :

Les bactéries sont exceptionnellement adaptées au pH par un mécanisme appelé réponse de tolérance à l'acide, qui implique la synthèse d'enzymes qui protègent le micro-organisme, lui permettant par exemple d'utiliser des pompes pour éliminer le H⁺ du cytoplasme et également de produire de l'ammoniac qui maintient un pH neutre, permettant ainsi au micro-organisme de faire face au pH acide de l'estomac et de passer sans problème dans l'iléon (Ebel, 2012).

Saarela *et al.*, (2004) ont montré que la réponse au stress acide varie d'une souche à l'autre pour les genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*. La résistance au pH des lactobacilles est plus importante que celle des bifidobactéries (Ebel, 2012).

◆ La bilio-résistance et la survie fécale :

Les acides biliaires jouent un rôle important dans la facilitation de la digestion mais ont également un rôle antimicrobien important dans la formation de la flore intestinale en sélectionnant les micro-organismes, en détruisant leurs protéines et en perturbant leur réponse immunitaire. Seules les bactéries tolérantes aux acides peuvent survivre après passage à traverser l'intestin.

En revanche, l'environnement intestinal réunit de nombreux facteurs potentiellement toxiques. C'est pourquoi il existe des études *in vivo* qui mesurent la résistance des probiotiques aux acides biliaires. Ces études ont montré, à titre d'exemple avec *Lactobacillus rhamnosus*, que ces probiotiques ont survécu dans les fèces, ce qui indique leur grande résistance aux acides biliaires (Goldin *et al.*, 1992).

1.3.2. Adhésion à la muqueuse intestinale :

Les recherches menées par des chercheurs et des scientifiques ont révélé que la muqueuse interne renferme des composés glycoprotéiques qui entravent la fixation des bactéries pathogènes. En revanche, les probiotiques, en tant qu'organismes non pathogènes, ont la capacité de se fixer sur la muqueuse grâce à leur efficacité dans la régulation du système immunitaire, notamment en luttant contre les micro-organismes pathogènes (Javanshir *et al.*, 2021). Certains chercheurs émettent l'hypothèse que l'effet le plus important des probiotiques est lié à leur adhésion aux micro-organismes qui adhèrent à la muqueuse.

Les probiotiques se multiplient à proximité ou en adhérant à la muqueuse en présence d'une quantité suffisante de sucre ou de glycoprotéines, qui les utilisent comme une source d'énergie.

Le processus d'adhésion des bactéries lactiques à la membrane est une manifestation complexe impliquant :

- Forces négatives
- Phénomène statique
- Forces hydrophobes
- Interactions électrostatiques (Servin et Coconnier, 2003).

1.3.3. L'Origine humaine :

Les chercheurs ont rencontré plusieurs difficultés pour déterminer l'origine des probiotiques en raison de nombreuses hypothèses et de preuves complexes. Leur première hypothèse était que les probiotiques étaient d'origine humaine. Ils sont donc partis du fait que les humains naissent avec des intestins stériles, c'est-à-dire qu'à la naissance, les intestins des bébés sont initialement dépourvus de tout micro-organisme. Cependant, très rapidement, des micro-organismes commencent à coloniser leurs intestins à partir de ceux de la mère pendant l'accouchement. En outre, la première source de nourriture pour les nouveau-nés, le colostrum, est riche en micro-organismes qui ont été démontrés, dans certaines conditions favorables, avoir des propriétés probiotiques. L'alimentation passe alors du colostrum au lait maternel, riche en bactéries lactiques et en bifidobactéries.

Pour appuyer leur hypothèse, les chercheurs ont réalisé une expérience comparant les selles de bébés nourris au sein à celles de bébés nourris au lait maternisé. Les résultats ont montré que les selles des bébés nourris au lait maternisé étaient principalement composées de bactéries coliformes et d'entérocoques, tandis que celles des bébés nourris au lait maternel présentaient une prédominance de bactéries lactiques et de bifidobactéries (**Novak et al ., 2001**).

D'autres affirment que l'origine des probiotiques est diverse :

1. Les produits laitiers et fermentés sont souvent riches en acide lactique et en *bifidobactéries* provenant de *Lactobacillus* spp.
2. Entrailles d'animaux : Poulet, poisson....
3. Fruits contenant *Lactobacillus paracasei* et *Lactobacillus plantarum* (**Fontana et al., 2013**).

1.3.4. L'activité antimicrobienne :

Les bactéries lactiques possèdent plusieurs caractéristiques importantes pour assurer leur existence, leur fonction et leur efficacité dans la préservation des nutriments et la compétition pour les sources de nourriture. Une de ces caractéristiques clés est l'utilisation de molécules antibactériennes, telles que les bactériocines (H₂O₂, Acide organiques...), (**Jasniewski ,2008 ; Léonard ,2013**).

Des rapports scientifiques ont également mis en lumière que les bifidobactéries produisent des antimicrobiens (**Ibrahim et Salameh, 2001**), tandis que d'autres études ont montré que les bactéries du genre *Lactobacillus* possèdent des antimicrobiens qu'elles utilisent pour combattre et inhiber des micro-organismes pathogènes tels que les coliformes bactériens, *Clostridium* et *Staphylococcus* (**Tebyanian et al., 2017 ; Juillard et al., 1987**). Elles parviennent ainsi à empêcher leur reproduction en satisfaisant leurs besoins nutritionnels élevés et en colonisant complètement l'environnement, laissant ainsi peu de place aux autres bactéries pour proliférer (**Castellani et al., 2008**).

De plus, les bactéries lactiques sécrètent des composés protéiques appelés bactériocines, qui sont efficaces contre les bactéries Gram-positives. Ces bactériocines varient en fonction de leur poids moléculaire et peuvent avoir une activité bactériostatique ou bactéricide (**Dridier et Prévost, 2009**).

1.4. Principales souches microbiennes à potentiel probiotique :

Les probiotiques sont des micro-organismes dont on sait qu'ils ont un impact positif sur la santé humaine. Toutefois, il est important de noter que tous les micro-organismes ne sont pas bénéfiques ; certains peuvent être nocifs pour la santé. C'est pourquoi des souches spécifiques de ces organismes ont été classées comme probiotiques en fonction de leur genre, de leur espèce, de leurs caractéristiques uniques, de leur impact positif sur l'hôte, ainsi que d'autres critères pertinents. (**Guarner, 2017**).

1.4.1. Les bactéries du genre *Lactobacillus* :

Les bactéries du genre *Lactobacillus* sont les bactéries lactiques les plus répandues, avec plus de 145 souches identifiées selon Savadogo et Traore (**2011**). Parmi ces dernières, on retrouve des espèces comme *L. acidophilus*, *L. casei strain shirota*, *L. johnsonii* et *L. plantarum*, qui sont reconnues comme non pathogènes, donc probiotiques, selon les travaux de Cebeci et Gurakan (**2003**). Ces souches sont utilisées pour la conservation et la fermentation des aliments, tout en favorisant la croissance longitudinale de l'hôte, comme l'ont souligné Tailliez (**2004**) et d'autres chercheurs dans le domaine.

Ce sont des bactéries anaérobies ou aérotolérantes à Gram positif, non sporulées, non mobiles, qui

vivent à des températures comprises entre 15 et 42°C et se caractérisent par des bacilles longs, minces ou ovales, reliés entre eux pour former une courte chaîne (**Tailliez,2004**).



Figure 1 : *Lactobacillus* (<https://neurosciencenews.com/lactobacillus-depression-anxiety-25293/>).

Les lactobacilles colonisent les zones riches en aliments et en énergie, telles que les aliments fermentés, les aliments destinés aux animaliers, les surfaces végétales et les cadavres d'animaux. Ces zones se caractérisent par la disponibilité de nutriments qui aident les bactéries à se multiplier et à croître rapidement (**Duar et al., 2017**).

Ils jouent également un rôle crucial dans la santé humaine en :

1. Réduisant les diarrhées chez les enfants et les voyageurs.
2. Réduisant le taux de cholestérol.
3. Équilibrant le système immunitaire (**Tailliez, 2004**).
4. Protégeant contre les troubles digestifs.
5. Prévenant les maladies vénériennes et les infections vaginales chez les femmes.
6. Protection contre les caries dentaires (**Liyun et al., 2018**).

1.4.2. Les bactéries du genre *Bifidobacterium*:

Le premier membre du genre *Bifidobacterium*, découvert par Tissier et nommé *Bifidobacterium bifidum*, a été isolé dans les fèces d'un nourrisson allaité. Le nom fait référence à la forme en Y caractéristique de la bactérie anaérobie à Gram-positif (**Tissier, 1899**). Plus tard, en 1924, il a été proposé de le reclasser en tant que genre spécial (**Orla-Jensen, 1924**). La période d'acceptation de la classification a été considérable, puisqu'elle a duré cinquante ans (**Von Ah, 2006**).

Les bifidobactéries sont des bacilles non mobiles et anaérobies, caractérisés par une paroi cellulaire à Gram positif, formant des bâtonnets irréguliers sans produire de spores et peuvent se développer en longues chaînes ou en agrégats. Ces bactéries bâtonnets présentent une grande variabilité morphologique, présentant un test négatif pour la catalase (**Von Ah, 2006**).



Figure 2: *Bifidobacterium bifidum* (<https://www.nutrimea.com/fr/34-bifidobacterium-bifidum>).

Les souches du genre *Bifidobacterium* se développent de manière optimale à des températures comprises entre 37°C et 41°C. En dessous de 20°C ou au-dessus de 50°C, aucune croissance bactérienne n'est observée. Cependant, les souches de *Bifidobacterium thermacidophilum* constituent une exception, car leur température optimale de croissance est de 49°C (**Dong et al., 2000**). Aussi, les souches de *Bifidobacterium thermophilum* peuvent croître à des températures allant jusqu'à 47°C (**Von Ah, 2006**).

Les différentes espèces de *Bifidobacterium* jouent un rôle crucial au sein du microbiote intestinal humain, où elles abondent, représentant jusqu'à 3,5-10 % de la population dans le côlon dès les premiers stades de la vie (**Arrigoni et al., 2002**).

Les *Bifidobacterium* résident dans le tractus gastro-intestinal en tant qu'habitants naturels. Ils sont abondants dans l'intestin des nourrissons en bonne santé, comprenant plusieurs espèces telles que *B. bifidum*, qui est abondante dans l'intestin des nourrissons et des enfants en bonne santé, ainsi que *B. breve*, qui colonise les intestins des nourrissons, et *B. longum*, impliqué dans l'équilibre de la flore intestinale chez les enfants. À l'âge adulte, on retrouve *B. catenulatum* et *B. adolescentis*.

Chez les personnes âgées, on observe *B. angulatum* et *B. bifidum*, ce qui explique leur présence abondante et leur diversité dans le tractus gastro-intestinal (Arboleya *et al.*, 2016).

1.4.3. *Streptococcus thermophilus* :

Streptococcus est un mot grec signifiant " baie tordue" et thermophilus est aussi un mot grec signifiant organismes se développant à haute température (Sharma *et al.*, 2014), et appartenant au groupe de bactéries connues sous le nom de bactéries lactiques (Iyer *et al.*, 2010 ; Kebouchi *et al.*, 2016) dans phylum des *Firmicutes* , l'ordre des *Lactobacillales*, la famille des *Streptococcaceae* (Sharma *et al.*, 2014) et le genre *Streptococcus* (Iyer *et al.*, 2010).

Ces bactéries sont classées comme des bactéries à Gram-positif (Sharma *et al.*, 2014), , non sporulées (Huang *et al.*, 2017), anaérobies facultatives , qui présentent une activité catalase limitée (Delorme, 2008) et se caractérisent par une forme ovoïde, avec de courtes chaînes attachées. Elles survivent à des températures élevées, jusqu'à environ 42°C (Uriot *et al.*, 2017).



Figure 3 : *Streptococcus thermophilus* (<https://www.fidopharma.com/streptococcus-thermophilus.php>).

Il convient également de noter que ces bactéries sont surtout présentes dans les produits laitiers, mais aussi dans certaines plantes (Delorme,2008 ;Sharma *et al.*, 2014 ;Iyer *et al.*, 2010). Ces bactéries sont largement utilisées dans diverses industries, notamment dans la fabrication de fromages et d'autres produits alimentaires (Cui *et al.*, 2016).

Ces bactéries possèdent des qualités qui leur permettent d'avoir un effet positif sur l'hôte, ce qui leur vaut d'être classées parmi les probiotiques. Leur innocuité a été approuvée par la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis. Elles sont capables de survivre et de se multiplier dans l'environnement acide et biliaire du tractus gastro-intestinal, et ont la capacité de traverser le tractus

gastro-intestinal et d'adhérer efficacement aux cellules épithéliales intestinales (Uriot *et al.*, 2017).

Leurs effets positifs sont :

1. L'élimination de la diarrhée chez les enfants.
2. Aide à la digestion du lactose chez les personnes souffrant d'intolérance au lactose.
3. Renforcer l'immunité dans le tractus gastro-intestinal.
4. Traiter de nombreuses infections, telles que les infections intestinales chez les nouveau-nés et les infections vaginales chez les femmes.
5. Réduire le risque de certains cancers (Iyer *et al.*, 2010).

Ces bactéries ont la capacité de:

1. Combattre l'oxydation nocive et réduire la croissance des bactéries nocives dans le tractus gastro-intestinal.
2. Améliorer la fonction de la barrière intestinale et réguler les interactions avec d'autres bactéries dans le tractus gastro-intestinal, améliorant ainsi la digestion et la santé digestive.
3. Renforcer l'immunité, en augmentant la capacité à résister aux maladies et aux infections (Uriot *et al.*, 2017).

1.4.4. *Lactococcus lactis*:

Lactococcus lactis est une bactérie à Gram positif, non-mobile, qui se trouve sous la forme ovoïde attachés, se regroupant soit en paires, soit en chaînes de longueurs variables. Sa température de croissance optimale est observée à 30°C, une bactérie mésophile, anaérobies facultative (Duwat *et al.*, 2001).

L'espèce *Lactococcus lactis* est subdivisée en quatre sous-espèces : *L. lactis subsp. lactis*, *L. lactis subsp. hordniae*, *L. lactis subsp. cremoris* et *L. lactis subsp. Tructae* (Perez *et al.*, 2011).

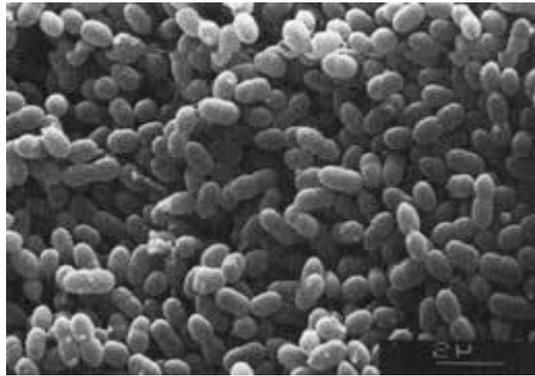


Figure 4 : Micrographie électronique à balayage de *Lactococcus lactis* (Teuber et Geis, 2006).

