

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Microbiologie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie appliqué



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Propriétés probiotiques des lactobacilles

Présenté par :

Nameur aicha

Soutenu le : 02 Juillet 2025

Devant le jury composé de :

Mme DJINNI Ibtissem	Pr.	Président
Mme HAMMA-FARADJI Samia	Pr	Rapporteur
Mme BENSIDHOUM Leila	MCA	Examineur

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

*Avant tout, je tiens à remercier celui qui m'a protégé, aidé, et soutenu,
jusqu'à pouvoir « mener la graine au fruit »*

Je m'incline pour dire « Dieu merci »

*J'adresse mes profonds remerciements à ma promotrice **Mme faradji**
pour avoir encadré et dirigé ce travail avec une grande rigueur
scientifique.*

*Je remercie également **Mme. Bensidhoum** Pour l'honneur qu'elle m'a
fait en acceptant d'examiner mon travail. Ainsi que **Mme. Djinni**
pour avoir accepté de présider le jury.*

*Merci à tous ceux et celles qui m'ont soutenu d'une manière ou d'une
autre, de près ou de loin.*



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents. La lumière de mes yeux, la joie de ma vie, la source de mes efforts, grâce à vos prières je suis ici aujourd'hui, merci pour votre soutien durant mes études, que Dieu vous protège et garde.

A mes frères **Massinissa** et **Walid**

A toute la famille **Nameur** sans exception

A mes collègues et camarades de la promo **M2 Microbiologie appliqué 2025**

A toute personne qui connait et aime **Aicha**

Aicha



Liste des abréviations :

BL : Bactéries lactique

TY2 : type 2

HE : Huiles Essentiels

Liste des Figures

Figure 1: Mode d'action des probiotiques21

Table de matières

Remerciement

Dédicaces

Liste des abréviations

Introduction Générale.....	2
Chapitre I : Les lactobactilles comme probiotiques.....	6
I. Définition	6
II. Historique des probiotiques	6
III. Critères de sélection des probiotiques	7
1. Propriétés fonctionnelles	7
1.1. Survie au cours du transit digestif	7
1.2. Activité antimicrobienne :	8
1.3. Colonisation et adhésion aux cellules intestinales :	8
2. Propriétés technologiques	9
2.1. Propriété acidifiante :	9
IV. Effet probiotique	10
1. Intolérance au lactose et bactéries du yaourt vivantes ou mortes.....	10
2. Effets écologiques de produits fermentés dépourvus de germes vivants (postbiotiques)	10
3. Effet immunitaire	12
V. Effet microbiote intestinale.....	13
1. Modifications de la microflore saprophyte colique au cours de diarrhées infectieuses	13
2. Modifications de la microflore endogène colique au cours de maladies inflammatoires cryptogénétiques (et chroniques) de l'intestin	14
VI. Effet sur le système immunitaire	15
VII. Effet Métabolisme.....	16
1. Le cholestérol	16
2. Le diabète	16
VIII. Production de Métabolites	17
1. EPS	17
1.1. Propriété anti-oxydante	17
1.2. Effet prébiotique.....	17
1.3. Activité antimicrobienne	18
2. Les Bactériocines	19
3. Acide lactique.....	19

4. Le peroxyde d'hydrogène H ₂ O ₂	19
IX. Effets technologiques.....	20
X. Mode d'action des probiotiques.....	20
Chapitre II : Extrait Végétaux (huiles essentielles).....	22
I. Définition des extraits végétaux.....	23
II. Historique sur les extraits des végétaux.....	23
III. Effet antimicrobien.....	23
1. Effets antibactériens et antifongique	23
V. L'activité anti-oxydante	24
1. Le stress oxydatif	24
2. Les radicaux libres :	25
3. Les antioxydants :	25
Chapitre III : L'association des extraits végétaux avec probiotiques	27
I. Activités biologiques des associations polyphénols – micro-organismes	27
1. Activité antimicrobienne et antibactérienne des associations polyphénols – bactériocines, acides organiques et bactéries lactiques	
2. Activité antimicrobienne des polyphénols	28
3. Activité antioxydante des associations polyphénols – micro-organismes	29
4. Activité anti-inflammatoire et protection cellulaire	31
II. Activités biologiques des associations huiles essentielles – micro-organismes	32
1. Activité antimicrobienne et antibactérienne des huiles essentielles associées aux bactériocines, acides organiques et bactéries lactiques	32
2. Activité antioxydante et anti-inflammatoire des associations huiles essentielles – micro-organismes	34
3. Synergie et complémentarité entre polyphénols et huiles essentielles dans la lutte contre les pathogènes.....	35
III. Intérêt des associations extraits végétaux, probiotiques	36
IV. Effets cytotoxiques potentiels des associations extraits végétaux, probiotiques	37
Conclusion Générale	
Références bibliographiques	

Introduction

Les bactéries lactiques (BAL) constituent un groupe hétérogène de micro-organismes à Gram positif, non sporulés, catalase négative, capables de produire principalement de l'acide lactique par fermentation des sucres. Elles sont largement répandues dans la nature, colonisant divers environnements tels que les produits laitiers fermentés, les végétaux, ainsi que le microbiote intestinal, oral et vaginal de l'être humain et des animaux (Salvetti, 2018 ; Duar, 2017).

Parmi les genres les plus représentatifs figurent *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus* et *Enterococcus*. Le genre *Lactobacillus*, récemment révisé en plusieurs sous-genres en raison de sa grande diversité phylogénétique et écologique, regroupe plus de 250 espèces reconnues présentant des adaptations spécifiques à différents habitats et fonctions métaboliques (Zheng, 2020 ; Wuyts, 2017).

Ces bactéries jouent un rôle essentiel dans la fermentation alimentaire, la protection contre les pathogènes, et le maintien de l'équilibre du microbiote, ce qui explique leur intérêt croissant dans les domaines de la santé et de la biotechnologie.

Ces dernières années, face à l'émergence de souches pathogènes multirésistantes aux antibiotiques, un intérêt croissant s'est porté sur l'utilisation des bactéries lactiques, en particulier les lactobacilles, comme une alternative naturelle aux thérapies antimicrobiennes conventionnelles. Ces microorganismes, utilisés sous forme de probiotiques, offrent des perspectives prometteuses en matière de prévention et de traitement des infections, grâce à leurs effets antimicrobiens, immunomodulateurs et à leur capacité à rétablir l'équilibre du microbiote intestinal.

Par ailleurs, les *Lactobacilles* sont largement utilisés dans l'industrie laitière comme ferments acidifiants et producteurs d'arômes. Ils jouent un rôle essentiel dans la fabrication de nombreux produits fermentés (comme les yaourts, fromages ou laits fermentés). De plus, ces bactéries sont souvent employées comme cultures "starter", c'est-à-dire des cultures de démarrage ajoutées intentionnellement pour initier et contrôler le processus de fermentation. Ce rôle de « starter » leur permet de développer des caractéristiques organoleptiques spécifiques (goût, texture, arôme) et d'améliorer la conservation des aliments en inhibant les micro-organismes indésirables. (Abee, 1995).

Les huiles essentielles se présentent sous la forme de substances liquides, volatiles, très odorantes et hautement actives. On distingue les huiles essentielles à proprement parler extraites de plantes (racines, feuilles, tiges, écorces) et les essences aromatiques, extraites quant à elles d'agrumes tels que citron, orange douce.

La présente étude a pour objectifs d'évaluer les caractères biochimiques et physiologiques ainsi que les aptitudes technologiques et probiotiques de certains isolats de *Lactobacillus* autochtones

Généralités sur les *Lactobacilles* :

Les *Lactobacilles* sont des bactéries Gram positif, non sporulées, immobiles, appartenant au groupe des bactéries lactiques (BAL). Elles se caractérisent par un métabolisme fermentaire strict, produisant principalement ou exclusivement de l'acide lactique à partir de la fermentation des glucides. Ces micro-organismes sont anaérobies facultatifs ou microaérophiles, tolérants à l'oxygène, mais dépourvus d'activités catalasique et oxydasique.