Lactococcus lactis est la bactérie la plus étudiée dans l'industrie agroalimentaire et est considérée comme un organisme modèle en raison de sa présence dans de nombreux produits laitiers, où elle représente jusqu'à 95 % des bactéries présentes dans le lait de vache. On la retrouve dans les herbes, les plantes et les produits végétaux, comme les pois, par exemple. De plus, elle peut parfois être présente dans le tractus gastro-intestinal et le pharynx en tant que composante de la flore normale de l'homme (Mofredj *et al.*, 2007).

L'intérêt pour *Lactococcus lactis* a augmenté en raison de sa présence dans les produits laitiers fermentés (Cogan *et al.*, 1997), où elle a été observé qu'elle a un impact positif sur la santé des individus qui consomment régulièrement ces produits. En raison de ces découvertes, il a été considéré comme sûr, et certaines de ses souches ont été classées comme probiotiques (Mofredj *et al.*, 2007) utilisées dans divers produits alimentaires tels que la fabrication de fromages (Beresford *et al.*, 2001). De plus, certaines souches ont été identifiées comme ayant des propriétés thérapeutiques et sont utilisées dans le traitement de certaines maladies.

1.4.5. *Saccharomyces cerevisiae* var *boulardii*:

Il s'agit d'un type de levure que l'on trouve dans les produits laitiers et certains fruits. Elle a été découverte pour la première fois au début des années 80 dans le litchi, un fruit tropical chinois (Lazo-Vélez *et al.*, 2018 ; Ansari *et al.*, 2023). Elle est utilisée dans le processus de fermentation du lait en divers produits en tels que les fromages, le yaourt et d'autres produits laitiers (Ansari *et al.*, 2023)

S.cerevisiae se caractérise par une forme ovale ou parfois sphérique et une paroi cellulaire plus épaisse que celle des autres levures (**Ansari et al., 2023**). Cette levure se développe à des températures relativement basses, avec une température idéale de croissance autour de 37°C (**Kelesidis et Pothoulakis,2012**). En outre, elle est exceptionnellement résistante aux acides et peut vivre et se développer dans des environnements dont le pH est aussi bas (**Ansari et al., 2023**).

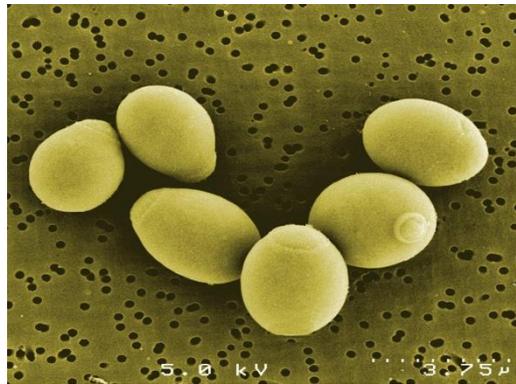


Figure 5 : *Saccharomyces cerevisiae var boulardii*

(<https://www.cofamispa.it/en/prodotti/saccharomyces-cerevisiae-var-boulardii-2/>)

Elle est classée comme probiotique en raison de sa capacité à d'adhérer à la paroi intestinale (**Ansari et al., 2023**) et de résister aux conditions difficiles du tube digestif, même en présence de niveaux élevés d'acidité (**Kelesidis et Pothoulakis, 2012**). Cette levure améliore la santé de la muqueuse intestinale en perturbant les agents pathogènes et en libérant des substances qui neutralisent les toxines qu'ils produisent, limitant ainsi leur prolifération et favorisant la santé digestive globale (**Rajkowska et al., 2012**).

Elle possède diverses activités antioxydantes, luttant contre les micro-organismes pathogènes tels que les bactéries, les virus (**Ansari et al., 2023**) et les autres microbes. Elle possède également des propriétés antitoxiques et contribue à éliminer les toxines nocives présentes dans l'organisme (**Kelesidis et Pothoulakis, 2012**). Elle s'est avérée efficace pour lutter contre certains cancers et renforcer le système immunitaire (**Ansari et al., 2023**).

L'entrée de ces levures dans le corps humain par le biais du lait et de certains fruits qui en sont riches joue un rôle important dans la prévention et le traitement de certaines maladies, notamment:

- La prévention des maladies gastro-intestinales (**Ansari et al., 2023**).

- Le traitement de la diarrhée chez les enfants et les voyageurs, ainsi que de la diarrhée associée aux antibiotiques (**Rajkowska *et al.*, 2012 ;van der Aa Kuhle *et al.*, 2005**).
- Le traitement de la diarrhée chez les patients atteints du VIH (**Rajkowska *et al.*, 2012**).
- Le contrôle du côlon et de l'intestin irritable (**Lazo-Vélez *et al.*, 2018**).

Chapitre II :
Le tractus gastro-intestinal
et son microbiote

2. Le microbiote intestinal

2.1. Définition :

Anciennement connu sous le nom de flore intestinale, le microbiote intestinal est le groupe des micro-organismes présents dans le tractus gastro-intestinal qui maintiennent une symbiose avec l'hôte. Le tube digestif humain abrite une communauté diversifiée de bactéries, de virus et de champignons, les bactéries constituent la partie la plus importante de cette communauté microbienne (Quévrain et Seksik, 2013).

L'écosystème microbien de notre intestin contient environ 10^{14} bactéries, soit dix fois plus que le nombre total de cellules de notre corps. Il comprend entre 500 et 1 000 espèces différentes, contribuant à environ 2 kg de notre poids corporel, et représente environ 40 % de notre masse fécale (Sekirov *et al.*, 2010). La densité bactérienne augmente progressivement de l'estomac au côlon, est plus concentré dans le gros intestin (Yersin et Vonaesch, 2024). Le côlon abrite plus de 70 % des bactéries du corps humain (Sekirov *et al.*, 2010).

2.2. Composition du microbiote intestinal :

Seules 10 à 50 % des espèces microbiennes peuvent être cultivées. La flore fécale est la mieux étudiée. Les principaux groupes taxonomiques appartiennent à six embranchements bactériens, colonisant le tractus gastro-intestinal, avec une concentration maximale dans le côlon distal. Outre les bactéries, on trouve des archées, des protozoaires et des levures, en particulier *Candida*.

Des études récentes ont montré que contrairement à la croyance initiale, l'œsophage contient une flore résidente dans sa partie distale, nous trouvons les bactéries du genre *Streptococcus* et *Prevotella* (Coudeyras et Forestier, 2010).

Dans le cas de l'estomac, qui était considéré comme relativement stérile en raison de sa forte acidité, cette idée a été remise en question par la découverte d'*Helicobacter pylori*, une bactérie présente chez plus de la moitié de la population. La flore gastrique contient des protéobactéries, principalement dominées par *Helicobacter pylori*, ainsi que des bactéries filamenteuses, des bactéroïdes et des actinobactéries, avec une présence moindre de bifidobactéries.

L'intestin grêle présente une gradation de la colonisation bactérienne, avec des sécrétions pancréatiques qui neutralisent l'acidité gastrique. Les bactéries aérobies prédominent dans la partie proximale, tandis que les anaérobies sont plus présentes dans l'iléon et la partie distale, ressemblant davantage à la flore colique. Cette dernière est dominée par des genres comme *Bacteroides*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Enterococcus* et *Bifidobacterium*, majoritairement anaérobies. Les études montrent des différences entre la flore colique et le microbiote fécal, bien que les fèces soient souvent utilisées pour étudier le microbiote intestinal en raison de la facilité d'échantillonnage. Les fèces contiennent une concentration élevée de bactéries, principalement anaérobies, incluant *Clostridium*, *Prevotella*, *Bactéroïde*, des bifidobactéries, *Lactobacillus* et des *Enterobacteriaceae* en faible quantité (Coudeyras et Forestier, 2010)

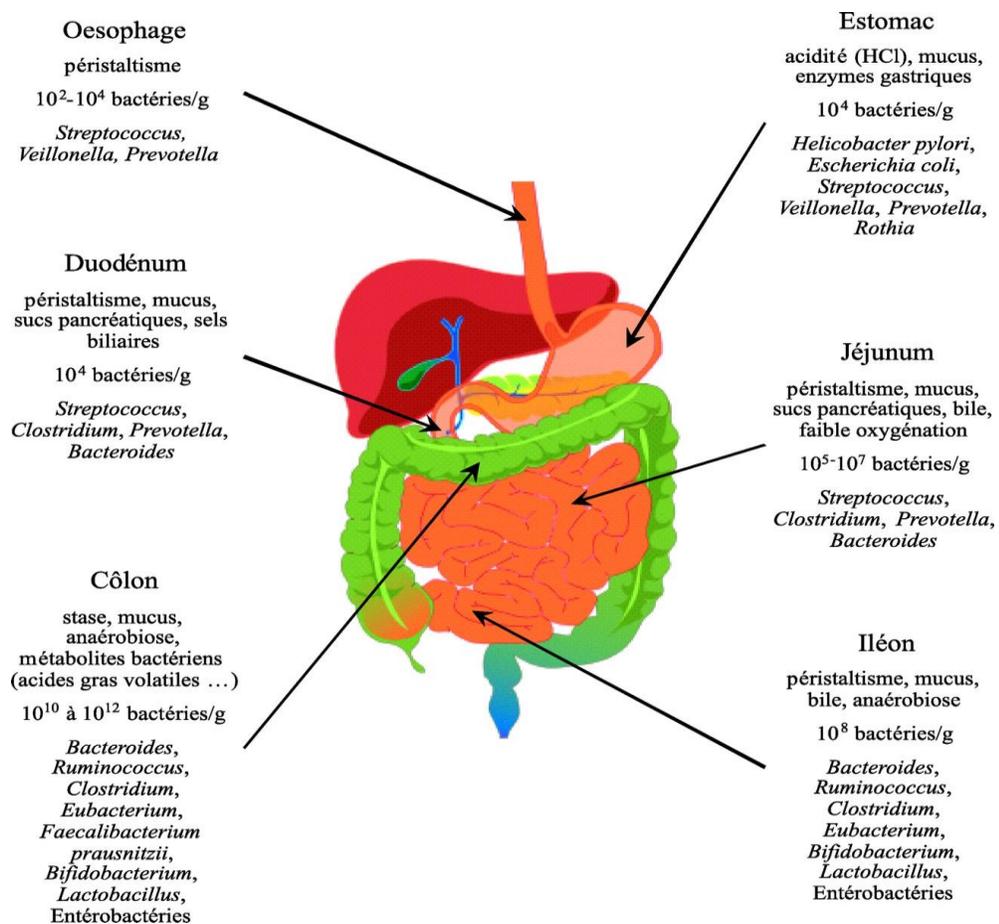


Figure 6 : Le microbiote intestinal associé au système digestif (Coudeyras et Forestier, 2010).

2.3. Les facteurs influençant la composition du microbiote intestinal :

La composition et la diversité du microbiote intestinal varient considérablement d'un individu à l'autre, car de nombreux facteurs internes et environnementaux jouent un rôle dans sa formation. Son développement et sa diversité, tels que l'âge, le mode de vie alimentaire, la prise de médicaments, les conditions ambiantes et les pratiques d'hygiène. En outre, les pratiques d'accouchement sont extrêmement importantes pour déterminer la diversité du microbiome intestinal (Sanders *et al.*, 2021).

2.3.1. Influence du mode d'accouchement :

Le mode d'accouchement influence fortement la composition du microbiote intestinal du nourrisson. Les bébés nés par voie basse ont un microbiote riche en *Lactobacillus* et en *Prevotella*, tandis que les bébés nés par césarienne sont dominés par les *Streptococci* et les *Propionibacteria*. En outre, les bébés nés par césarienne ont plus de bactéries *Klebsiella* et *Enterococcus*, qui sont des bactéries pro-inflammatoires potentielles. Une étude récente a montré que cette augmentation des bactéries *Klebsiella* et *Enterococcus* est associée à un risque accru d'infections respiratoires au cours de la première année de vie. En outre, l'accouchement par césarienne est associé à une diversité microbienne intestinale réduite, à une colonisation bactérienne retardée et à un dysfonctionnement du système immunitaire, ce qui peut favoriser le développement d'allergies (Sanders *et al.*, 2021).

2.3.2 Influence de l'alimentation :

À l'âge adulte, le microbiote intestinal de base est relativement stable. Des études suggèrent que les habitudes alimentaires à court et à long terme affectent la composition du microbiote intestinal. Bien que l'effet de l'alimentation sur la composition du microbiote ait été largement étudié, il dépend subjectivement de l'état de santé et de la composition microbienne propre à chaque individu (Berding *et al.*, 2021).

Tableau I : les facteurs alimentaires affectant la communauté microbienne intestinale (Berding *et al.*, 2021).

Facteurs nutritionnels ayant des effets positifs sur le microbiote	Facteurs nutritionnels ayant des effets négatifs sur le microbiote
<p>Le régime méditerranéen : Augmentation de la diversité microbienne et à la présence des bactéries bénéfiques pour la santé tels que <i>Bifidobacterium longum</i> et <i>Prevotella</i></p>	<p>Régime alimentaire occidental : Appauvrissement potentiel des microbes bénéfiques en cas de consommation à long terme Dominance des taxons Bacteroidetes Augmentation de proportion de bactéries filamenteuses <i>Bacteroides</i> et <i>Proteobacteria</i> (pathogènes associés aux muqueuses)</p>
<p>Régime alimentaire à base de plantes : Abondance microbienne et prédominance des <i>Bacteroidetes</i> et <i>Actinobacteria</i> Enrichissement en bactéries <i>Bifidobacterium</i>, <i>Lactobacillus</i>.</p>	<p>Émulsifiants : Les changements microbiens induits par les émulsifiants pourraient contribuer aux maladies inflammatoires. Augmentation des <i>Bacteroides</i>, <i>Burkholderia</i>, <i>Clostridium</i> et <i>Anaeroplasma</i></p>
<p>Protéine d'origine végétale : Augmentation de <i>Bifidobacterium</i> et <i>Lactobacillus</i> Diminution des Pathogènes tels que <i>Bacteroides fragilis</i> et <i>Clostridium perfringens</i></p>	<p>Protéines animales : Diminution des groupes bactériens bénéfiques produisant du butyrate (par exemple, <i>Roseburia</i>). Augmentation des microbes intestinaux potentiellement nocifs (par exemple <i>Enterococcus</i>, <i>Streptococcus</i> et <i>E. coli</i>)</p>

2.3.3. Influence des antibiotiques:

L'utilisation des antibiotiques perturbe la flore intestinale, réduisant sa diversité et favorisant des niveaux élevés de bactéries potentiellement nocives chez les prématurés. Même des traitements antibiotiques de courte durée affectent la colonisation, la perturbation persiste jusqu'à 8 semaines après le traitement. Ce trouble est associé à une augmentation des entérocoques et des protéobactéries, ainsi qu'à une diminution des niveaux de bifidobactéries qui caractérisent le microbiote des bébés prématurés. La prématurité est également associée à des complications telles que l'entéocolite nécrosante néonatale associée à des niveaux élevés de protéobactéries (Rodríguez *et al.*, 2015).