Les lactobacilles colonisent divers environnements naturels, notamment les produits fermentés, les muqueuses humaines et animales (intestinale, orale, vaginale), et jouent un rôle essentiel dans la fermentation alimentaire, la préservation des aliments et le maintien de l'équilibre du microbiote. Grâce à leurs propriétés probiotiques, certaines espèces sont également utilisées dans le domaine pharmaceutique et médical pour leurs effets bénéfiques sur la santé (Salvetti, 2018 ; Zheng, 2020).

En termes d'importance quantitative ; le genre *Lactobacillus* est à la fois le plus grand et le plus important des bactéries lactique (Huanget, 2018 ; Bekheziz, 2020) il a été identifié pour la première fois par Beijerinck en 1901 et fait partie du phylum des *Firmicutes*, de la classe des *Bacilli*, de l'ordre des *Lactobacillales* et de la famille des *Lactobacillaceae*. À ce jour, on dénombre environ 196 espèces (Huang et al., 2018). La diversité de ce genre s'explique notamment par la variabilité de la composition en bases G/C (guanine et cytosine) de leur ADN, qui varie entre 30 et 55 % selon les espèces (Huang, 2018).

- **Famille :** *Lactobacillaceae*.
- **Genre :** *Lactobacillus*.

Ce genre bactérien est classiquement subdivisé en trois groupes selon les voies de fermentation :

- Les lactobacilles homofermentaires stricts qui dégradent les hexoses en acide lactique.

- Les lactobacilles hétérofermentaires stricts fermentent les glucides en acide lactique, en acide acétique ou éthanol et CO₂.
- Les lactobacilles hétérofermentaire facultatifs qui produisent de l'acide lactique et de l'acide acétique.
- Plusieurs espèces buccales dont : *Lacidophilus*, *L.casei* , *L.fermentun* , *L.oris* , *L.salvarius*.

Les *Lactobacilles* sont largement répandus dans la nature, essentiellement au niveau des végétaux, et on les retrouve donc naturellement dans les aliments. On les trouve notamment dans les produits laitiers, où ils sont utilisés pour leur pouvoir fermentaire dans l'industrie agro-alimentaire. Ils sont également présents comme commensaux chez l'animal et chez l'homme, surtout au niveau de la partie supérieure du tractus digestif (cavité buccale et iléon) ainsi qu'au niveau vaginal, constituant la flore dite de Döderlein (**Axelsson, 2004 ; Holzapfel et Wood, 2014**).

Chapitre 1

Les *Lactobacilles* comme
probiotiques

I. Définition

Les probiotiques sont des microorganismes vivants qui peuvent être intégrés dans différents types de produits, y compris les aliments, les médicaments et les suppléments alimentaires. Les espèces de *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* sont les plus communément utilisées comme probiotiques ainsi que la levure *Saccharomyces cerevisiae* et quelques espèces de *Escherichia coli* et de Bacilles sont également utilisées comme probiotiques. Les bactéries lactiques, notamment celles appartenant au genre *Lactobacillus*, sont utilisées depuis des millénaires dans la conservation et la transformation des aliments par fermentation. Elles remplissent un double rôle : d'une part, elles agissent comme agents technologiques en améliorant la qualité organoleptique, la texture et la stabilité microbiologique des denrées ; d'autre part, elles peuvent exercer un effet probiotique bénéfique sur la santé humaine (Rezvani, 2020 ; Tadesse, 2021).

Le terme *probiotique* est toutefois réservé, au sens strict, aux microorganismes vivants dont les effets positifs sur la santé ont été scientifiquement démontrés à travers des études cliniques contrôlées (FAO/WHO, 2002 ; Hill, 2014).

La fermentation opérée par ces bactéries permet non seulement de développer un profil gustatif particulier, mais aussi de réduire le pH du milieu, ce qui limite la croissance des microorganismes pathogènes et prolonge la durée de conservation des produits (Leroy & De Vuyst, 2020). Ce processus concerne un large éventail de denrées agricoles telles que les céréales, racines, tubercules, fruits, légumes, produits laitiers, viandes et poissons (Marco, 2021).

II. Historique des probiotiques

Il y a un siècle, **Elie Metchnikoff** (scientifique russe, lauréat du Nobel et professeur à l'Institut Pasteur à Paris) a postulé que les bactéries lactiques (**Lactic Acid Bacteria**) offraient des bénéfices pour la santé conduisant à une plus grande longévité. Il a suggéré que « l'auto-intoxication intestinale » et le vieillissement qui en résultait pouvaient être supprimés en modifiant la flore microbienne de l'intestin et en remplaçant les microbes protéolytiques tels que *Clostridium* qui produisent des substances toxiques comme les phénols ; les indoles et l'ammonium à partir des protéines de la digestion par des microorganismes utiles. Il développa un régime alimentaire à base de lait fermenté par une bactérie qu'il appela « Bacille bulgare ».

En 1917, avant la découverte de la pénicilline par Sir Alexander Fleming, Alfred Nissle isola une souche non pathogène d'*Escherichia coli* à partir des selles d'un soldat de la première guerre mondiale qui n'avait pas développé d'*Entécolite* lors d'une épidémie sévère de Shigellose. Les troubles du tractus intestinal étaient fréquemment traités par des bactéries vivantes non pathogènes pour modifier ou remplacer la flore microbienne intestinale. La souche d'*Escherichia coli* isolé par Nissle 1917 est l'un des rares exemples de probiotiques qui ne soit pas une bactérie lactique. Une Bifidobactérie a été isolée par Henry Tissier à partir d'un enfant nourri au sein. IL l'appela *Bacillus bifidus Communis*. Tissier affirma que la Bifidobactérie remplacerait la bactérie protéolytique qui cause la diarrhée et il recommanda l'administration de Bifidobactéries aux enfants souffrant de diarrhée.

Le terme « probiotique » fut introduit pour la première fois en 1953 par **Lilly et Stilwell** ; par opposition aux antibiotiques les probiotiques furent définis comme des facteurs dérivés des microorganismes et stimulant la croissance des autres organismes.

En 1989, **Roy Fuller** a mis l'accent sur la nécessité de viabilité des probiotiques et a introduit l'idée qu'ils avaient un effet bénéfique sur l'hôte.

III. Critères de sélection des probiotiques

Les bactéries probiotiques sont des souches bactériennes dont l'innocuité est parfaitement établie. Elles doivent pouvoir survivre en grand nombre au passage de l'estomac et du duodénum, ce qui implique une résistance élevée à l'acidité gastrique et aux sels biliaires. Elles doivent ensuite être capable d'adhérer à la surface de la muqueuse de l'intestin afin de pouvoir exercer à ce niveau des fonctions bénéfique telles que la sécrétion de substances antimicrobiennes et la régulation de la microflore (**Exl-Perysch et Rock, 2005**).

1. Propriétés fonctionnelles

Les exigences fonctionnelles des probiotiques doivent être établies à l'aide de tests in vitro qui se réfèrent souvent à des propriétés bactérienne (**Bouchefra, 2012**) telles que :

1.1. Survie au cours du transit digestif

Pour pouvoir exercer leur effet biologique, les probiotiques ingérés oralement doivent atteindre l'intestin grêle et le colon vivants, et en quantité suffisante cela suppose qu'ils puissent résister à un certain nombre de barrières physiologiques, à la colonisation bactérienne digestive,

parmi lesquelles la sécrétion d'acide gastrique, les acides biliaires, les peptides antimicrobien du mucus et ceux sécrétés par certaines cellules intestinale (immunoglobulines à sécrétoires, lactoferrine ,lysozymes etc.) (Dann et Eckman, 2007 ; Wehkamp, 2007).

1.2. Activité antimicrobienne :

Les probiotiques peuvent produire divers métabolites antimicrobiens, notamment des bactériocines, des acides organiques (comme l'acide lactique et l'acide propionique) ainsi que des substances volatiles qui inhibent la croissance des pathogènes, des substances qui ralentissent respectivement les invasions bactériennes et virale. Les probiotiques vont également compétition er avec les microorganismes pathogènes pour les nutriments et l'espace disponible dans l'intestin (Chafai, 2006).

Les bactéries probiotiques doivent essentiellement jouer deux rôles au niveau du tractus digestif :

- Améliorer la digestibilité de la ration alimentaire et maintenir de bonnes conditions sanitaires.
- L'activité antimicrobienne des lactobacilles (*L. Acidophilus*, *L. Plantarum* et *L. Brevis*) et *Bacillus subtilis* ATCC6633 a été prouvé in vitro contre deux *pathogènes entériques* : *Escherichia coli* et *Salmonella typhimurium* (El-Nagger, 2004).
- L'effet inhibiteur de *Lactobacillus fermentum* sur *E. coli*, *S. typhimurium* et *S. aureus* avait été démontré (Reque et al.,2000).

Il est important que ces bactéries soient capables d'inhiber le développement des germes indésirables :

- Soit par la production de substances antagonistes de type bactériocines ou autres tels que les acides organiques et le peroxyde d'hydrogène (Aroutcheva et al.,2001).
- Soit en empêchant l'adhésion des germes pathogènes aux cellules de la paroi intestinale. Selon (Hariharan et al .2004), l'emploi des probiotiques réduit la colonisation du tractus digestifs par les *Campylobacter jejuni*.

1.3. Colonisation et adhésion aux cellules intestinales :

La capacité d'adhésion à la muqueuse intestinale est une propriété essentielle des probiotiques, car elle conditionne leur colonisation et leur persistance dans le tractus digestif. Toutefois, plusieurs études ont montré que les souches probiotiques exogènes administrées par

voie orale traversent souvent le tube digestif sans s'y implanter durablement, étant retrouvées intactes dans les fèces (**Ouwehand et al., 2002 ; Kristensen et al., 2016**).

Plusieurs études pharmacocinétiques et cliniques indiquent que pour maintenir un effet bénéfique durable, la consommation de probiotiques doit être continue, car leur présence dans le tractus intestinal reste généralement transitoire. En outre, si l'adhésion d'agents pathogènes au mucus intestinal constitue la première étape de leur colonisation, la capacité d'adhésion des souches probiotiques à la muqueuse devient un critère déterminant de leur efficacité fonctionnelle (**Sanders et al., 2018**).

Cependant, certaines études ont démontré que certaines souches actives, selon les modèles utilisés, ne détenaient pas toujours de bonnes propriétés adhésion (**Auger,2005**).

2. Propriétés technologiques

Plusieurs aspects technologiques doivent être pris en compte dans la sélection des probiotiques pour conférer de bonnes propriétés sensorielles au produit fini tels que :

- **Viabilité et stabilité des microorganismes**

Pour que les probiotiques exercent efficacement leurs effets bénéfiques sur la santé, ils doivent résister en nombre suffisant aux différentes étapes du procédé de fabrication ainsi qu'aux conditions de conservation, notamment la réfrigération. Il est généralement admis qu'une concentration minimale de 10^7 cellules viables par gramme de produit est requise pour garantir une activité probiotique significative. Par ailleurs, la stabilité physiologique, génétique et fonctionnelle des souches doit être préservée afin de maintenir leurs propriétés biologiques et leurs effets bénéfiques sur l'organisme (**Izquierdo,2009**).

De plus, ces souches devraient être viables sous se multiplier pour ne pas provoquer d'effet indésirable sur le goût ou l'arôme du produit ni augmenter l'acidité (**Abdelmalek ,2008**).

2.1. Propriété acidifiante :

La fonction acidifiante est la plus recherchée chez les bactéries lactiques, car elle entraîne une production importante d'acide lactique conduisant à une acidification rapide et durable du milieu (**Jones, 2004**).

Les conséquences d'ordre physico-chimique et microbiologique sont récapitulées par **Surta et al. (1998)** : la coagulation du lait, la synérèse du caillé et la solubilisation du calcium micellaire.

La synérèse du caillé correspond à l'élimination du lactosérum (ou petit-lait) après la coagulation. Ce phénomène résulte de la contraction du réseau protéique formé par les caséines sous l'effet de l'acidification, ce qui provoque l'expulsion de la phase liquide. Cette fonction acidifiante participe non seulement à la texture et aux qualités organoleptiques des produits laitiers fermentés, mais elle inhibe également la croissance de microorganismes nuisibles (Bouchebra, 2012).

IV. Effet probiotique

1. Intolérance au lactose et bactéries du yaourt vivantes ou mortes

L'effet bénéfique des probiotiques sur la santé, notamment leur rôle dans l'équilibre de la flore intestinale et la prévention de certaines infections, fait l'objet d'un consensus assez général (Salminen et al., 1997).

De nombreuses études ont montré que certaines bactéries lactiques possèdent une activité β -galactosidase leur permettant d'hydrolyser le lactose directement dans l'intestin. Cette activité contribue à améliorer la digestion du lactose chez les personnes présentant une déficience partielle en lactase, responsables des symptômes d'intolérance au lactose. Ainsi, la consommation de yaourt contenant des bactéries lactiques vivantes peut augmenter la digestibilité du lactose jusqu'à environ 90 % de la charge ingérée (Marteau et al., 1990).

La lactase du yaourt serait protégée de l'acidité gastrique et libérée dans le duodénum sous l'action des acides biliaires. Plusieurs travaux ont montré que la thermisation des yaourts aboutissait à une digestibilité significativement diminuée du lactose (Savaiano et al., 1984 ; Marteau et al., 1990 ; Varela. Moreiras et al., 1992 ; Rizkalla et al., 2000). Le traitement thermique affecte la viabilité des microorganismes mais aussi neutralise l'activité de la lactase bactérienne. Cependant, cette différence de digestibilité n'a pas de traduction clinique évidente car les études n'ont pas montré de différence significative de tolérance (symptômes cliniques) du lactose entre yaourts et yaourts thermisés. (Savaiano et al., 1984 ; Marteau et al., 1997).

2. Effets écologiques de produits fermentés dépourvus de germes vivants (postbiotiques)

Les produits fermentés ne contenant plus de micro-organismes vivants, souvent appelés *postbiotiques*, désignent les métabolites ou composants cellulaires issus de la fermentation microbienne. Bien qu'ils ne renferment pas de bactéries viables, ces produits peuvent exercer des effets bénéfiques sur le microbiote intestinal et la santé de l'hôte.

Les études récentes montrent que les postbiotiques peuvent influencer favorablement la composition et l'activité métabolique de la flore intestinale en stimulant la croissance de bactéries bénéfiques, en réduisant les populations pathogènes et en modulant la réponse immunitaire locale (**Aguilar-Toalá et al., 2018 ; Salminen et al., 2021**).

Ces effets sont liés à la présence de composés bioactifs tels que les acides organiques, les peptides antimicrobiens, les exopolysaccharides et les fragments de paroi bactérienne. Contrairement aux probiotiques vivants, les postbiotiques présentent l'avantage d'une meilleure stabilité, d'une sécurité accrue pour les personnes immunodéprimées, et d'un impact environnemental réduit lors de leur production et conservation (*Żółkiewicz et al., 2020 ; Teame et al., 2020*).

Ainsi, les produits fermentés dépourvus de germes vivants constituent une alternative prometteuse aux probiotiques traditionnels, combinant des bénéfices fonctionnels similaires avec une meilleure stabilité et sécurité d'utilisation.

Isolauri et son équipe (1991) ont montré la supériorité de la souche *L.rhamnosus GC* (correspond à une désignation de souche spécifique, utilisée pour distinguer cette variété de celles d'autres origines ou caractéristiques génétiques) sous forme d'un lait fermenté. Soit sous forme d'un lyophilisat (10^{10-11} UFC/jour) pour raccourcir la durée de la diarrhée chez des enfants atteints de gastroentérite à rota virus (71 sujets ; 4-45 mois d'âge) par rapport à un groupe contrôle qui recevait du yaourt pasteurisé ce résultat montre la supériorité d'une souche vivante par rapport à d'autres souches tuée (**Isolauri et al.,1991**) mais il faut reconnaître que le groupe témoin n'était pas idéal puisqu'il ne recevait pas la souche CG tuée.