2.3.4. Influence de l'environnement et des conditions d'hygiène :

La composition microbienne de l'intestin varie selon que l'on vive dans un pays développé ou en voie de développement. Dans les pays en développement, où les conditions d'hygiène sont normalisées et où les antibiotiques sont moins utilisés, la prévalence des allergies et de l'asthme est plus faible. Cela peut s'expliquer par l'hypothèse de l'hygiène, selon laquelle un excès d'hygiène réduit les déclencheurs infectieux nécessaires au développement du système immunitaire. En outre, les différences de régime alimentaire entre les pays développés et les pays en développement affectent également le microbiote intestinal, comme au Japon, où la consommation de produits à base de riz fermenté et de poisson, associée à un bon niveau d'hygiène, contribue à minimiser l'incidence de l'asthme (Di Domenico *et al.*, 2022).

2.3.5 influences de la génétique :

La génétique de l'hôte influence la formation du microbiote intestinal, comme l'ont montré des études sur les jumeaux et les membres de leur famille. Alors que certains jumeaux identiques présentent une similitude microbienne plus élevée, d'autres études n'ont pas trouvé de différences significatives entre les jumeaux monozygotes et dizygotes. Des recherches récentes ont également lié le génotype de l'hôte à l'abondance de certaines bactéries, notamment celles liées à la production de lactase et à la consommation de produits laitiers. Ces résultats soulignent l'importance de comprendre l'interaction complexe entre la génétique humaine, l'alimentation et les microorganismes pour comprendre la diversité du microbiote intestinal (Milani *et al.*, 2017).

2.4. Rôle du tube digestif et de son microbiote :

Le microbiote joue un rôle important dans les processus métaboliques, physiologiques, nutritionnels et immunologiques du tractus gastro-intestinal (Lahti *et al.*, 2017), et contribue au rétablissement et à la croissance de ses fonctions motrices et fonctionnelles (Gerritsen *et al.*, 2011). Il contribue également à la lutte contre les agents pathogènes et au maintien de l'homéostasie dans le tractus gastro-intestinal, en particulier dans l'intestin (Lin et Zhang, 2017). La présence du microbiote a un impact positif sur la santé de l'hôte et son absence peut avoir des effets négatifs et provoquer des maladies telles que les cancers, l'obésité (Debre et Le gall, 2014), le diabète, l'autisme, les maladies gastro-intestinales (Landman et Quévrain, 2016) et les maladies immunologiques (Debre et Le gall, 2014).

2.4.1. Le microbiote naturel de l'homme :

Le tractus gastro-intestinal humain est riche en microbiote intestinal, qui se caractérise par sa diversité et comprend des organismes procaryotes tels que des bactéries. Plus de 120 groupes bactériens envahissent l'intestin, qui peuvent être Gram-négatifs ou Gram-positifs, mais la majorité d'entre eux sont anaérobies. Les 7 embranchements les plus dominants dans l'intestin sont : *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria*, *Fusobacteria*, *Verrmicrobia*, *Cyanobacteria*. Il existe également un phylum avec 8 espèces répertoriées sous un phylum, comme : *Euyarchaeaota*.

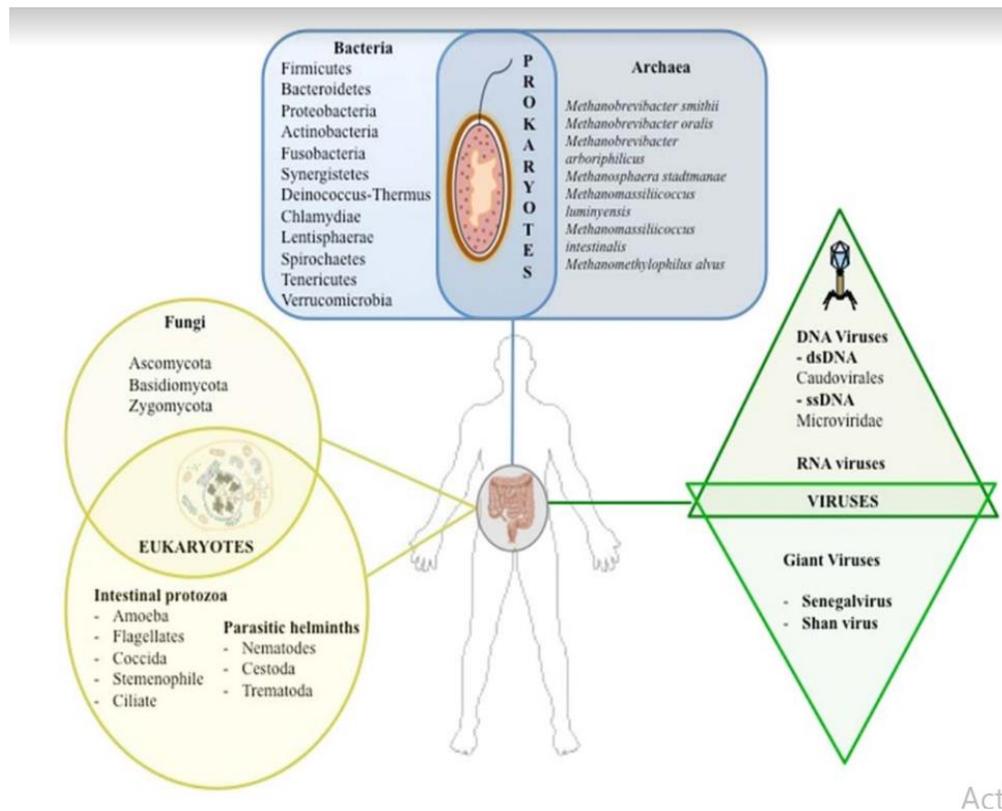


Figure 7: Diversité des procaryotes, des eucaryotes et des virus dans le microbiote intestinal humain (**Hugon et al., 2021**).

Le microbiote intestinal joue un rôle actif dans d'importantes fonctions du tractus gastro-intestinal, contribuant à :

1. La digestion des acides gras à chaîne courte (**Ramakrishna, 2013**).
2. Synthétiser des enzymes qui facilitent la digestion des sucres végétaux (**Bik, 2009**).
3. Produire des vitamines B11, B12 et K (**Ramakrishna, 2013**).
4. Les archées contribuent à la production de méthane lors des fermentations anaérobies (**Hugon et al., 2021**).

2.4.2. La muqueuse intestinale :

La muqueuse intestinale est l'une des plus grandes surfaces muqueuses du corps humain (**Turner, 2009**) et agit comme une barrière physique contre les micro-organismes (**Schiffrin et**

Blum,2002), empêchant le passage des agents pathogènes et leur apportant des bienfaits (**Johnson et kudsk, 1999**), Elle possède une grande capacité d'absorption des nutriments, la plus grande partie de l'absorption étant due à la présence de villosités avec des cellules épithéliales, qui sont des cellules d'absorption parmi les composants de ces villosités (**Kiela et Ghishan, 2017**). Sur la face supérieure se trouvent des protéines appelées minocine dont la tâche est de former une paroi qui empêche les grosses particules d'atteindre la couche épithéliale (**Turner, 2009**), un groupe de cellules épithéliales, ce qui facilite le transfert des nutriments et des fluides et le maintien de la membrane (**Johnson et kudsk, 1999**).

La muqueuse se protège des organismes pathogènes grâce à plusieurs facteurs :

- Un pH élevé tue un certain nombre d'agents pathogènes.
- Une couche épithéliale saine grâce à la présence de micro-organismes à la surface de l'épithélium et à l'absence d'endroits où les agents pathogènes peuvent se fixer (**Schiffrin et Blum, 2002**).
- Production de composés antimicrobiens tels que des acides gras et des peptides (**Johnson et kudsk, 1999**).

2.4.3. Le système immunitaire intestinal :

Le tractus gastro-intestinal est un organe qui contient un grand nombre de cellules immunitaires, facilitant l'élimination des pathogènes (**Mowat et Agace, 2014**), et contribuant à la fourniture de facteurs de soutien tels que :

1. L'exposition de l'intestin aux antigènes et aux facteurs immunologiques tels que les peptides et les microbes (**Mowat et Agace, 2014**).
2. Le maintien de l'équilibre des parois protectrices de l'intestin.
3. L'élimination des micro-organismes pathogènes (**Dieterich et al., 2018**).
4. La création d'un espace où les anticorps peuvent se fixer (**Mowat et Agace, 2014**).

Ce système immunitaire se caractérise par sa grande capacité à tolérer les organismes bénéfiques, en raison du fait que l'intestin d'un individu est rempli de ces organismes avant et après

la naissance, à la suite de leur transfert par la mère, qui leur fournit un environnement approprié pour vivre et faire partie d'un hôte mutuellement bénéfique. Le système immunitaire tolère ces microbes afin de développer et de produire des immunoglobulines qui protègent l'intestin (**Brown et al., 2013**).

2.5. Les différentes pathologies améliorées par les probiotiques :

2.5.1. Les différentes pathologies :

2.5.1.1. Les gastro-entérites :

Il s'agit d'une maladie courante qui peut être transmise de manière épidémiologique et mortelle et qui touche les hommes et les femmes de tous âges (**Kelly, 2000 ; cukor et blacklow, 1984**). Parmi ses types :

- **Virale** : Elle est causée par l'entrée de certains virus comme : coronavirus, rotavirus, norwalk virus, colicivirus (**cukor et blacklow, 1984**) dans le système digestif, en particulier chez les enfants (**Bányai et al., 2018**).
- **Bactérienne** : Elle est causée par la pénétration de plusieurs bactéries, notamment *Campylobacter jejuni*, *Salmonella* spp. (**Elliott, 2007**).
- **Eosinophile** : Elle est causée par la pénétration d'éosinophiles dans la muqueuse intestinale (**kelly, 2000**).
- **Staphylocoque** : *staphylococcus aureus* peut pénétrer le tractus gastro-intestinal (**Jay et al., 2006**).

Ces germes sont généralement transmis par des aliments contaminés, tels que la viande et les fruits de mer insuffisamment cuits (**Elliott, 2007**). Les symptômes comprennent une diarrhée (**kelly, 2000**) sévère pouvant entraîner une déshydratation, de la fièvre et des vomissements (**Elliott, 2007**), une perte d'appétit et de poids, ainsi qu'un retard de croissance (**kelly, 2000**).

2.5.1.2. Pathologies inflammatoires du tube digestif :

Les organes du système digestif humain sont affectés par de nombreuses maladies et inflammations résultant de l'introduction d'agents pathogènes. Les maladies inflammatoires comprennent

- 1. L'entérite ulcéreuse** : une maladie chronique qui affecte les intestins, entraînant des saignements rectaux, des douleurs abdominales, de la fièvre, de la fatigue, une perte de poids et d'autres symptômes indiquant la présence d'une inflammation dans les intestins (**Gros et Kaplan, 2023**).
- 2. Appendicite** : Elle survient à la suite d'un blocage de l'appendice, les bactéries se déplacent jusqu'à lui à travers la membrane muqueuse, ce qui entraîne une inflammation (**D'souza et Nugent, 2016**).
- 3. L'hépatite** : est causée par des virus (HAV (virus de l'hépatite A), HBV, HCV, HDV, HEV) (**World Health Organization, 2017**) qui pénètrent dans le tissu hépatique et dont les symptômes sont la fièvre et la jaunisse (**Brundage et Fitzpatrick, 2006**).
- 4. L'amygdalite** : elle affecte les amygdales et est souvent contagieuse. Elle est causée par des virus ou des bactéries comme *Streptococcus pyogenes* et se manifeste par de la fièvre et des difficultés à avaler (**Sidell et Shapiro, 2012**).

La plupart de ces infections sont causées par des germes pathogènes qui pénètrent dans le tube digestif par l'intermédiaire d'aliments ou d'eau contaminés.

2.5.1.3. Recto-colite hémorragique :

Il s'agit d'une maladie chronique du côlon et du rectum (**Klotz et al., 2015**) caractérisée par la formation de lésions persistantes (**Delmotte, 2020**). L'inflammation débute généralement dans la dernière partie du rectum avant de s'étendre vers le haut du côlon. La maladie touche les hommes et les femmes de tous âges, mais plus particulièrement les jeunes adultes (**Amiot et al., 2022**).

Les causes de la maladie comprennent le dysfonctionnement du système immunitaire intestinal, l'impact des facteurs externes et des bactéries intestinales, ainsi que des facteurs génétiques, des études montrant une incidence de 36 % plus élevée de la maladie si les deux parents en sont atteints (**Klotz et al., 2015**).

Les symptômes comprennent la pâleur, la fièvre, les douleurs abdominales, la présence de sang dans les selles (**Klotz et al., 2015**), les expectorations, la perte de poids (**Delmotte, 2020**), d'éventuels symptômes externes sur la peau et le foie, des symptômes osseux tels que l'ostéoporose et des symptômes oculaires (**Klotz et al., 2015**).

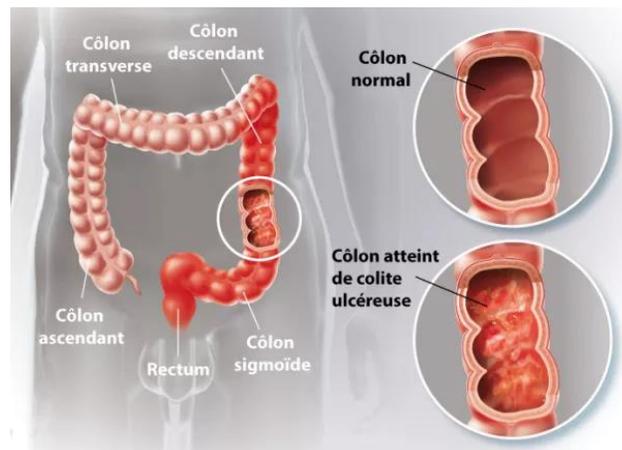


Figure 8: La recto-colite hémorragique (erfi.com/presentationetude/Le-march)

2.5.1.4. Maladie de Crohn :

C'est une maladie chronique, inflammatoire et dégénérative qui tend à apparaître chez les jeunes adultes entre 20 et 40 ans et qui est causée par des facteurs génétiques et environnementaux, des changements dans la réponse immunitaire, le tabagisme et l'utilisation inappropriée d'antibiotiques pendant l'enfance (**Torres *et al.*, 2017**).

La cause interne de la maladie est due à des changements dans le microbiote intestinal, où le niveau des bactéroïdes et des Firmicutes diminue (**Torres *et al.*, 2017 ; Baumgart et Sandborn, 2012**) et le niveau de *Actinobacteria* et *Gammaproteobacteria* augmente, ce qui accroît la gravité de l'inflammation.

Les symptômes de la maladie comprennent des douleurs abdominales, une diarrhée persistante, une perte de poids, de la fatigue, de la fièvre, des plaies autour de l'anus (**Torres *et al.*, 2017**) et de l'ostéoporose (**Baumgart et Sandborn, 2012**).

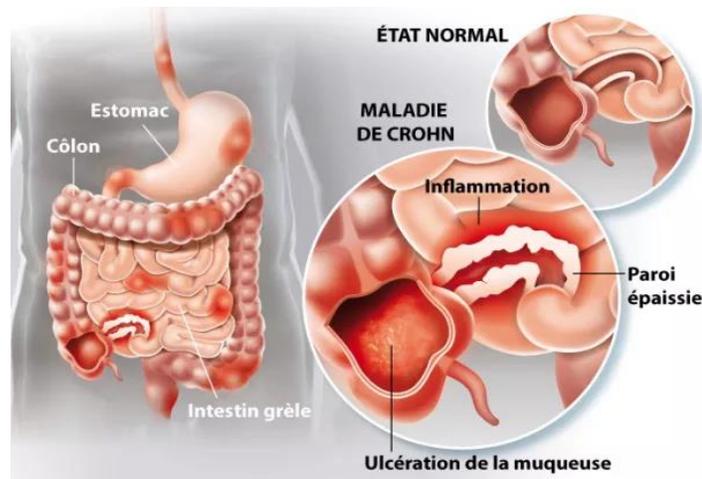


Figure 9: La maladie de Crohn (<https://hopital-prive-dijon-bourgogne.ramsaysante.fr/maladie-de-crohn>)

2.5.1.5. Ulcères à *Helicobacter pylori* :

C'est une infection qui survient lorsque des bactéries *Helicobacter pylori* pénètrent dans le tractus gastro-intestinal. Elle se présente principalement comme un groupe de bactéries Gram-négatifs, a une forme spiralée et vit dans un environnement dépourvu d'oxygène (Liu *et al.*, 2024).

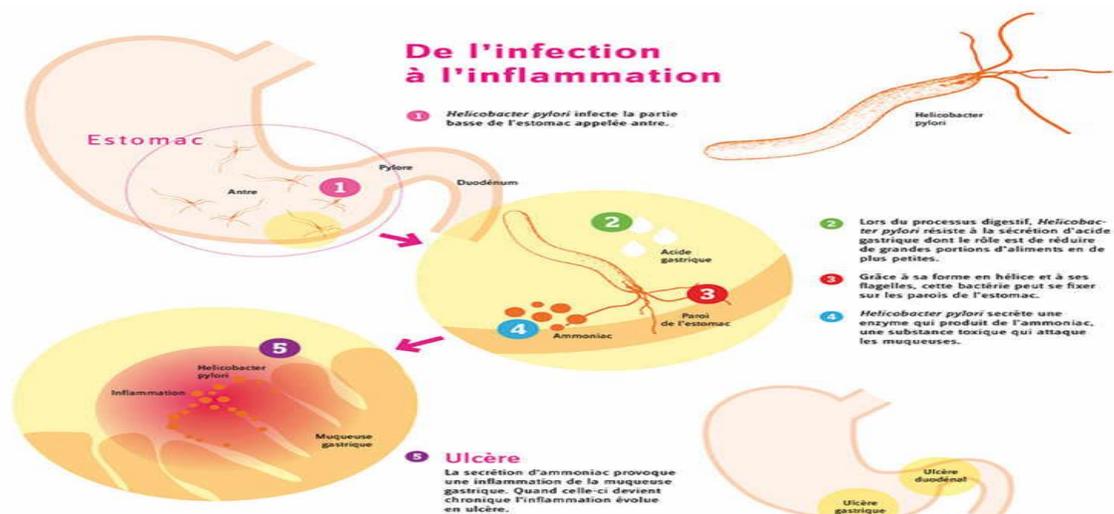


Figure 10: L'ulcère à *Helicobacter pylori* (<https://www.planetesante.ch/Magazine/Alimentation-et-nutrition/Troubles-digestifs/Helicobacter-pylori-et-ulcere-de-l-estomac>).

Ces bactéries pénètrent dans le tractus gastro-intestinal de plusieurs manières, notamment par :

1. La bouche dans l'estomac.
2. La contamination de l'eau et des aliments.
3. L'exposition à des animaux domestiques.
4. La transmission verticale de parents infectés à des enfants (**Bauer et Meyer, 2011**)

Ces bactéries provoquent des infections de l'estomac et des ulcères duodénaux et peuvent augmenter (**Pantoflickova et al., 2007**) le risque de cancer de l'estomac (**Goodwin et al., 1997**). Des habitudes néfastes telles que le tabagisme chronique, la consommation élevée de sel et la prise incontrôlée de suppléments et de vitamines peuvent également jouer un rôle dans l'augmentation des risques d'infection (**Liu et al., 2024**).

Les symptômes comprennent une perte de poids, des difficultés à avaler ainsi que des saignements gastro-intestinaux (**Goodwin et al., 1997**).

2.5.1.6. Syndrome du côlon irritable :

C'est un changement fonctionnel chronique du côlon (**Holtmann et al., 2016 ; Canavan et al., 2014**) qui affecte tous les groupes d'âge, des enfants aux personnes âgées (**Canavan et al., 2014**), et qui survient pour diverses raisons, notamment:

1. des facteurs génétiques
2. Les facteurs psychologiques de l'individu.
3. Des changements dans le mode de vie alimentaire, résultant d'une alimentation déséquilibrée et malsaine.
4. Un manque d'équilibre et de diversité des bactéries bénéfiques dans le côlon (**Chen et al., 2023**).

Cette affection est associée à des symptômes tels que douleurs abdominales, ballonnements, diarrhée (**Chen et al., 2024**), et des changements dans les selles, comme des selles légères et des selles lourdes (**Holtmann et al., 2016**). Les symptômes associés au syndrome de l'intestin irritable

évoluent avec le temps (**Canavan et al., 2014**) et sont classés en quatre groupes en fonction des symptômes :

1. Côlon irritable vague.
2. Côlon irritable dont le principal symptôme est la constipation.
3. Côlon irritable avec diarrhée comme symptôme principal.
4. Côlon irritable mixte, où les symptômes varient entre la constipation et la diarrhée (**Chen et al., 2023**).

2.5.2: Action des probiotiques sur les maladies :

Les probiotiques sont l'une des améliorations les plus importantes qu'ils peuvent apporter dans un certain nombre de maladies. Voici quelques-uns des avantages que les probiotiques peuvent apporter :

- Inhiber les agents pathogènes dans le tractus gastro-intestinal (**Bai et Ouyang, 2006**).
- Moduler la réponse immunitaire (**Bai et Ouyang, 2006 ; Mitra et al., 2023**).
- La production d'agents antimicrobiens tels que *Helicobacter pylori* (**Bai et Ouyang, 2006 ; Liu et al., 2024**).
- Prévenir la récurrence de la maladie ou les soi-disant secondes infections (**Wilcox et al., 2019**).
- Réduire les symptômes tels que la diarrhée (**Bányai et al., 2018**), la constipation et les ballonnements (**Chen et al., 2023**).
- Réduire l'acidité intestinale (**Mitra et al., 2023**).
- Réduire l'inflammation du tractus gastro-intestinal.
- Protéger la muqueuse intestinale par des sécrétions muqueuses (**Chen et al., 2023**).

chapitre III :

Impact des probiotiques sur la
santé humaine

3. Les probiotiques et leurs effets bénéfiques sur la santé de l'Homme

3.1. Effets bénéfiques des probiotiques sur les fonctions intestinales :

La consommation de probiotiques a été associée à la modulation de la fonction de barrière de la muqueuse intestinale et de l'immunité intestinale, ainsi qu'à l'interaction directe avec les bactéries pathogènes (**shanahan, 2010**). Ces effets ont justifié l'utilisation des probiotiques pour traiter divers troubles gastro-intestinaux, tels que la diarrhée et les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (**Jonkers et Stockbrügger, 2007**).

3.1.1. Probiotiques et diarrhées :

Au fil des années, les recherches ont montré que les bactéries probiotiques ont des effets bénéfiques dans la prévention et le traitement de diverses maladies, dont la diarrhée. Qu'il s'agisse de la diarrhée du voyageur ou de la diarrhée associée aux antibiotiques (**Vidlock et Cremonini, 2012**), le mode de prise des probiotiques, que ce soit sous forme de gélules, de lait fermenté, n'a pas d'effet sur leur efficacité dans le traitement de la diarrhée (**Samaržija et al., 2009**).

3.1.1.1. La diarrhée du voyageur :

La diarrhée du voyageur est un problème courant chez les voyageurs, avec environ 12 millions de cas de diarrhée signalés chaque année dans le monde (**McFarland, 2010**). Il s'agit de l'apparition de selles liquides trois fois ou plus au cours d'une même journée (**Hill et Ryan, 2008**), avec des symptômes tels que fièvre, crampes abdominales ou nausées et déshydratation (**Fan et al., 2022**). La diarrhée peut être légère ou modérée (**Hill et Ryan, 2008**). La durée moyenne des diarrhées varie d'un à quatre jours (**McFarland et Goh, 2019**), principalement en raison de l'ingestion d'aliments et d'eau contaminée par des matières fécales (**Hill et Ryan, 2008**). Les bactéries telles que *Escherichia coli*, *Shigella* spp. et *Salmonella* spp. sont des causes courantes de la diarrhée du voyageur, tandis que les parasites et les virus sont moins fréquents. La destination du voyage est le principal facteur de risque de cette maladie (**Yates et al., 2005**).

3.1.1.2. La diarrhée associée aux antibiotiques :

La diarrhée est un effet secondaire courant des antibiotiques (**Vidlock et Cremonini, 2012**). Un épisode de diarrhée est considéré comme une diarrhée associée aux antibiotiques (DAA) lorsque l'agent pathogène à l'origine de la diarrhée ne peut être identifié et que l'événement survient pendant ou après la prise des antibiotiques (**Coté et Buchman, 2006**). Ces épisodes de diarrhée ne sont généralement pas considérés comme graves et sont dus à un déséquilibre de la flore intestinale pendant le traitement avec les antibiotiques (**Kaltenbach et Heitz, 2004**).

Cependant, chez les personnes présentant des symptômes plus graves, la diarrhée associée aux antibiotiques peut entraîner une déshydratation et de graves carences nutritionnelles, en particulier chez les personnes fragiles (**Kaltenbach et Heitz, 2004**). La prévalence de la diarrhée associée aux antibiotiques (DAA) chez les patients recevant une antibiothérapie varie entre 2 et 25 %, en fonction du type d'antibiotique utilisé et de la présence d'autres facteurs de risque (**Bartlett, 2002**).

◆ Impact des probiotiques pour ces deux types de diarrhée :

Selon les recherches *Lactobacillus* peut prévenir la diarrhée et l'atopie chez les enfants en occupant des sites de fixation sur la muqueuse intestinale, empêchant les bactéries pathogènes d'y adhérer (**D'Souza et al., 2002**). Aussi, il a été démontré que *L. Acidophilus* LA5 est un excellent anti-diarrhéique, anti-infectieux et immunostimulant (**Yadav et Shukla, 2017**).

Les probiotiques produisent des composés protéiques appelés bactériocines, qui agissent comme des antibiotiques localisés contre les organismes pathogènes qui empêchent la croissance des bactéries responsable de la diarrhées (**D'Souza et al., 2002**). Selon une méta-analyse de douze études, les probiotiques peuvent prévenir jusqu'à 85 % des cas de diarrhée du voyageur (**McFarland, 2007**). *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 est la seule souche probiotique efficace et sûre pour prévenir la diarrhée chez les voyageurs adultes (**Kaźmierczak Siedlecka et al., 2020**).

3.1.2. Les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin :

Les maladies inflammatoires de l'intestin (MICI), se caractérisent par une inflammation chronique qui entraîne une perturbation et un dysfonctionnement du microbiote intestinal (**Tegegne et Kebede, 2022 ; Girardin et Frossard, 2012**). Des études sur les animaux ont montré que *Bifidobacterium lactis* Bb12 avait des effets bénéfiques sur la régulation du système immunitaire et la prévention des maladies inflammatoires de l'intestin (MII). De même, une étude similaire a montré que *B.animalis* réduit les symptômes des maladies inflammatoires de l'intestin (**Yadav et Shukla, 2017**).

- **La maladie de Crohn**

La plupart des études sur l'efficacité des probiotiques dans la maladie de Crohn, menées chez les enfants et les adultes ont examiné leur capacité à maintenir la rémission de la maladie après une résection chirurgicale ou un traitement médical standard (**Guandalini et Sansotta, 2019**).

- **La rectocolite hémorragique (RCH) :**

La rectocolite hémorragique se manifeste par des poussées inflammatoires, entraînant une aggravation de l'état général (**Ungaro et al., 2017**). Le complément alimentaire Lactiplus VSL#3 qui contient plusieurs probiotiques, peut être efficace pour induire le calme chez les personnes atteintes de RCH active (**Derwa et al., 2017**). De nombreuses recherches ont confirmé que la combinaison de micro-organismes probiotiques (VSL#3) : *L. acidophilus*, *L. paracasei*, *L. delbrueckii subsp. bulgargaricus*, *L. plantarum*, *B. infantis*, *B. longum*, *B. breve* et est efficace pour réduire l'inflammation et la rémission de rectocolite hémorragique chez les enfants et les adultes (**Celiberto et al., 2017**).

- **La maladie de pouchite :**

Il s'agit d'une complication fréquente chez les patients atteints de colite ulcéreuse après une résection colorectale avec anastomose iléale. Il s'agit d'une inflammation non spécifique de la poche dont l'origine reste inconnue (**Barreiro-de Acosta et al., 2020**). Elle peut causer des douleurs abdominales ou des marqueurs biochimiques de déficience gastro-intestinale (**Filippi, 2020**). Une étude a mené un essai en double aveugle contre placebo pour évaluer l'efficacité d'une

supplémentation en *Lactobacillus rhamnosus* comme traitement de première intention de la poche iléale (Trop, 2014).