Une étude menée chez des malades atteints de pancréatite a montré l'efficacité supérieure de la souche *L. plantarum* 299 vivante par rapport à la même souche tuée par la chaleur. Quarante -cinq patients avec les signes cliniques et biologiques d'une pancréatite étaient randomisés en deux groupes recevant soit la souche 299 vivante (10^9 UFC) ou la même souche inactivée. Dans les deux cas, la souche bactérienne était administrée avec une fibre d'avoine . Le traitement était administré 2 fois par jour pendant 7 jours. Les auteurs rapportaient que les 22 patients recevant le traitement avec la bactéries vivante avaient moins de risque d'infection de nécrose ou d'abcès (4,5% contre 30% dans l'autre groupe, $p=0,023$) (**kecskes et al ., 2003**).

3. Effet immunitaire

Peu d'études ont comparé les effets de souches vivants à ceux des souches mortes sur des paramètres immunitaires. Il y a des études apportent une information importante sur l'effet de bactéries mortes et plus particulièrement de leur ADN. Dans un modèle animal de colite chimiquement induite par le DSS (Dextran Sulfate sodium), les auteurs montrent que l'ADN d'un mélange de bactéries lactiques (Produit VSL #3, contenant *L.casei*, *L.plantarum*, *L.acidophilus*, and *L.delbrueckii* subsp.*bulgaricus* *B.longum*, *B.breve* , *B.infantis*, *Streptococcus salivarius* subsp.*thermophilus*) administré dans l'estomac ou par voie sous cutanée réduisait l'inflammation de la muqueuse intestinale. Le même résultat était obtenu par administration intra-gastrique du mélange de probiotiques viables ou tué (irradiation). Les auteurs concluent à l'effet de l'ADN lui - même. Le mécanisme passe via la voie du récepteur TLR-9 (**Rachmilewiz et al.,2004**).

Cependant d'autres travaux ont montré que certains effets n'étaient obtenus qu'avec des probiotiques ingérés vivants. Ainsi, (**kaila et al**). Ont comparé les effets d'un lait fermenté contenant la souche *L.rhamnosus* GC (10^{10-11} UFC/jour) à ceux d'un yaourt pasteurisé chez des enfants atteints de diarrhée aiguë à rota virus. Ces auteurs ont montré un raccourcissement de la durée de la diarrhée et une amélioration de la réponse immunitaire contre le rota virus plus importants dans le groupe recevant le probiotique vivant. ce groupe avait un nombre significativement plus important de lymphocytes produisant des IgA ,IgG, IgM et un titre en IgA anti-rota virus significativement supérieur (**kaila et al.,1992**).on peut Cependant regretter que le contrôle n'ait pas été le même produit fermenté détruit par la chaleur. Les mêmes chercheurs ont étudié 25 enfants souffrant de diarrhée à rota virus, qui ont reçu la souche *L.rhamnosus* GC sous forme vivante ou tuée. Les sujets du groupe traité par la souche vivante avaient plus de lymphocytes produisant des IgA anti-rota virus (différences significatives chez 10 enfants sur 12 pour le premier groupe par rapport à 2 sur 13 pour le deuxième groupe) (**kaila et al.,1995**).

Schiffrin et al. Ont montré que la consommation d'un lait fermenté contenant des souches probiotiques (10^{9-10} UFC/jour). Pouvait augmenter la capacité phagocytaire des cellules sanguines. L'effet était associé à une augmentation de la population fécale en *lactobacillus johnsoniila* 1 ou en *Bifidobacterium lactis* B 12 (selon le groupe considéré) (**Schiffrin et al.,1995**). Les mêmes auteurs ont poursuivi leurs travaux par une étude comparant un produit fermenté frais au même produit à date limite de consommation (DLC) dans lequel la population bactérienne probiotique viable à diminué laissant néanmoins les cadavres bactériens présents dans le produit les volontaires consommaient 150 ml de produit $1.5.10^9$

.1.5.10⁸ UFC/jour en fonction du groupe), correspondant soit au même lait fermenté témoin, soit le même lait fermenté frais contenant 10⁷ UFC/g de la souche *L.johosonii* La1, soit le même fermenté 21 à 28 jours après production ne contenant plus que 10⁶ UFC/g de la souche La1. Les résultats ont montré une absence d'effet dans les groupes témoins et dans celui recevant la dose faible de La1 (malgré la présence de corps bactériens morts). Par contre, le groupe traité par un niveau de population élevé voyait la capacité phagocytaire significativement augmentée (Donnet-Hughes et al., 1999).

V. Effet microbiote intestinale

On ne dispose pas de beaucoup d'études sur la flore intestinale en cas de maladies. Elles ont été principalement réalisées au cours de diarrhées infectieuses ou de maladies inflammatoires chroniques de l'intestin. Ces affections ont aussi fait l'objet d'études d'intervention utilisant des probiotiques et des prébiotiques.

1. Modifications de la microflore saprophyte colique au cours de diarrhées infectieuses

Les diarrhées infectieuses constituent la cause la plus importante des diarrhées aiguës. En Algérie, il existe un pic hivernal important et un second plus discret en été. Les causes sont plus souvent virales en hiver et bactériennes en été. Les causes des colites sont souvent bactériennes : *Campylobacter*, *Clostridium difficile*, *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia* et *Klebsiella oxytoca*. Peu d'études se sont intéressées aux modifications de la microflore saprophyte au cours des diarrhées infectieuses. On observe habituellement une instabilité de la flore, une augmentation des bactéries aérobies et une diminution des anaérobies. Par exemple, il a été observé, chez des patients atteints de choléra, que les concentrations de *Vibrio cholerae* pouvaient atteindre 3.10⁷ UFC/ml de selles, tandis que le taux de *Bacteroides* diminuait à 10⁵ UFC/ml de selles. La restitution rapide d'une microflore normale a été observée après guérison (Gorbach et al., 1970). On a étudié la microflore fécale de 17 adultes Indiens au cours d'une diarrhée et pendant la période de guérison (Gorbach et al., 1971). Au cours de la diarrhée, 8 sujets présentaient une microflore constituée de *Escherichia coli*, tandis que les autres présentaient une microflore variée associant : *Klebsiella* sp., *Pseudomonas* sp., *Enterobacter cloacae*, *Alcaligenes faecalis*. Dans le premier groupe, la concentration de *E. coli* au cours de la diarrhée était de 100 à 1000 fois plus élevée que celle des autres bactéries aérobies et anaérobies. Ceci était dû à une conjonction d'effets : une augmentation des bactéries aérobies et une diminution des anaérobies. Au cours de la période de guérison, le niveau des coliformes diminuait, plusieurs espèces apparaissaient, et les taux de *Bacteroides*, *Lactobacillus* et *Clostridium* augmentaient significativement. Dans le

Second groupe, les taux de *E. coli* dans les selles n'étaient pas augmentés pendant la phase aiguë. Alors que les taux de *Bacteroides*, le clostridium et des bactéries micro-aérophiles étaient diminués en comparaison aux taux observés pendant la période de **guérison**. **fujita et al (1990)** ont étudié la microflore fécale de 14 enfants du kerrya ayant une diarrhée aiguë secondaire à des pathogènes Variées : *Shigella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* entérotoxigène. Et rotavirus (dans 3 cas la cause n'était pas retrouvée). La microflore fécale était étudiée au moment de la diarrhée et au cours de la guérison. Au cours de la diarrhée, si l'on ne prenait pas en compte les bactéries pathogènes. Les taux de bactéries aérobies étaient les mêmes pendant les deux périodes d'observation. Les taux de bactéries anaérobies *Bacteroides* et *Bifidobacterium* étaient significativement plus bas au cours de l'épisode de diarrhée qu'au cours de la période de guérison. Une même tendance était observée pour les *Lactobacillus* et les *Eubacterium*.