3.2. Mécanismes d'action des probiotiques :

3.2.1. Mécanismes d'action sur le syndrome du côlon irritable :

Le choix des scientifiques d'utiliser les probiotiques comme traitement du syndrome du côlon irritable reflète leur intérêt pour l'étude de leurs multiples mécanismes d'action. Ces mécanismes incluent la production de facteurs qui aident à éliminer les pathogènes dans le côlon et à réduire la tension à sa surface, renforcent la réponse immunitaire intestinale (Simon *et al.*, 2021 ; Moraes-filho et Quigley, 2015), empêchent les pathogènes d'adhérer à la surface du côlon, améliorent le microbiote intestinal en modifiant son comportement métabolique (Moraes-filho et Quigley, 2015), contribuent à la production de sécrétions muqueuses et de protéines pour protéger la membrane épithéliale et améliorer sa fonction, protègent les cellules intestinales contre les pathogènes et préviennent ainsi les lésions tissulaires (Simon *et al.*, 2021 ; Moraes-filho et Quigley, 2015) .

3.2.2. Mécanismes d'action sur les infections de l'estomac à *Helicobacter pylori* :

Des études ont montré que les probiotiques, notamment *Lactobacillus acidophilus*, peuvent améliorer l'éradication de *Helicobacter pylori* lorsqu'ils sont associés à une trithérapie standard (Canducci *et al.*, 2000). L'effet des probiotiques, tels que certaines souches de *Lactobacillus* et *Bifidobacterium*, repose sur plusieurs mécanismes, y compris la production de bactériocines et d'acides organiques, réduisant ainsi la colonisation et l'inflammation liées à *H. pylori* (Sheu *et al.*, 2002 ; Yadav et Shukla, 2017).

Les souches probiotiques peuvent sécréter divers composés antimicrobiens, tels que des acides organiques comme l'acide acétique et l'acide lactique, contribuant à réduire la charge bactérienne et l'inflammation (Yadav et Shukla, 2017). Par exemple, l'acide lactique sécrété par *Lactobacillus salivarius* a été démontré pour inhiber la croissance de *H. pylori* en laboratoire (Aiba *et al.*, 1998). La consommation régulière de yaourt contenant certaines souches probiotiques peut également prévenir l'infection par *H. pylori* chez l'homme (Wang *et al.*, 2004).

3.2.3. Mécanismes d'action sur le cancer colorectal :

Le cancer colorectal est l'une des maladies qui intéressent les scientifiques, car ce nom fait référence à deux cancers qui affectent la même zone du gros intestin, en raison de leur structure et de leurs fonctions presque similaires.

Ce type de cancer survient à la suite de mutations dans les cellules du côlon et du rectum, et la cause peut être héréditaire, ou due à des facteurs environnementaux, et parfois au sexe et à l'âge de la personne touchée, en plus d'autres maladies telles que le cancer de la prostate ou le diabète. Les symptômes de ce cancer comprennent la présence de sang dans les selles, des douleurs abdominales, de la fièvre, de la fatigue et une perte de poids, et ces symptômes sont clairement visibles chez les patients (**Alzahrani et al., 2021**).

En raison de sa forte prévalence (**Masheghati et al., 2024**), les scientifiques ont commencé à étudier l'efficacité des probiotiques dans la prévention ou le traitement de ce cancer et ont mis en évidence plusieurs mécanismes considérés comme bénéfiques :

1. Renforcer la réponse immunitaire de l'individu (**Masheghati et al., 2024**).
2. Inhiber l'inflammation qui contribue à la formation des tumeurs.
3. Stimuler l'élimination des cellules apoptotiques cancérigènes (**Drago,2019**).
4. Améliorer les conditions chimiques et physiques pendant la chimiothérapie.
5. Sécrétion de facteurs qui contribuent à la destruction des tumeurs et favorisent la cicatrisation des tissus (**Drago,2019 ; Masheghati et al., 2024**).
6. Réparer l'épithélium et la muqueuse du côlon affecté.
7. Soutenir l'efficacité des médicaments anticancéreux avec l'aide des probiotiques en empêchant leur inactivation (**Drago, 2019**).

3.2.4. Mécanismes d'action sur l'intolérance au lactose :

L'intolérance au lactose résulte de la digestion incomplète du lactose dans l'intestin grêle, causée par un manque d'enzyme bêta-galactosidase. Le lactose non digéré atteint le côlon où il est fermenté, entraînant des symptômes gastro-intestinaux tels que diarrhées, ballonnements et douleurs abdominales (**Shah, 2015 ;Yadav et Shukla,2017**).

Les bactéries probiotiques, telles que les *Lactobacillus* et les *Bifidobactérium*, augmentent la production de l'enzyme bêta-galactosidase, qui améliore la digestion du lactose dans l'intestin grêle, atténuant ainsi les symptômes de la malabsorption du lactose (Parracho *et al.*, 2007).

Dans de nombreuses régions du monde, les personnes souffrant d'intolérance au lactose préfèrent manger du yaourt. Le yaourt, qui est produit par la fermentation de bactéries productrices d'acide lactique telles que *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophiles*, contient des niveaux élevés de ces bactéries. Ces probiotiques contiennent de la bêta-galactosidase (lactase bactérienne), qui décompose le lactose et réduit le pH du lait. En outre, la digestion bactérienne du lactose se poursuit dans l'intestin grêle, ce qui minimise les effets indésirables du lactose tels que les douleurs abdominales et les gaz (Szilagyi et Ishayek, 2018). Certains auteurs pensent que la bile présente dans l'intestin grêle peut augmenter la perméabilité des bactéries, permettant ainsi au lactose de pénétrer dans l'intestin et d'être dégradé (Drouault et Corthier, 2001).

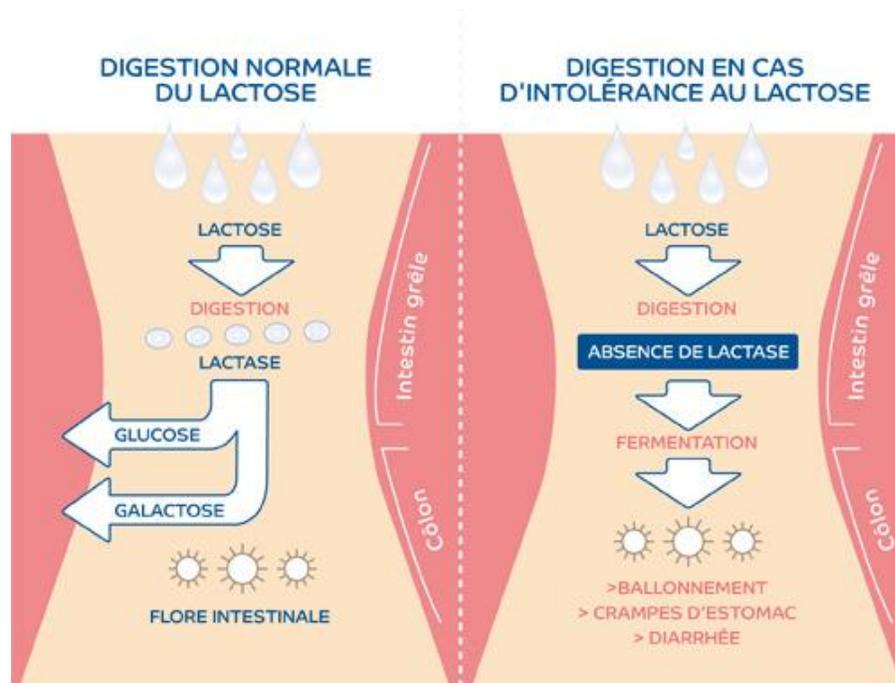


Figure11 : la comparaison entre la digestion normale et la digestion en cas d'intolérance au lactose (<https://www.docteur-lequere.fr/actualites/item/37-intolerance-au-lactose>)

3.3. Effets bénéfiques des probiotiques sur les fonctions extra-digestives :

3.3.1. Les allergies :

La réaction allergique du système immunitaire humain peut être déclenchée par divers allergènes environnementaux, alimentaires ou directs, ainsi que par un manque d'exposition aux micro-organismes dans l'enfance. Les allergies courantes selon l'OMS incluent l'asthme, l'urticaire, l'eczéma atopique, la rhinite et la sinusite, chacune avec ses propres symptômes distinctifs (**Lopez-Santamarina et al., 2021**).

Les scientifiques ont pensé à étudier l'effet des probiotiques sur les personnes souffrant d'allergies et ont découvert que les probiotiques améliorent la réponse immunitaire, et réduisent l'inflammation liée aux allergies en équilibrant les toxines des agents pathogènes grâce à la production de facteurs anti-pathogènes tels que les cytokines (**Drisko et al., 2003 ; Lopez-Santamarina et al., 2021**).

Le choix des probiotiques pour atténuer les symptômes d'allergie repose sur plusieurs éléments, notamment les types et les souches d'organismes probiotiques, la quantité et le type de supports probiotiques, la posologie recommandée, ainsi que l'âge de l'hôte (**Lopez-Santamarina et al., 2021**).

Le tableau suivant présente le rôle et l'effet de quelques bactéries probiotiques dans certaines maladies allergiques :

Tableau II : Probiotiques utilisés pour prévenir ou traiter les allergies (**Furrie, 2005**).

Souche probiotique	Maladies qui l'affectent
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Allergie alimentaire, Asthme
<i>Lactobacillus reuteri</i>	Dermatite atopique
<i>Bifidobacterium</i>	Allergie au lait de vache (Lopez-Santamarina et al., 2021)
<i>bifidobacter lactis</i>	Eczéma atopique
<i>Lactobacillus paracasei</i>	Rhinite allergique

3.3.2. Les infections du système respiratoire supérieur :

Les infections des voies respiratoires supérieures (IVRS) sont des maladies aiguës causées par des infections virales ou bactériennes qui affectent les parties supérieures des voies respiratoires, notamment les voies nasales, le pharynx, la gorge, le larynx et les voies respiratoires au-dessus des poumons. Les exemples les plus courants sont la sinusite, le rhume et la pharyngite, qui se caractérisent par un mal de gorge, une congestion nasale, une toux et des éternuements (**Humair et Kaiser, 2013**).

Plusieurs études ont démontré les effets bénéfiques des probiotiques sur les infections des voies respiratoires. Une méta-analyse de 12 essais contrôlés randomisés a conclu que la prise de probiotiques était associée à une diminution du nombre d'infections aiguës des voies respiratoires supérieures (**De simone et Marazzato, 2020**).

Une autre étude, menée auprès de 571 enfants en bonne santé, a montré que la consommation quotidienne de lait contenant *Lactobacillus* réduisait les jours d'absence à la crèche dus aux maladies respiratoires, ainsi que le nombre d'infections respiratoires et l'utilisation d'antibiotiques pour les traiter (**Hatakka et al., 2001**).

Un traitement combinant *Lactobacillus gasseri*, *Bifidobacterium bifidum*, et *Bifidobacterium longum*, avec des minéraux et des vitamines, a également montré une réduction de la durée des crises de rhume et du nombre de jours de fièvre (**De simone et Marazzato, 2020**).

Enfin, dans un essai clinique avec 209 participants, la consommation d'une boisson lactée fermentée probiotique a entraîné une réduction significative de l'incidence des infections des voies respiratoires, notamment des bactéries Gram-positives (**Glück et Gebbers, 2003**). Ces études soulignent le potentiel des probiotiques pour renforcer le système immunitaire et réduire les infections respiratoires.

3.3.3. Les infections vaginales :

L'appareil génital féminin est exposé à de nombreuses infections et maladies de la reproduction, notamment : infections à *Candida vaginalis*, vaginose bactérienne, cervicite et autres maladies qui entraînent l'apparition de nombreux symptômes, notamment : des pertes vaginales anormales et

nauséabondes, des brûlures d'estomac en raison des modifications des micro-organismes vaginaux et des changements hormonaux.

Le vagin est riche en bactéries du genre *Lactobacillus*, qui se caractérisent par leurs effets positifs sur la santé du vagin, le protégeant en adhérant aux sites d'adhésion et en entrant en compétition avec les organismes pathogènes, abaissant le pH du système reproducteur féminin, en plus de produire des facteurs qui détruisent les pathogènes tels que l'acide lactique (**Mashatan et al.,2024**).

Plusieurs chercheurs ont constaté que les probiotiques ont un effet positif sur la santé vaginale,ils:

- Améliorent les micro-organismes vaginaux (**Mashatan et al.,2023**).
- Maintiennent la santé vaginale (**Borges et al., 2014**).
- Préviennent et empêchent la récurrence des infections vaginales (**Mashatan et al.,2023**).
- Diminuent l'acidité du vagin en éliminant la présence d'organismes pathogènes.
- Renforcent l'immunité vaginale (**Borges et al., 2014**).

3.3.4. La réduction du taux de cholestérol :

Un taux de cholestérol élevé est à l'origine de maladies coronariennes. Il est donc important de réduire le taux de cholestérol, et les changements alimentaires sont souvent le premier choix pour traiter l'hypercholestérolémie, mais un traitement pharmacologique est parfois nécessaire. Des études antérieures ont suggéré que la consommation de produits laitiers fermentés pouvait réduire le taux de cholestérol sanguin. Les composés du lait pouvaient jouer un rôle important, en particulier les bactéries que l'on trouve dans les produits laitiers fermentés (**Lin et al., 1989**).

Des études ont montré que la consommation régulière de probiotiques modifie le métabolisme des lipides sanguins et réduit le taux de cholestérol dans le sang. Mann et Spoerry ont été les premiers chercheurs à rapporter l'effet hypocholestérolémiant de la consommation régulière de lait fermenté avec *Lactobacillus acidophilus* chez les membres des tribus Massaï (**Reis et al.,2017**).

Un essai clinique a montré les effets d'un lait fermenté contenant du *Lactobacillus acidophilus* et des fructo-oligosaccharides sur le cholestérol chez des adultes en bonne santé. Les participants ont pris 125 ml de ce produit ou un yaourt nature trois fois par jour pendant leur régime alimentaire habituel. Les résultats ont montré une baisse significative du cholestérol total, du cholestérol LDL

et du rapport HDL/LDL chez ceux ayant consommé le produit testé, sans effet sur le cholestérol HDL, les triglycérides ou la glycémie (Schaafsma et al., 1998).

D'autres études ont également montré que *Lactobacillus acidophilus* L1 et *Bifidobacterium longum* peuvent abaisser le cholestérol total dans le sérum et améliorer le rapport HDL/LDL (Yadav et Shukla, 2017). Ces résultats indiquent que certains probiotiques peuvent avoir des effets positifs sur les niveaux de cholestérol et la composition lipidique sanguine (Xiao et al., 2003).

3.4. Futures approches des probiotiques :

3.4.1. Probiotiques et pathologies dentaires :

La carie dentaire et la gingivite sont les deux affections les plus importantes qui affectent la bouche :

La carie dentaire résulte de la déminéralisation acide des tissus durs de la surface des dents, puis la carie se propage jusqu'à atteindre la pulpe à cause des sucres, du temps et des bactéries (Pujia et al., 2017 ; Malathi et al., 2014). Les probiotiques jouent un rôle dans la prévention des caries dentaires en inhibant l'action de la bactérie *Streptococcus sobrinus* par *Lactobacillus rhamnosus*, c'est-à-dire en éliminant les bactéries pathogènes et en laissant intacts les autres organismes bénéfiques présents dans la bouche (Tandon et al., 2015).