Au cours de la diarrhée. Le pH des selles était plus élevé et les acides gras volatils étaient diminués en comparaison avec la phase de guérison. Ces résultats étaient observés quel que soit l'agent pathogène responsable de la diarrhée. **Albert et al (1990)** ont étudié la composition de la microflore fécale de 49 enfants ayant une diarrhée aiguë infectieuse ainsi que de 29 enfants sains. Chez les enfants ayant une diarrhée aiguë, les bactéries anaérobies étaient diminuées et le rapport anaérobies/aérobies était inversé par rapport aux sujets sains.

2. Modifications de la microflore endogène colique au cours de maladies inflammatoires cryptogénétiques (et chroniques) de l'intestin

La flore intestinale joue un rôle délétère pro-inflammatoire au cours des malaises inflammatoires du tube digestif (**Marteau et Shanahan, 2003**). La présence d'une flore dans le Côlon aggrave toutes les colites expérimentales chez l'animal et plusieurs arguments suggèrent fortement qu'il en soit de même chez l'homme au cours des maladies inflammatoires cryptogénétique intestinale (MICI). Les deux principales MICI sont la rectocolite hémorragique (qui peut se compliquer de pochète après chirurgie)

Et la maladie de Crohn. Les arguments cliniques les plus convaincants sont observés dans la rechute postopératoire. Pré-anastomotique de la maladie de Crohn qui ne s'observe que si le flux fécal est maintenu sur l'anastomose (**Rutgerrrts et al.,1991**). Certains antibiotiques (particulièrement le métronidazole et la ciprofloxacine) ont une efficacité établie pour traiter la pochète et prévenir la récurrence post-opératoire de la maladie de Crohn (**Marteau et Shanahan, 2003**) Deux autres éléments ont été récemment acquis :

- Tous les microorganismes n'ont pas le même potentiel pro-inflammatoire car ils sont perçus différemment par les cellules intestinales ou immunitaires (par des récepteurs toll-like différents) (Marteau et al.,2003 ; Borruel et al.,2002)
- des différences significatives existent entre la flore intestinale de sujets sains et celle de sujets atteints de MICI, même en rémission (Marteau et al.,2004).De multiples travaux ont montré une augmentation des bactéries du groupe des *E .coli* au cours des poussées de MICI, mais aussi, à un moindre degré au cours des MICI en période de quiescence clinique (seksik et al., 2003).il a aussi été observé une fréquence élevée d'*E. coli entéroadhérents* dans la muqueuse iléale malade au cours de la maladie de Crohn.

Le rôle de certains *Bacteroides* est suspecté sur l'argument de leur Concentration inconstamment accrue et de leur fort pouvoir pro inflammatoire sur des cellules intestinales ou immunes et des modèles animaux. L'apparition d'un déséquilibre de la flore est aussi authentifiée par la présence en grand nombre (30%de la flore totale) d'espèces habituellement sous - dominantes. Par contre les travaux n'ont pas montré de microorganisme unique qui pourrait être tenu pour « responsable » de ces affections (ceci étant valable aussi bien pour des pathogènes que pour des microorganismes de la flore habituelle). Ces constatations ont conduit à étudier les effets de microorganismes probiotiques pour moduler les MICI (expérimentales ou humaines) dans un sens bénéfique. Même si les profils de flore diffèrent « en moyenne »et légèrement entre les sujets malades et les sujets sains, ces différences ne sont ni assez prononcées ni assez systématiques pour permettre de définir un bon ou un mauvais profil de flore dans cette pathologie.

VI. Effet sur le système immunitaire

Il a été démontré que les BL peuvent fonctionner positivement sur le système immunitaire, affectant à la fois la réponse immunitaire innée et adaptatif, réduisant ainsi la colonisation des agents pathogènes (Saiz,2019). Les probiotiques peuvent moduler l'activité du système immunitaire par diverses voix tels que la stimulation des macrophages augmentant ainsi la phagocytose et l'expression des d'IFN- γ , IL-1B, II -6, II-8 et II-12.

VII. Effet Métabolisme

1. Le cholestérol

Certaines études ont montré que la consommation de yaourt ou de lait fermenté contenant des probiotiques conduit à des taux de cholestérol plus bas et réduit ainsi le risque l'hypercholestérolémie responsable des maladies coronariennes. Des hypothèses ont été avancées pour expliquer à quel point ce fait est correct, comme l'absorption du cholestérol par les bactéries ou l'hydrolyse des sels biliaires conjugués. Les acides biliaires, synthétisés par la foi à partir du cholestérol sont recyclés et utilisés en moyenne trois fois pendant un même repas. L'hydrolyse des sels biliaires conjugués (les acides biliaires doivent être conjugués à la taurine et à la glycine pour être solubles) rend nécessaire la synthèse des sels biliaires supplémentaires, ce qui conduirait à une réduction du cholestérol (**Liong et shah ,2005**). Par exemple, **Bakowska et al., (1998)** ont mis en évidence une diminution du taux de cholestérol sanguin chez des sujets soumis à un régime supplémenté avec lactobacillus planétarium 299v.

2. Le diabète

La composition du micro biote intestinal de sujets diabétiques a été étudiée. il a été établi qu'il existe des bactéries pro diabétiques , capables de synthétiser des acides aminés associé à l'insuline résistance. Une étude américaine sur des rats diabétiques a recherché le rôle d'un probiotique sur la glycémie. De plus, le fonctionnement pancréatique de ces rats semblait normal.il s'est avéré que des cellules épithéliales de l'intestin grêle se sont transformées en cellules pancréatiques, sécrétant de l'insuline et régulant ainsi la glycémie (**Malbezin, 2017**).

Le traitement du diabète T 2 Dm commence par une modification de l'alimentation et de l'activité physique. Qui modifient toutes deux, à des degrés divers, le microbiote.si l'objectif glycémique n'est pas atteint, la metformine est proposée. Le soin peut ensuite être intensifié avec un duo voire plusieurs soins. Les souris et même les humains accumuler les preuves que ces traitements médicamenteux modifient le micro biote (**Aron_Wisnewsky et al. ,2022**).

De plus, pour les patients atteints de DT2 et d'obésité sévère, une chirurgie bar iatrique et une modification de la composition microbienne peuvent être suggérées. Certaines études expérimentales ont commencé à identifier les signatures microbiennes qui prédisent la rémission du DT2 après la chirurgie.

Enfin, d'autres approches thérapeutiques (probiotiques de nouvelle génération transfert de micro biote fécal). Utilisées chez les patients souffrant d'obésité et de syndrome métabolique. Améliorent la résistance à l'insuline.

Ces thérapies représentant des perspectives thérapeutiques pour le DT2, mais elles méritent encore une étude plus large chez les patients diabétiques. (Aron_wisnewsky et al., 2022).

VIII. Production de Métabolites

1. EPS

Les propriétés moléculaire et structurelles uniques des EPS, notamment leur poids moléculaire, les alignements et leur composition en monosaccharides, qui influencent leur bioactivité, sont intimement liées à leurs effets bénéfiques sur la santé (Wang et al.,2020) outres les propriétés technologiques et organoleptiques, les EPS produits par les BL sont associés à diverses propriétés biologiques , telles que les capacités antioxydants ,prébiotiques antimicrobiennes , anti-inflammatoires et hypocholestérolémiant (Patel et al.,2012; Angelina et Kavitha ,2020).

1.1. Propriété anti-oxydante

La surproduction d'ERo peut entraîner un stress oxydatif et une oxydation induite par les radicaux libres conduisant à de multiples dommages aux molécules biologiques telles que les lipides, les protéines et l'ADN en brisant les phosphodiesteres. Cela peut entraîner des dommages aux tissus qui peuvent conduire à une série de maladies tel le diabète, les maladies inflammatoire et neurologique (Rani et al., 2018 ; Rahbar Saadat et al., 2019 ; Feng et Wang , 2020 ; Jomova et al., 2023).

Des recherches ont montré que la consommation d'antioxydants naturels peut contribuer à réduire le risque de maladies chroniques (Sahiner et al.,2022). L'EPS produit à partir de BL a une excellente capacité anti-oxydante puisqu'il peut stimuler l'activité des enzymes antioxydant telles que la super oxyde dismutase (SOD) et la catalase (CAT) ,ainsi que poèger les radicaux libres (Lobo et al.,2019).outre les facteurs génétiques, L'activité anti-oxydante est déterminé á la fois par les conditions externes (pH, température, oxygène, sources de carbone et d'azote) et par la structure de l'EPS (Polak.Bereka et al ., 2013; Rahbar saadat et al ., 2019).

1.2. Effet prébiotique

Les prébiotiques sont initialement définis par Gibson et Roberfroid (1995) comme "un ingrédient alimentaire non digestible qui un effet bénéfique sur l'hôte en stimulant sélectivement la croissance et/ou l'activité d'une ou d'un nombre limité de bactéries dans le

côlon, et qu'améliore ainsi la santé de l'hôte. « Ces substrats non digestibles comprennent les oligosaccharides, les Fibres alimentaires et les acides gras à chaîne courte. Cette définition a été récemment modifiée par L'association scientifique internationale pour les probiotiques et les prébiotiques (ISAPP) comme "un substrat qui est utilisé de manière sélective par les microorganismes de l'hôte et que confère un avantage pour la santé » (**Gibson et al., 2017**). Comme les EPS ne sont pas dégradés par les enzymes digestives humaines, ils restent plus longtemps dans le tractus gastro-intestinal, ce qui facilite la colonisation des bactéries probiotiques (**Patel et al., 2012**). En effet, les EPS favorisant la prolifération des bactéries bénéfiques, principalement les BL et les bifidobactéries, tout en contribuant à la suppression des souches pathogènes, une caractéristique qui présente un immense potentiel thérapeutique (**Tang et al., 2020**).

En outre, la fermentation des EPS par les bactéries bénéfiques produit des acides gras à chaîne courte (AGCC) qui jouent un rôle dans la préservation de la santé intestinale, la régulation du métabolisme des lipides et du glucose. la modulation immunologique et l'atténuation de l'inflammation (**campos-Perez et Martinez -Lopez, 2021**).

1.3. Activité antimicrobienne

Les EPS produits par les BL ont montré un effet inhibiteur notable contre diverses souches bactérienne Gram-positives (*listeria monocytogens*, *staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*. *Bacillus subtilisé*, *Bacillus cereus*) et Gram-négatives (*Escherichia coli*, *Salmonella enterica*, *salmonella enteritidis*, *Helicobacter pylori*, *Pseudomonas aeruginosa*.) (**Jeong et al., 2017 ; Trabeki et al., 2017 ; Rani et al., 2018 ; solimi et Farrokh, 2023**).

Les mécanismes antibactériens des EPS peuvent être liés à la perturbation des membranes ou des parois cellulaires des souches bactérienne (**Hasheminya et Dehghannya ,2020**).

Les EPS microbiens comportent de nombreux groupes fonctionnels, notamment des groupes hydroxyle-phosphate et carbonyle. il a été rapporté que ces groupes jouent un rôle dans les interactions entre les EPS microbiennes et la membrane cellulaire ou la paroi cellulaire des bactéries pathogènes (**Riaz Rajoka et al., 2020**). De plus, les EPS sont impliquées dans le blocage des récepteurs et des canaux de certaines bactéries (**Abdalla et al., 2021**). En effet, les EPS ne peuvent pas pénétrer dans d'autres cellules. et donc, leur effet antibactérien peut être dû à la combinaison d'oligopeptides dans les cellules gram-positif ou d'acyl-homosérine lactose dans les cellules gram -négatif. Ces composés sont des molécules de signalisation liées au biofilm les EPS utilisent donc ce mécanisme pour interrompre la communication cellulaire et par conséquent arrêter la formation du biofilm (**spanó et al, 2016 ; sivasankar et al., 2018**). Le biofilm offre un environnement de survie favorable aux bactéries pathogènes. Ce qui

augmente le risque d'infection chroniques et récurrentes, ainsi que la résistance aux antibiotiques il représente également un défi majeur pour la sécurité alimentaire et le secteur médical, et sa perturbation et une propriété activement recherchée (**Riaz Rajoka et al ., 2020**).un autre effet antimicrobien peut être expliqué in Vivo par l'effet prébiotique en favorisant la colonisation des bactéries probiotiques à la surface du tractus gastro-intestinal et finalement remplacer les bactéries pathogènes dans un mode d'inhibition compétitif (**paynich et al., 2017 ; Zhou et al ., 2019**).

2. Les Bactériocines

Les bactériocines sont des protéines, ou des complexes protéiques, qui ont une activité bactéricide contre des espèces proches de la souche productrice, et elles représentent une large classe d'antigènes selon leur poids moléculaire, leurs propriétés biochimiques, leur spectre et leur méthode de stockage (**Field et al., 2007**). Ce sont de petites molécules cationiques, thermostables et perméables. Ils ont un spectre d'activité limité contre les espèces du même genre bactéroïde classées en trois classes (**Calvez et al., 2009**).

3. Acide lactique

L'acide lactique produit par les souches lactiques a été quantifié par chromatographie liquide à haute performance (AGILENT TECHNOLOGIES 7700 séries ICP-MS, Allemagne) en adaptant la méthode décrite par **Ait Seddik et al (2017)**. La colonne utilisée est C18 et la phase mobile est le H₃PO₄ (0,05% m/m). Le débit a été ajusté à 0,8 ml/min la température à 55°C et la lecture de l'absorbance est faite à 215 nm. Les souches lactiques ont été cultivées dans un bouillon MRS à 37°C, et des aliquotes ont été prélevés après 24h d'incubation centrifugés 8000 ×g/10min/4°C (SIGMA2-16kl) et stérilisés par filtration à l'aide d'un filtre Millipore (0,2µm).le volume de l'échantillon injecté était de 25µl, une courbe d'étalonnage de l'acide lactique a été réalisée pour établir la corrélation entre les données obtenues à partir de la surface des pics chromatographiques et la concentration d'acide lactique produite .le pic correspond à l'acide lactique a été identifié à l'aide du logiciel open LAB .

4. Le peroxyde d'hydrogène H₂O₂

Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) est produit par les bactéries lactiques, surtout par les espèces du genre lactobacillus (**Dellaglio et al., 1994 ; Ammor et Mayo, 2007**). H₂O₂ est accumulé par les bactéries lactiques car ce dernier ne contient pas la catalase qui contient le noyau de l'hémor pour l'analyse du peroxyde d'hydrogène de l'oxygène et de l'eau. Le peroxyde d'hydrogène peut inhiber différents microorganismes par l'oxydation des lipides membranaires et la destruction des structures des protéines cellulaires. Certaines BL peuvent se protéger contre

le peroxyde d'hydrogène qu'elles produisent par la synthèse de pseudo catalases (catalase hexamérique ou tétramérique) contenant du manganèse (**Ammor et Mayo, 2007**).