Quant à la gingivite, elle résulte de l'accumulation de bactéries pathogènes à la surface des gencives. Les bactéries *Lactobacillus* réduisent la concentration de ces bactéries accumulées et améliorent ainsi l'état des gencives enflammées (Slawik, et al., 2011).

3.4.2. Probiotiques et maladies mentales :

Le terme "Psychobiotique" fait référence aux micro-organismes, tels que les probiotiques, qui peuvent avoir un impact positif sur les causes des troubles mentaux et psychologiques lorsqu'ils sont consommés de manière adéquate (Sharma et Bajwa, 2022). Les études approfondies menées par les scientifiques ont montré que les probiotiques ont un effet positif sur les maladies mentales et psychologiques :

- Traiter les déficiences cérébrales (Sharma et Bajwa, 2022).
- Améliorent la cognition chez les personnes souffrant de troubles cognitifs

- Améliorent la capacité à maîtriser le stress, la colère et l'agressivité, en particulier chez les étudiants et les chercheurs universitaires (**Sivamaruthi et al.,2019**).
- Les bactéries du genre *Lactobacillus* comme *L.helveticus* et *L.rhamnosus* sont utilisées pour réduire et traiter l'anxiété, le stress et la dépression chez les femmes qui viennent d'accoucher (**Sharma et Bajwa,2022 et Sivamaruthi et al.,2019**).

3.4.3. Probiotiques, obésité et diabète :

Le diabète sucré est un groupe de maladies métaboliques caractérisées par une hyperglycémie prolongée, qui découle d'un dysfonctionnement de la sécrétion de l'insuline, de l'action de l'insuline, ou des deux simultanément (**Tegegne et Kebede,2022**). L'obésité se caractérise par un déséquilibre du microbiote intestinal, dont l'équilibre et la fonction sont altérés (**Macke et al., 2017**). Les probiotiques sont devenus des compléments alimentaires populaires en raison de leur capacité à promouvoir la santé, notamment en modifiant la flore intestinale pour prévenir le diabète et l'obésité (**Tegegne et Kebede,2022**).

Il est intéressant de noter que divers fromages probiotiques contenant, par exemple, *Lactobacillus plantarum*, associés à un régime alimentaire, contribuent à réduire le poids et la pression artérielle, ainsi que les symptômes bien connus du syndrome métabolique (**Sharafedinov et al.,2013**).

Lactobacillus plantarum et *Bifidobacterium lactis* sont des bactéries probiotiques qui peuvent réduire les effets néfastes des régimes riches en graisses et réguler les réponses immunitaires liées aux maladies inflammatoires. Associé à *Lactobacillus gasseri* et *Bifidobacterium lactis*, il a été démontré que *Lactobacillus rhamnosus* peut prévenir la prise de poids chez l'homme, en particulier la graisse corporelle, ce qui renforce l'efficacité des probiotiques dans le traitement du diabète de type 2 (**Tegegne et Kebede,2022**).

Calcinaro et al., (2005) ont étudié les effets d'une supplémentation orale en probiotiques sur la prévention du diabète de type 1 chez des souris diabétiques non obèses. Leur étude a montré que certains types de probiotiques composés des bifidobactéries (*Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium breve*, *Bifidobacterium infantis*) et des lactobacilles (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactocaseibacillus casei*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. L. bulgaricus* et *Lactiplantibacillus plantarum*) ont des propriétés antidiabétiques. En outre, ils ont constaté que l'exposition à *L. genus*

et *L. plantarum* peut retarder ou prévenir le développement du diabète de type 1 chez les personnes en bonne santé (Tegegne et Kebede, 2022).

Ils ont analysé 17 essais contrôlés randomisés chez l'homme, 51 études sur des animaux et 14 modèles expérimentaux. Leur constatation principale était que *L. fermentum* et *L. ingluviei* étaient associés à une prise de poids chez les animaux, tandis que *Lactobacillus plantarum* était associé à une perte de poids chez les animaux. De plus, *L. gasseri* était également associé à une perte de poids chez les humains et les animaux obèses (Million *et al.*, 2012).

Les preuves actuelles concernant les effets de certains probiotiques ne garantissent pas une amélioration durable de la résistance à l'insuline chez l'homme. Bien que les résultats positifs observés chez l'animal soient encourageants, ils soulignent la nécessité de mener des essais cliniques randomisés à long terme chez les individus obèses et atteints de diabète. Ces résultats mettent en lumière l'importance des recherches supplémentaires dans ce domaine (Salles *et al.*, 2020).

Conclusion

Conclusion :

Les probiotiques occupent une place de plus en plus importante dans le domaine de la santé, leur rôle étant devenu crucial pour maintenir un équilibre optimal dans notre système digestif. En examinant leur impact sur diverses conditions, nous constatons qu'ils sont bénéfiques pour un large éventail de problèmes de santé, notamment les troubles inflammatoires intestinaux tels que la pouchite, la maladie de Crohn et la rectocolite hémorragique, ainsi que pour des problèmes courants tels que la diarrhée associée aux antibiotiques. Leur capacité à réguler les réponses immunitaires et à renforcer la barrière intestinale est cruciale pour réduire la croissance des agents pathogènes et atténuer la gravité de nombreux symptômes, tels que les douleurs abdominales et la diarrhée.

De plus, les probiotiques montrent des avantages significatifs dans d'autres domaines de la santé, notamment dans le renforcement du système immunitaire contre les infections des voies respiratoires supérieures, le maintien de l'équilibre microbien dans le tractus vaginal pour prévenir les infections, la réduction des risques de caries dentaires et le soutien de la santé des gencives. Ils ont également un impact positif sur la santé mentale en modifiant la composition des microbes intestinaux et en influençant les voies de communication entre l'intestin et le cerveau.

Dans le contexte des affections métaboliques telles que l'obésité, le diabète et les problèmes de cholestérol, les probiotiques jouent un rôle crucial en affectant le métabolisme et l'inflammation, ce qui peut contribuer à la prévention de ces maladies. Leurs mécanismes d'action divers, notamment l'inhibition de la croissance de certaines bactéries pathogènes, la réduction de la perméabilité intestinale et la modulation des réponses inflammatoires, sont des aspects clés de leur efficacité.

Cependant, il est essentiel de noter que l'efficacité des probiotiques peut varier en fonction de la souche spécifique utilisée, de la dose administrée et de l'état de santé individuel. Cela souligne l'importance de poursuivre les recherches pour mieux comprendre les genres, les espèces et les mécanismes d'action spécifiques des probiotiques afin d'optimiser leur utilisation dans différents contextes cliniques.

Références bibliographiques

A

- Aiba, Y., Suzuki, N., Kabir, A. M., Takagi, A., Koga, Y. (1998). Lactic acid-mediated suppression of *Helicobacter pylori* by the oral administration of *Lactobacillus salivarius* as a probiotic in a gnotobiotic murine model. *The American journal of gastroenterology* **93(11)**, 2097-2101.
- Alzahrani, S. M., Al Doghaither, H. A., & Al-Ghafari, A. B. (2021). General insight into cancer: An overview of colorectal cancer. *Molecular and clinical oncology* **15(6)**, 1-8.
- Ansari, F., Alian Samakkhah, S., Bahadori, A., Jafari, S. M., Ziaee, M., Khodayari, M. T., Pourjafar, H. (2023). Health-promoting properties of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* as a probiotic; characteristics, isolation, and applications in dairy products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **63(4)**, 457-485.
- Arboleya, S., Watkins, C., Stanton, C., & Ross, R. P. (2016). Gut bifidobacteria populations in human health and aging. *Frontiers in microbiology* **7**, 212275.
- Arrigoni, E., Jörger, F., Kollöffel, B., Roulet, I., Herensperger, M., Meile, L., Amadò, R. (2002). In vitro fermentability of a commercial wheat germ preparation and its impact on the growth of bifidobacteria. *Food Research International* **35(5)**, 475-481.

B

- Bai, A. P., & Ouyang, Q. (2006). Probiotics and inflammatory bowel diseases. *Postgraduate Medical Journal* **82(968)**, 376-382.
- Bajinka, O., Darboe, A., Tan, Y., Abdelhalim, K. A., Cham, L. B. (2020). Gut microbiota and the human gut physiological changes. *Annals of microbiology* **70**, 1-9.
- Bányai, K., Estes, M. K., Martella, V., Parashar, U. D. (2018). Viral gastroenteritis. *The Lancet* **392(10142)**, 175-186.
- Barreiro-de Acosta, M., Bastón-Rey, I., Calviño-Suárez, C., Enrique Domínguez-Muñoz, J. (2020). Pouchitis: Treatment dilemmas at different stages of the disease. *United European Gastroenterology Journal* **8(3)**, 256-262.
- Bartlett, J. G. (2002). Antibiotic-associated diarrhea. *New England journal of medicine* **346(5)**, 334-3
- Bauer, B., Meyer, T. F. (2011). The human gastric pathogen *Helicobacter pylori* and its association with gastric cancer and ulcer disease. *Ulcers 2011*.
- Baumgart, D. C., & Sandborn, W. J. (2012). Crohn's disease. *The Lancet* **380(9853)**, 1590-1605.

- Berding, K., Vlckova, K., Marx, W., Schellekens, H., Stanton, C., Clarke, G., ... & Cryan, J. F. (2021). Diet and the microbiota–gut–brain axis: sowing the seeds of good mental health. *Advances in Nutrition* **12(4)**, 1239-1285.
- Beresford, T. P., Fitzsimons, N. A., Brennan, N. L., & Cogan, T. M. (2001). Recent advances in cheese microbiology. *International dairy journal* **11(4-7)**, 259-274.
- Bik, E. M. (2009). Composition and function of the human-associated microbiota. *Nutrition reviews* **67(suppl_2)**, S164-S171.
- Borges, S., Silva, J., Teixeira, P. (2014). The role of lactobacilli and probiotics in maintaining vaginal health. *Archives of gynecology and obstetrics* **289(3)**, 479-489.
- Brown, E. M., Sadarangani, M., Finlay, B. B. (2013). The role of the immune system in governing host-microbe interactions in the intestine. *Nature immunology* **14(7)**, 660-667.
- Brundage, S. C., Fitzpatrick, A. N. (2006). Hepatitis a. *American family physician* **73(12)**, 2162-2168.
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., Scher, J. (2011). Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of food engineering* **104(4)**, 467-483.
- Butel, M. J. (2014). Probiotics, gut microbiota and health. *Médecine et maladies infectieuses* **44(1)**, 1-8.

C

- Canavan, C., West, J., Card, T. (2014). The epidemiology of irritable bowel syndrome. *Clinical epidemiology* 71-80.
- Canducci, F., Armuzzi, A., Cremonini, F., Cammarota, G., Bartolozzi, F., Pola, P., ... Gasbarrini, A. (2000). A lyophilized and inactivated culture of *Lactobacillus acidophilus* increases *Helicobacter pylori* eradication rates. *Alimentary pharmacology & therapeutics* **14(12)**, 1625-1629.
- Castellani, R. J., Lee, H. G., Zhu, X., Perry, G., Smith, M. A. (2008). Alzheimer disease pathology as a host response. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology* **67(6)**, 523-531.
- Cebeci, A., Gürakan, C. (2003). Properties of potential probiotic *Lactobacillus plantarum* strains. *Food microbiology* **20(5)**, 511-518.
- Celiberto, L. S., Bedani, R., Rossi, E. A., Cavallini, D. C. U. (2017). Probiotics: The scientific evidence in the context of inflammatory bowel disease. *Critical reviews in food science and nutrition* **57(9)**, 1759-1768.
- Chen, Y., Feng, S., Li, Y., Zhang, C., Chao, G., Zhang, S. (2024). Gut microbiota and intestinal immunity—A crosstalk in irritable bowel syndrome. *Immunology*.
- Cogan, T. M., Barbosa, M., Beuvier, E., Bianchi-Salvadori, B., Cocconcelli, P. S., Fernandes, I., ... Rodríguez, E. (1997). Characterization of the lactic acid bacteria in artisanal dairy products. *Journal of Dairy Research* **64(3)**, 409-421.

- Collins, J. K., Thornton, G., & Sullivan, G. O. (1998). Selection of probiotic strains for human applications.
- Coté, G. A., Buchman, A. L. (2006). Antibiotic-associated diarrhoea. *Expert opinion on drug safety* **5(3)**, 361-372.
- Coudeyras, S., Forestier, C. (2010). Microbiote et probiotiques: impact en santé humaine. *Canadian Journal of Microbiology* **56(8)**, 611-650.
- Cui, Y., Xu, T., Qu, X., Hu, T., Jiang, X., Zhao, C. (2016). New insights into various production characteristics of *Streptococcus thermophilus* strains. *International journal of molecular sciences* **17(10)**, 1701.
- Cukor, G. E. O. R. G. E., Blacklow, N. R. (1984). Human viral gastroenteritis. *Microbiological reviews* **48(2)**, 157-179.

D

- De Simone, C., Marazzato, M. (2020). Les probiotiques jouent-ils un rôle dans les infections virales, notamment le SRAS-CoV-2?. *Hegel* **10(3)**, 237-240.
- Debre, p. Le gall, j. (2014). Le microbiote intestinal. *ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE* **6**.
- Delmotte S, La rectocolite hémorragique (RCH). Disponible sur <https://www.digestscience.com/fr/pathologies/rectocolite-hemorragique-rch>. (Consulté le 07/01/2020).
- Delorme, C. (2008). Safety assessment of dairy microorganisms: *Streptococcus thermophilus*. *International journal of food microbiology* **126(3)**, 274-277.
- Derwa, Y., Gracie, D. J., Hamlin, P. J., & Ford, A. C. (2017). Systematic review with meta-analysis: the efficacy of probiotics in inflammatory bowel disease. *Alimentary pharmacology & therapeutics* **46(4)**, 389-400.
- Di Domenico, M., Ballini, A., Boccellino, M., Scacco, S., Lovero, R., Charitos, I. A., & Santacroce, L. (2022). The intestinal microbiota may be a potential theranostic tool for personalized medicine. *Journal of Personalized Medicine* **12(4)**, 523.
- Dieterich, W., Schink, M., & Zopf, Y. (2018). Microbiota in the gastrointestinal tract. *Medical Sciences* **6(4)**, 116.
- Dong, X., Xin, Y., Jian, W., Liu, X., Ling, D. (2000). *Bifidobacterium thermacidophilum* sp. nov., isolated from an anaerobic digester. *International journal of systematic and evolutionary microbiology* **50(1)**, 119-125.
- Drago, L. (2019). Probiotics and colon cancer. *Microorganisms* **7(3)**, 66.
- Drider, D., Prévost, H. (2009). *Bactéries lactiques : physiologie, métabolisme, génomique et applications industrielles*.
- Drisko, J. A., Giles, C. K., Bischoff, B. J. (2003). Probiotics in health maintenance and disease prevention. *Alternative Medicine Review* **8(2)**, 143-155.