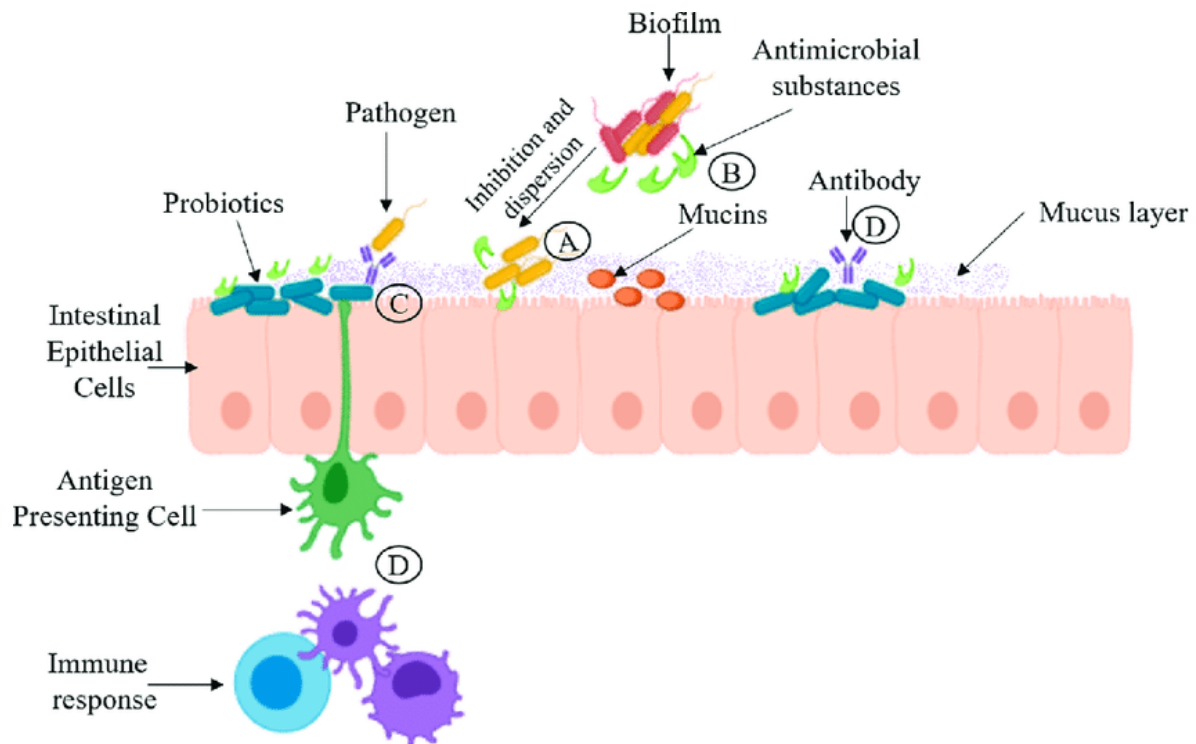
IX. Effets technologiques

La souche probiotique doit parvenir à son site d'activité digestive dans une forme viable et en quantité suffisante, ce qui implique sa survie pendant le traitement des aliments, y compris la granulation par la chaleur, qui expose les températures dépassent les 80°C. Il est crucial que la souche probiotique conserve ses propriétés biologiques tout au long de processus de fabrication et demeure stable pendant l'entreposage. Parmi les différentes souches probiotiques, celles appartenant au genre *Bacillus* sont considérées comme les plus stables. En effet, leurs spores résistent à la chaleur et restent viables même pendant le stockage à long terme (**Simon, 2005**).

X. Mode d'actions des probiotiques :

Les probiotiques agissent à travers plusieurs mécanismes complémentaires qui favorisent l'équilibre du microbiote intestinal et la santé de l'hôte. Ils compétitionnent avec les micro-organismes pathogènes pour les nutriments et les sites d'adhésion sur la muqueuse intestinale, limitant ainsi leur prolifération. Ils renforcent la barrière intestinale en stimulant la production de mucus et le renouvellement cellulaire (Figure 01).

Figure 1: Mode d'action des probiotiques



De plus, les probiotiques modulent le système immunitaire en favorisant la production d'anticorps et en régulant les réponses inflammatoires.

Enfin, ils produisent des substances antimicrobiennes naturelles, telles que les bactériocines et les acides organiques, qui contribuent à inhiber la croissance des bactéries nuisibles.

Chapitre 2 :

Extrait végétaux (huiles
essentiels)

I. Définition des extraits végétaux

Les extraits sont des composés naturels extraits de parties de plantes (feuilles, fleurs, fruits) et contiennent des substances actives et se présentent souvent sous la forme d'extraits aqueux ou alcooliques, d'huiles ou de poudres, et ont de multiples méthodes d'influence dans la lutte contre les ravageurs et les maladies (Omar et Abdali ; 2022).

II. Historique sur les extraits des végétaux

L'usage des essences aromatiques remonte aux plus anciennes civilisations à quelques 5000 ans.

Né en Inde, avant de gagner l'occident plus tardivement via la médecine grecque que et arabe.

Entre 2000 et 3000 ans avant notre ère, les égyptiens utilisaient les plantes aromatiques dans le domaine de médecine (Abrassant, 1988) l'utilisation des huiles essentielles était une pratique courante chez les grecs (Gameau, 2005).

Au début du XVI^{ème} siècle, Paracelse, médecin suisse, considéré comme le père de la pharmacologie étudia l'extraction de « l'âme » des végétaux sous forme de « Quintessence » (ou cinquième essence) à laquelle on donnera le nom « d'esprit », puis « d'essence » et finalement « d'huile essentielle » (Paris et Moyses, 1971).

Vers la fin du XVI^{ème} et du XVII^{ème} siècle, plus de 100 huiles essentielles étaient utilisées (Paris et Moyses, 1971).

Dans l'histoire moderne, les vertus thérapeutiques des huiles essentielles occupent une place de plus en plus importante (Paris et Moyses, 1971).

En protection des végétaux, de nombreux travaux mettent en évidence l'action biocide, répulsive et antiappétante des extraits végétaux en vue de les introduire dans des programmes pour le contrôle de divers ravageurs (Paris et Moyses, 1971).

III. Effet antimicrobien

1. Effets antibactériens et antifongiques

Les écorces d'agrumes représentent un gisement important de composés phénoliques, qui sont caractérisés par leur activité antioxydante, thérapeutique, antivirale, antifongique et antibactérienne (Bocco et al., 1998 ; Ma et al., 2009 ; Hung et al., 2010).

Le mécanisme est le suivant :

- L'inhibition des enzymes extracellulaire bactériennes, la séquestration des substrats nécessaires à la croissance bactérienne ou la chélation de métaux tels que le fer.
- L'inhibition du métabolisme microbien, dégradation de la paroi cellulaire, perturbation de la membrane cytoplasmique, ce qui cause une fuite des composants cellulaire.
- Interaction avec la synthèse de l'ADN et l'ARN, des protéines, des lipides et de la fonction mitochondriale ainsi que la formation des complexes avec la paroi. Le mode d'action des agents antibactériens dépend également du type de microorganismes. Les composés phénoliques ont une action antibactérienne surtout contre le Gram - dont les groupes C=O régissent avec les S-H et empêche la croissance bactérienne, ils ont aussi une activité fongicide parfois vermifuge et cytotoxique (Mouffok, 2011).

Hosseini Behbahani et al. (2013) Ont révélé l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de deux espèces de Thym (*Thymus daenensis* et *Thymus vulgarise*) contre trois bactéries (*staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*), une levure (*candida albicans*) et un champignon (*Aspergillus niger*).

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* Boiss.et Reut et *Thymus ciliatus* (Desf) Benth. Contre *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus* et *staphylococcus aureus* a été mise en évidence par **Amarti et al. (2010)**.

I. L'activité anti-oxydante

Kulisc et al. (2000) Ont utilisé plusieurs méthodes pour évaluer l'activité anti-oxydante de l'huile essentielle de l'origan (*origanum vulgare*) qui été comparable de celle de L'alpha - tocopherol et du BHT (butylated hydroxytoluene).

Safari -Ghomi et al. (2009) Ont révélé l'action anti-oxydant de l'huile essentielle de *thymus caramanicus* et ceci en employant deux test d'activité.

Un antioxydant est défini comme étant toute substance qui peut retarder ou empêcher l'oxydation des substrats biologiques, ce sont les composés qui régissent avec les radicaux libres et les rendent ainsi inoffensifs. La capacité anti-oxydante des huiles essentielles est étroitement liée à tout le contenu phénol (**Yanishlieva et al ., 1999**).

1. Le stress oxydatif

Le stress oxydatif est caractérisé par un déséquilibre entre la production des espèces radicalaires et les capacités de défense anti-oxydante de l'organisme (**Beaudeau et Durand, 2011**).