- D'souza, A. L., Rajkumar, C., Cooke, J., Bulpitt, C. J. (2002). Probiotics in prevention of antibiotic associated diarrhoea: meta-analysis. *Bmj* **324(7350)**, 1361.
- D'souza, N., Nugent, K. (2016). Appendicitis. *American family physician* **93(2)**, 142-143.
- Duar, R. M., Lin, X. B., Zheng, J., Martino, M. E., Grenier, T., Pérez-Muñoz, M. E., ... Walter, J. (2017). Lifestyles in transition: evolution and natural history of the genus *Lactobacillus*. *FEMS microbiology reviews* **41(Supp_1)**, S27-S48.
- Duwat, P., Sourice, S., Cesselin, B., Lamberet, G., Vido, K., Gaudu, P., ... Gruss, A. (2001). Respiration capacity of the fermenting bacterium *Lactococcus lactis* and its positive effects on growth and survival. *Journal of bacteriology* **183(15)**, 4509-4516.

E

- Ebel, B. (2012). *Sélection de bactéries probiotiques et amélioration de la survie et de la fonctionnalité d'une bactérie modèle, Bifidobacterium bifidum, par modification du potentiel d'oxydoréduction par bullage de gaz* (Doctoral dissertation, Dijon).
- Elliott, E. J. (2007). Acute gastroenteritis in children. *Bmj* **334(7583)**, 35-40.
- erfi.com/presentationetude/Le-march

F

- Fan, H., Gao, L., Yin, Z., Ye, S., Zhao, H., Peng, Q. (2022). Probiotics and rifaximin for the prevention of travelers' diarrhea: A systematic review and network meta-analysis. *Medicine* **101(40)**, e30921.
- Fedoruk, M.J., Hong, S. (2014). Gastrointestinal System. *Encyclopedia of Toxicology* **2**, 702-705.
- Filippi, J. (2020). Pochite: diagnostic et traitement. *Service d'Hépatogastroentérologie et de Nutrition Clinique* **1**, 205-211.
- Fontana, L., Bermudez-Brito, M., Plaza-Diaz, J., Munoz-Quezada, S., Gil, A. (2013). Sources, isolation, characterisation and evaluation of probiotics. *British journal of nutrition* **109(S2)**, S35-S50.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/ Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Consultation mixte d'experts FAO/OMS sur L'évaluation des propriétés sanitaires et nutritionnelles des probiotiques dans les aliments, y compris le lait en poudre contenant des bactéries lactiques vivantes. Cordoba, Argentine : FAO/OMS, 2001
- Furrie, E. (2005). Probiotics and allergy. *Proceedings of the Nutrition Society* **64(4)**, 465-469.

G

- Gerritsen, J., Smidt, H., Rijkers, G. T., de Vos, W. M. (2011). Intestinal microbiota in human health and disease: the impact of probiotics. *Genes & nutrition* **6**, 209-240.
- Girardin, M., Frossard, J. L. (2012). Place des probiotiques dans le traitement des maladies inflammatoires intestinales. *Revue médicale suisse* **(352)**, 1674.

- Glück, U., Gebbers, J. O. (2003). Ingested probiotics reduce nasal colonization with pathogenic bacteria (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*, and β -hemolytic streptococci). *The American journal of clinical nutrition* **77**(2), 517-520.
- Goldin, B. R., Gorbach, S. L., Saxelin, M., Barakat, S., Gualtieri, L., Salminen, S. (1992). Survival of *Lactobacillus* species (strain GG) in human gastrointestinal tract. *Digestive diseases and sciences* **37**, 121-128.
- Goodwin, C. S., Mendall, M. M., Northfield, T. C. (1997). *Helicobacter pylori* infection. *The Lancet* **349**(9047), 265-269.
- Gros, B., Kaplan, G. G. (2023). Ulcerative colitis in adults: A review. *Jama* **330**(10), 951-965.
- Guandalini, S., Sansotta, N. (2019). Probiotics in the treatment of inflammatory bowel disease. *Probiotics and Child Gastrointestinal Health: Advances in Microbiology, Infectious Diseases and Public Health Volume 10*, 101-107.
- Guarner, F., Khan, A. G., Garisch, J., Eliakim, R., Gangl, A., Thomson, A., ... LE, M. (2011). Probiotiques et prébiotiques. *World Gastroenterology Organisation Global Guidelines*.
- Guarneri, M. (2017). *108 Pearls to Awaken Your Healing Potential: A Cardiologist Translates the Science of Health and Healing into Practice*. Hay House, Inc.

H

- Hatakka, K., Savilahti, E., Pönkä, A., Meurman, J. H., Poussa, T., Näse, L., ... Korpela, R. (2001). Effect of long term consumption of probiotic milk on infections in children attending day care centres: double blind, randomised trial. *Bmj* **322**(7298), 1327.
- Hill, D. R., Ryan, E. T. (2008). Management of travellers' diarrhoea. *BMJ* **337**.
- Holtmann, G. J., Ford, A. C., & Talley, N. J. (2016). Pathophysiology of irritable bowel syndrome. *The lancet Gastroenterology & hepatology* **1**(2), 133-146.
- <https://hopital-prive-dijon-bourgogne.ramsaysante.fr/maladie-de-crohn>
- <https://neurosciencenews.com/lactobacillus-depression-anxiety-25293/>
- <https://www.cofamispa.it/en/prodotti/saccharomyces-cerevisiae-var-boulardii-2/>
- <https://www.docteur-lequere.fr/actualites/item/37-intolerance-au-lactose>
- <https://www.fidopharma.com/streptococcus-thermophilus.php>
- <https://www.nutrimea.com/fr/34-bifidobacterium-bifidum>
- <https://www.planetesante.ch/Magazine/Alimentation-et-nutrition/Troubles-digestifs/Helicobacter-pylori-et-ulcere-de-l-estomac>
- Hugon, P., Lagier, J. C., Colson, P., Bittar, F., Raoult, D. (2017). Repertoire of human gut microbes. *Microbial pathogenesis* **106**, 103-112.
- *de Genève, département de médecine communautaire de premier recours et des urgences.*

I

- Ibrahim, S. A., Salameh, M. M. (2001). Simple and rapid method for screening antimicrobial activities of Bifidobacterium species of human isolates. *Journal of Rapid Methods & Automation in Microbiology* **9(1)**, 53-62
- Iyer, R., Tomar, S. K., Maheswari, T. U., Singh, R. (2010). Streptococcus thermophilus strains: Multifunctional lactic acid bacteria. *International Dairy Journal* **20(3)**, 133-141.

J

- Jasniewski, J. (2008). *Étude des mécanismes d'action de bactériocines de la sous classe IIa* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine).
- Javanshir, N., Hosseini, G. N. G., Sadeghi, M., Esmaili, R., Satarikia, F., Ahmadian, G., Allahyari, N. (2021). Evaluation of the Function of Probiotics, Emphasizing the Role of their Binding to the Intestinal Epithelium in the Stability and their Effects on the Immune System. *Biological procedures online* **23**, 1-17.
- Jay, J. M., Loessner, M. J., Golden, D. A. (2006). *Modern food microbiology*. Springer Science & Business Media.
- Johnson, C. D., Kudsk, K. A. (1999). Nutrition and intestinal mucosal immunity. *Clinical Nutrition* **18(6)**, 337-344.
- Jonkers, D., Stockbrügger, R. (2007). Probiotics in gastrointestinal and liver diseases. *Alimentary pharmacology & therapeutics* **26**, 133-148.
- Juillard, V., Spinnler, H. E., Desmazeaud, M. J., Boquien, C. Y. (1987). Phénomènes de coopération et d'inhibition entre les bactéries lactiques utilisées en industrie laitière. *Le lait* **67(2)**, 149-172.

K

- Kaltenbach, G., & Heitz, D. (2004). Antibiotic-associated diarrhea in the elderly. *La Revue de Medecine Interne* **25(1)**, 46-53.
- Kaźmierczak-Siedlecka, K., Ruszkowski, J., Fic, M., Folwarski, M., & Makarewicz, W. (2020). Saccharomyces boulardii CNCM I-745: a non-bacterial microorganism used as probiotic agent in supporting treatment of selected diseases. *Current microbiology* **77**, 1987-1996.
- Kebouchi, M., Galia, W., Genay, M., Soligot, C., Lecomte, X., Awussi, A. A., ... & Le Roux, Y. (2016). Implication of sortase-dependent proteins of Streptococcus thermophilus in adhesion to human intestinal epithelial cell lines and bile salt tolerance. *Applied microbiology and biotechnology* **100**, 3667-3679.
- Kelesidis, T., Pothoulakis, C. (2012). Efficacy and safety of the probiotic Saccharomyces boulardii for the prevention and therapy of gastrointestinal disorders. *Therapeutic advances in gastroenterology* **5(2)**, 111-125.
- Kelly, K. J. (2000). Eosinophilic gastroenteritis. *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition* **30(1)**, S28-S35.
- Klaenhammer, T. R. (2000). Probiotic bacteria: today and tomorrow. *The Journal of nutrition* **130(2)**, 415S-416S.

- Klotz, C., Barret, M., Dhooge, M., Oudjit, A., Chaussade, S., Coriat, R., Abitbol, V. (2015). Rectocolite hémorragique: conduite diagnostique et prise en charge thérapeutique. *La Presse Médicale* **44(2)**, 144-149

L

- Lahti, L., Bayjanov, J. R., Majoor, E. A., Braat, J. C., van Mourik, M. S., Oostdijk, E. A., ... & van Schaik, W. (2017). Comparative gut microbiota and resistome profiling of intensive care patients receiving selective digestive tract decontamination and healthy subjects.
- Landman, C., & Quévrain, E. (2016). Le microbiote intestinal: description, rôle et implication physiopathologique. *La Revue de médecine interne* **37(6)**, 418-423.
- Lazo-Vélez, M. A., Serna-Saldívar, S. O., Rosales-Medina, M. F., Tinoco-Alvear, M., & Briones-García, M. (2018). Application of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* in food processing: a review. *Journal of applied microbiology* **125(4)**, 943-951.
- Léonard, L. (2013). *Evaluation du potentiel bioprotecteur de bactéries lactiques confinées dans une matrice polymérique* (Doctoral dissertation, Dijon).
- Lin, L., & Zhang, J. (2017). Role of intestinal microbiota and metabolites on gut homeostasis and human diseases. *BMC immunology* **18**, 1-25.
- Lin, S. Y., Ayres, J. W., Winkler Jr, W., Sandine, W. E. (1989). Lactobacillus effects on cholesterol: in vitro and in vivo results. *Journal of dairy science* **72(11)**, 2885-2899.
- Liu, M., Gao, H., Miao, J., Zhang, Z., Zheng, L., Li, F., ... Sun, J. (2024). Helicobacter pylori infection in humans and phytotherapy, probiotics, and emerging therapeutic interventions: a review. *Frontiers in Microbiology* **14**, 1330029.
- Liyun, L. I., Zhongwang, Q. I. U., Xiuli, D. U., Yunfeng, G. U. O. (2018). Response of surrounding environment during excavating of subway shaft adjacent to building. *Journal of Engineering Geology* **26(4)**, 1086-1094.
- Lopez-Santamarina, A., Gonzalez, E. G., Lamas, A., Mondragon, A. D. C., Regal, P., Miranda, J. M. (2021). Probiotics as a possible strategy for the prevention and treatment of allergies. A narrative review. *Foods* **10(4)**, 701.

M

- Macke, E., Tasiemski, A., Massol, F., Callens, M., Decaestecker, E. (2017). Life history and eco-evolutionary dynamics in light of the gut microbiota. *Oikos* **126(4)**, 508-531.
- Mackie, A. (2019). The digestive tract: A complex system. *Interdisciplinary approaches to food digestion* 11-27.
- Malathi, L., Jayasrikrupaa, B. N., Vidya Rani, A. V., Masthan, K. M. K. (2014). Probiotics in dentistry—a review. *Biosci Biotechnol Res Asia* **11(1)**, 193-197.
- Mashatan, N., Heidari, R., Altafi, M., Amiri, A., Ommati, M. M., Hashemzaei, M. (2023). Probiotics in vaginal health. *Pathogens and Disease* **81**.

- Masheghati, F., Asgharzadeh, M. R., Jafari, A., Masoudi, N., Maleki-Kakelar, H. (2024). The role of gut microbiota and probiotics in preventing, treating, and boosting the immune system in colorectal cancer. *Life Sciences* **122529**.
- McFarland, L. V. (2007). Meta-analysis of probiotics for the prevention of traveler's diarrhea. *Travel medicine and infectious disease*, 5(2), 97-105
- McFarland, L. V. (2010). Systematic review and meta-analysis of *Saccharomyces boulardii* in adult patients. *World journal of gastroenterology: WJG* 16(18), 220
- McFarland, L. V., Goh, S. (2019). Are probiotics and prebiotics effective in the prevention of travellers' diarrhea: a systematic review and meta-analysis. *Travel Medicine and Infectious Disease* **27**, 11-19.
- Milani, C., Duranti, S., Bottacini, F., Casey, E., Turrone, F., Mahony, J., ... Ventura, M. (2017). The first microbial colonizers of the human gut: composition, activities, and health implications of the infant gut microbiota. *Microbiology and molecular biology reviews* **81(4)**, 10-1128.
- Million, M., Angelakis, E., Paul, M., Armougom, F., Leibovici, L., & Raoult, D. (2012). Comparative meta-analysis of the effect of *Lactobacillus* species on weight gain in humans and animals. *Microbial pathogenesis* **53(2)**, 100-108.
- Mitra, A. K., Asala, A. F., Malone, S., Mridha, M. K. (2023). Effects of Probiotics in Adults with Gastroenteritis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Trials. *Diseases* **11(4)**, 138.
- Mofredj, A., Bahloul, H., Chanut, C. (2007). *Lactococcus lactis*: an opportunistic bacterium?. *Médecine et Maladies Infectieuses* **37(4)**, 200-207.
- Moraes-Filho, J. P., Quigley, E. M. (2015). The intestinal microbiota and the role of probiotics in irritable bowel syndrome: a review. *Arquivos de gastroenterologia* **52**, 331-338.
- Mowat, A. M., Agace, W. W. (2014). Regional specialization within the intestinal immune system. *Nature Reviews Immunology* **14(10)**, 667-685.

N

- Novak, F. R., Almeida, J. A., Silva, G. O., Borba, L. M. (2001). Human colostrum: a natural source of probiotics. *J Pediatr* **77(4)**, 265-70.

O

- Orla-Jensen, S. (1924). La classification des bactéries lactiques. *Le Lait* **4(36)**, 468-474.

P

- Parracho, H., McCartney, A. L., Gibson, G. R. (2007). Probiotics and prebiotics in infant nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society* **66(3)**, 405-411.
- Perez, T., Balcazar, J. L., Peix, A., Valverde, A., Velazquez, E., de Blas, I., Ruiz-Zarzuela, I. (2011). *Lactococcus lactis* subsp. *tractae* subsp. nov. isolated from the intestinal mucus of brown trout (*Salmo trutta*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *International journal of systematic and evolutionary microbiology* **61(8)**, 1894-1898.
- Pujia, A. M., Costacurta, M., Fortunato, L., Merra, G., Cascapera, S., Calvani, M., Gratteri, S. (2017). The probiotics in dentistry: a narrative review. *European Review for Medical & Pharmacological Sciences* **21(6)**

Q

- Quévrain, E., Seksik, P. (2013). Microbiote intestinale: de la diarrhée post-antibiotiques aux maladies inflammatoires intestinales. *La Presse Médicale* **42(1)**, 45-51.

R

- Rajilić-Stojanović, M., Smidt, H., De Vos, W. M. (2007). Diversity of the human gastrointestinal tract microbiota revisited. *Environmental microbiology* **9(9)**, 2125-2136.
- Rajkowska, K., Kunicka-Styczynska, A., Rygala, A. (2012). Probiotic activity of *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* against human pathogens. *Food Technology and Biotechnology* **50(2)**, 230.
- Ramakrishna, B. S. (2013). Role of the gut microbiota in human nutrition and metabolism. *Journal of gastroenterology and hepatology* **28**, 9-17.
- Reis, S. A., Conceição, L. L., Rosa, D. D., Siqueira, N. P., Peluzio, M. C. G. (2017). Mechanisms responsible for the hypocholesterolaemic effect of regular consumption of probiotics. *Nutrition research reviews* **30(1)**, 36-49.
- Rodríguez, J. M., Murphy, K., Stanton, C., Ross, R. P., Kober, O. I., Juge, N., ... Collado, M. C. (2015). The composition of the gut microbiota throughout life, with an emphasis on early life. *Microbial ecology in health and disease* **26(1)**, 26050.

S

- Saarela, M., Rantala, M., Hallamaa, K., Nohynek, L., Virkajärvi, I., Mättö, J. (2004). Stationary-phase acid and heat treatments for improvement of the viability of probiotic lactobacilli and bifidobacteria. *Journal of Applied Microbiology* **96(6)**, 1205-1214.
- Salles, B. I. M., Cioffi, D., Ferreira, S. R. G. (2020). Probiotics supplementation and insulin resistance: a systematic review. *Diabetology & metabolic syndrome* **12**, 1-24.
- Samaržija, D., Tudor, M., Prtilo, T., Dolencić Špehar, I., Zamberlin, Š., Havranek, J. (2009). Probiotic bacteria in prevention and treatment of diarrhea. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka* **59(1)**, 28-32.
- Sanders, D. J., Inniss, S., Sebeos-Rogers, G., Rahman, F. Z., Smith, A. M. (2021). The role of the microbiome in gastrointestinal inflammation. *Bioscience reports* **41(6)**, BSR20203850.
- Savadogo, A., Traore, A. S. (2011). La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* **5(5)**, 2057-2075.
- Schaafsma, G., Meuling, W. J. A., Van Dokkum, W., Bouley, C. (1998). Effects of a milk product, fermented by *Lactobacillus acidophilus* and with fructo-oligosaccharides added, on blood lipids in male volunteers. *European journal of clinical nutrition* **52(6)**, 436-440.
- Schiffrin, E. J., Blum, S. (2002). Interactions between the microbiota and the intestinal mucosa. *European journal of clinical nutrition* **56(3)**, S60-S64.
- Sekirov, I., Russell, S. L., Antunes, L. C. M., Finlay, B. B. (2010). Gut microbiota in health and disease. *Physiological reviews*.

- Servin, A. L., Coconnier, M. H. (2003). Adhesion of probiotic strains to the intestinal mucosa and interaction with pathogens. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology* **17(5)**, 741-754.
- Shah, N. P. (2015). Functional properties of fermented milks. *Health Benefits of Fermented Foods* 261-274.
- Shanahan, F. (2010). Probiotics in perspective. *Gastroenterology* **139(6)**, 1808-1812
- Sharafedinov, K. K., Plotnikova, O. A., Alexeeva, R. I., Sentsova, T. B., Songisepp, E., Stsepetova, J., ... Mikelsaar, M. (2013). Hypocaloric diet supplemented with probiotic cheese improves body mass index and blood pressure indices of obese hypertensive patients-a randomized double-blind placebo-controlled pilot study. *Nutrition journal* **12**, 1-11.
- Sharma, R., Bhaskar, B., Sanodiya, B. S., Thakur, G. S., Jaiswal, P., Yadav, N., ... Bisen, P. S. (2014). Probiotic efficacy and potential of *Streptococcus thermophilus* modulating human health: A synoptic review. *J Pharmaceutic Biol Sci* **9**, 52-8.
- Sharma, H., Bajwa, J. (2022). Approach of probiotics in mental health as a psychobiotics. *Archives of Microbiology* **204(1)**, 30.
- Sheu, B. S., Wu, J. J., Lo, C. Y., Wu, H. W., Chen, J. H., Lin, Y. S., Lin, M. D. (2002). Impact of supplement with *Lactobacillus*-and *Bifidobacterium*-containing yogurt on triple therapy for *Helicobacter pylori* eradication. *Alimentary pharmacology & therapeutics* **16(9)**, 1669-1675.
- Sidell, Doug, Nina L Shapiro. (2012) "Acute tonsillitis." *Infectious Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-Infectious Disorders)* **12.4** 271-276.
- Simon, E., Călinoiu, L. F., Mitrea, L., Vodnar, D. C. (2021). Probiotics, prebiotics, and synbiotics: Implications and beneficial effects against irritable bowel syndrome. *Nutrients* **13(6)**, 2112.
- Sivamaruthi, B. S., Prasanth, M. I., Kesika, P., Chaiyasut, C. (2019). Probiotics in human mental health and diseases-A minireview. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* **18(4)**, 889-895.
- Slawik, S., Staufenbiel, I., Schilke, R., Nicksch, S., Weinspach, K., Stiesch, M., Eberhard, J. (2011). Probiotics affect the clinical inflammatory parameters of experimental gingivitis in humans. *European journal of clinical nutrition* **65(7)**, 857-863.
- Stavropoulou, E., & Bezirtzoglou, E. (2020). Probiotics in medicine: a long debate. *Frontiers in immunology* **11**, 554558
- Szilagyí, A., Ishayek, N. (2018). Lactose intolerance, dairy avoidance, and treatment options. *Nutrients* **10(12)**, 1994.

T

- Tailliez, P. (2004). Les lactobacilles : propriétés, habitats, rôle physiologique et intérêt en santé humaine. *Antibiotiques* **6(1)**, 35-41.
- Tandon, V., Arora, V., Yadav, V., Singh, V., Punia, H., Agrawal, S., Gupta, V. (2015). Concept of probiotics in dentistry. *Int J Dent Med Res* **1(6)**, 206-209..
- Tebyanian, H., Bakhtiari, A., Karami, A., & Kariminik, A. (2017). Antimicrobial activity of some Lactobacillus species against intestinal pathogenic bacteria. *International Letters of Natural Sciences* **65**, 10-15.
- Tegegne, B. A., Kebede, B. (2022). Probiotics, their prophylactic and therapeutic applications in human health development: A review of the literature. *Heliyon* **8(6)**.
- Teuber, M., Geis, A. (2006). The genus lactococcus. *The prokaryotes* **4**, 205-228.
- Tissier, M. H. (1899). La reaction chromophile d'Escherich et le Bacterium coli. *CR Soc Biol* **51**, 943-945.
- Torres, J., Mehandru, S., Colombel, J. F., Peyrin-Biroulet, L. (2017). Crohn's disease. *The Lancet* **389(10080)**, 1741-1755.
- Trop, T. K. (2014). Intestinal microbiota, probiotics and prebiotics in inflammatory bowel disease. *World journal of gastroenterology: WJG* **20(33)**, 11505.
- Turner, J. R. (2009). Intestinal mucosal barrier function in health and disease. *Nature reviews immunology* **9(11)**, 799-809.

U

- Ungaro R, Mehandru S, Allen PB, Peyrin-Biroulet L, Colombel JF. (2017). Ulcerative colitis. *Lancet*. Apr **29;389(10080)**:1756-1770.
- Uriot, O., Denis, S., Junjua, M., Roussel, Y., Dary-Mourot, A., Blanquet-Diot, S. (2017). Streptococcus thermophilus: from yogurt starter to a new promising probiotic candidate?. *Journal of Functional Foods* **37**, 74-89.

V

- Van der Aa Kühle, A., Skovgaard, K., Jespersen, L. (2005). In vitro screening of probiotic properties of Saccharomyces cerevisiae var. boulardii and food-borne Saccharomyces cerevisiae strains. *International journal of food microbiology* **101(1)**, 29-39.
- Videlock, E. J., Cremonini, F. (2012). Meta-analysis: probiotics in antibiotic-associated diarrhoea. *Alimentary pharmacology & therapeutics* **35(12)**, 1355-1369.
- Von Ah, U. (2006). *Identification of Bifidobacterium thermophilum RBL67 isolated from baby faeces and partial purification of its bacteriocin* (Doctoral dissertation, ETH Zurich).

W

- Wang, K. Y., Li, S. N., Liu, C. S., Perng, D. S., Su, Y. C., Wu, D. C., ... Wang, W. M. (2004). Effects of ingesting Lactobacillus-and Bifidobacterium-containing yogurt in subjects with colonized Helicobacter pylori. *The American journal of clinical nutrition* **80(3)**, 737-741.
- Wilcox, C. R., Stuart, B., Leaver, H., Lown, M., Willcox, M., Moore, M., Little, P. (2019). Effectiveness of the probiotic Streptococcus salivarius K12 for the treatment and/or prevention of sore throat: a systematic review. *Clinical Microbiology and Infection* **25(6)**, 673-680.
- World Health Organization. (2017). *Global hepatitis report 2017*. World Health Organization.

X

- Xiao, J. Z., Kondo, S., Takahashi, N., Miyaji, K., Oshida, K., Hiramatsu, A., ... Hosono, A. (2003). Effects of milk products fermented by Bifidobacterium longum on blood lipids in rats and healthy adult male volunteers. *Journal of dairy science* **86(7)**, 2452-2461.

Y

- Yadav, R., Shukla, P. (2017). Probiotics for human health: current progress and applications. *Recent advances in applied microbiology* 133-147.
- Yates, J. (2005). Traveler's diarrhea. *American family physician* **71(11)**, 2095-2100.
- Yersin, S., Vonaesch, P. (2024). Small intestinal microbiota: from taxonomic composition to metabolism. *Trends in Microbiology*.

Résumé

Le microbiote intestinal, présent dès la naissance, évolue avec l'âge et subit l'influence de divers facteurs tels que le mode d'accouchement, l'environnement, les antibiotiques, le régime alimentaire et le génotype. Le concept des microorganismes bénéfiques a progressé vers les probiotiques, des bactéries lactiques sélectionnées pour leur capacité à survivre au transit digestif, à adhérer à la muqueuse intestinale et à avoir une activité antimicrobienne.

Les probiotiques ont un impact significatif sur la santé humaine en modifiant la flore intestinale pour prévenir diverses maladies intestinales liées au déséquilibre de cette flore. Ils jouent également un rôle dans la modulation des réponses inflammatoires, la prévention de l'inflammation gastro-intestinale et la réduction des troubles métaboliques tels que le diabète et l'obésité.

L'intérêt pour les probiotiques s'étend à plusieurs domaines de la santé, notamment la santé dentaire et mentale, la régulation du cholestérol, la réduction des infections des voies respiratoires supérieures, des infections vaginales, de la diarrhée et du syndrome du côlon irritable. En conclusion, les probiotiques ont joué un rôle thérapeutique et préventif essentiel dans l'amélioration de la santé humaine, qu'ils soient consommés sous forme de lait fermenté ou de compléments alimentaires.

Mots-clés : Probiotiques, microbiote intestinal, santé humaine, maladies intestinales, rôle thérapeutique.

Summary

The intestinal microbiota, present from birth, evolves with age and is influenced by various factors such as mode of delivery, environment, antibiotics, diet and genotype. The concept of beneficial microorganisms has progressed to probiotics, lactic acid bacteria selected for their ability to survive digestive transit, adhere to the intestinal mucosa and have antimicrobial activity.

Probiotics have a significant impact on human health by modifying the intestinal flora to prevent various intestinal diseases linked to an imbalance in this flora. They also play a role in modulating inflammatory responses, preventing gastrointestinal inflammation and reducing metabolic disorders such as diabetes and obesity.

Interest in probiotics extends to several areas of health, including dental and mental health, cholesterol regulation, reduction of upper respiratory tract infections, vaginal infections, diarrhoea and irritable bowel syndrome. In conclusion, probiotics have played an essential therapeutic and preventive role in improving human health, whether consumed in the form of fermented milk or food supplements.

Key words: Probiotics, intestinal microbiota, human health, intestinal diseases, therapeutic role.

ملخص

تتطور الجراثيم المعوية، الموجودة منذ الولادة، مع تقدم العمر وتتأثر بعوامل مختلفة مثل طريقة الولادة والبيئة والمضادات الحيوية والنظام الغذائي والنمط الجيني. وقد تطور مفهوم الكائنات الحية الدقيقة المفيدة إلى البروبيوتيك، وهي بكتيريا حمض اللاكتيك التي تم اختيارها لقدرتها على البقاء على قيد الحياة في الجهاز الهضمي، والالتصاق بالغشاء المخاطي للأمعاء ولها نشاط مضاد للميكروبات.

البروبيوتيك لها تأثير كبير على صحة الإنسان من خلال تعديل الجراثيم المعوية للوقاية من الأمراض المعوية المختلفة المرتبطة بخلل في هذه الجراثيم. كما أنها تلعب دوراً في تعديل الاستجابات الالتهابية والوقاية من التهاب الجهاز الهضمي والحد من الاضطرابات الأيضية مثل داء السكري والسمنة.

يمتد الاهتمام بالبروبيوتيك ليشمل عدة مجالات صحية، بما في ذلك صحة الأسنان والصحة العقلية وتنظيم الكوليسترول والحد من التهابات الجهاز التنفسي العلوي والتهابات المهبل والإسهال ومتلازمة القولون العصبي. وختاماً، لعبت البروبيوتيك دوراً علاجياً ووقائياً أساسياً في تحسين صحة الإنسان، سواء تم تناولها في شكل حليب مخمر أو مكملات غذائية.

الكلمات المفتاحية: البروبيوتيك، الجراثيم المعوية، صحة الإنسان، الأمراض المعوية، الدور العلاجي