La production d'espèces réactives de l'oxygène est utile mais peut être néfaste pour l'organisme lors d'une production excessive et en l'absence de mécanismes de défense.

C'est ce que l'on appelle le stress oxydatif. Celui-ci peut favoriser la survenue de pathologies (cancers, maladies cardiovasculaires, maladies dégénératives) ainsi qu'un vieillissement prématuré **(Belaïch et Boujraf, 2016)**.

2. Les radicaux libres :

Un radical libre est une molécule ou un atome ayant un ou plusieurs électrons non appariés, ce qui le rend extrêmement réactif **(Vansant ,2004)**.

L'ensemble des radicaux libres et de leurs précurseurs est souvent appelé espèces réactives de l'oxygène (Favier,2003). L'appellation « dérivés réactifs de l'oxygène » n'est pas restrictive. Elle inclut les radicaux libres de l'oxygène proprement dit mais aussi certains dérivés oxygénés réactifs non radicalaires dont la toxicité est importante tel le peroxyde d'hydrogène H₂O₂.

En raison de L'implication des radicaux libres dans diverses pathologies, les recherches de nouvelles molécules pouvant pallier un déficit du système de protection naturelle anti radicalaire sont largement intensifiées **(Novelli, 1997)**.

Depuis quelques années, les chimistes développent des analogues d'antioxydants naturels en les modifiant chimiquement afin d'augmenter leurs propriétés de piégeage des radicaux libres. Ils s'intéressent à la mise au point de pièges plus spécifiques basés sur la réactivité particulière de certains groupements chimiques vis-à-vis des espèces radicalaires **(Novelli,1997)**.

3. Les antioxydants :

Les antioxydants sont des substances qui inhibent ou ralentissent l'oxydation d'un substrat. Ils sont présents sous de nombreuses formes et peuvent intervenir en prévention de la formation des radicaux libres, aussi bien que pour participer à leur élimination (antioxydant primaires et secondaires).

Il existe deux classes d'antioxydants : les endogènes et les exogènes.

Les antioxydants endogènes sont principalement les enzymes super oxyde dismutase, catalase et glutathion peroxydase dont les mécanismes sont développés plus haut.la deuxième partie permet d'appréhender les antioxydants exogènes qui sont par définition, apportés de l'extérieur par exemple par l'alimentation. **(Guillouty,2016)**.

Chapitre 3 :

L'association des extraits végétaux
avec probiotiques

Les composés bioactifs d'origine naturelle, tels que les polyphénols et les huiles essentielles, occupent aujourd'hui une place centrale dans la recherche en biotechnologie et en santé. Ces substances issues du règne végétal possèdent un large spectre d'activités biologiques, notamment antimicrobiennes, antibactérienne, antioxydantes et anti-inflammatoires, qui leur confèrent un intérêt considérable dans la prévention et le traitement de nombreuses infections. Toutefois, leur efficacité peut être significativement amplifiée lorsqu'elles sont associées à des micro-organismes bénéfiques tels que les bactériocines, les acides organiques et les bactéries lactiques.

Ces interactions synergiques offrent des perspectives innovantes dans la bioconservation des aliments, en limitant la croissance des agents pathogènes, tout en améliorant la stabilité et la qualité nutritionnelle des produits. Par ailleurs, dans le domaine pharmaceutique et nutraceutique, les associations entre extraits végétaux et probiotiques ouvrent la voie à de nouvelles formulations naturelles capables de renforcer les défenses immunitaires, de réguler le microbiote intestinal et de protéger les cellules contre les processus oxydatifs et inflammatoires.

Cependant, l'utilisation combinée de ces composés nécessite une évaluation rigoureuse de leur innocuité biologique, notamment concernant les effets cytotoxiques éventuels sur les cellules de l'hôte. Ce chapitre s'attache ainsi à étudier les différentes activités bioactives résultant des associations entre composés végétaux et micro-organismes, à mettre en lumière leur intérêt biotechnologique et pharmaceutique, et à examiner les risques potentiels liés à leur utilisation.

I. Activités biologiques des associations polyphénols – micro-organismes

L'association des polyphénols avec certains micro-organismes tels que les bactériocines, les acides organiques et les bactéries lactiques suscite un intérêt croissant en raison de leurs effets synergiques. Ces combinaisons renforcent diverses activités biologiques, notamment antimicrobienne, antioxydante et anti-inflammatoire. Elles ouvrent ainsi de nouvelles perspectives pour le développement d'alternatives naturelles aux agents de conservation et aux traitements chimiques traditionnels.

2. Activité antimicrobienne et antibactérienne des associations polyphénols – bactériocines, acides organiques et bactéries lactiques

Face à l'augmentation préoccupante des résistances microbiennes aux antibiotiques classiques, la recherche de stratégies naturelles et durables s'impose comme une priorité. Dans cette optique, l'association de composés bioactifs d'origine végétale avec des micro-organismes ou leurs métabolites antimicrobiens représente une voie prometteuse. Les polyphénols, reconnus pour leurs propriétés antibactériennes, suscitent un intérêt croissant, tout comme les bactériocines, peptides antimicrobiens produits par certaines bactéries lactiques, les acides organiques issus de leur métabolisme, ainsi que les bactéries lactiques elles-mêmes, utilisées pour leurs effets de bioconservation (**Frontiers in Nutrition, 2024**). L'étude des interactions entre les polyphénols et ces agents antimicrobiens naturels ouvre ainsi des perspectives intéressantes pour renforcer et potentialiser leur activité contre les micro-organismes pathogènes.

2. Activité antimicrobienne des polyphénols

Face à l'émergence croissante des résistances bactériennes aux antibiotiques conventionnels, due notamment à leur usage abusif et à leur prescription excessive, l'intérêt pour les composés naturels d'origine végétale ne cesse de croître. Les plantes médicinales représentent une source riche en métabolites secondaires bioactifs, parmi lesquels les polyphénols occupent une place privilégiée pour leurs propriétés antimicrobiennes, (**OUSMER.L, TAHRLS, 2016/2017**).

Les antimicrobiens d'origine végétale offrent une alternative prometteuse, car ils permettent de traiter les infections tout en réduisant les effets indésirables fréquemment associés aux antibiotiques de synthèse (**Aboshora, 2014**). Parmi ces composés, les polyphénols agissent sur un large spectre de micro-organismes pathogènes et démontrent une activité synergique avec certains antibiotiques conventionnels (**Albuquerque, 2013**).

Les flavonoïdes, sous-classe majeure des polyphénols, ont été particulièrement étudiés pour leurs effets antibactériens. Par exemple, les flavonoïdes extraits de *Mentha longifolia* ont montré une inhibition notable de micro-organismes responsables d'infections urinaires, intestinales et respiratoires, la quercétine-3-O-glycoside s'étant distinguée par une forte activité antibactérienne. De même (**Food Science et nutrition, 2025**).

Les mécanismes d'action des polyphénols sur les bactéries sont multiples et souvent synergiques. Ils incluent notamment :

- **L'altération de la membrane cellulaire** et de sa perméabilité ;
- **L'inhibition de la synthèse des protéines** et des acides nucléiques ;
- **L'inhibition des enzymes métaboliques clés** du métabolisme bactérien ; Et la chélation des métaux essentiels à la croissance microbienne (**Aboshora, 2014**).

Certains flavan-3-ols, flavonols et tanins exercent également une action anti-virulence en inhibant la formation de biofilm, en bloquant les récepteurs d'adhésion bactérienne et en neutralisant les toxines sécrétées. Plusieurs flavonols présentent une activité antibactérienne comparable, voire supérieure, à celle d'antibiotiques tels que la tétracycline ou la vancomycine, à des concentrations équivalentes. (**OUSMER.L, TAHRI.S, 2016/2017**)

Ces résultats confirment que les polyphénols constituent une classe prometteuse d'agents antimicrobiens naturels, non seulement par leurs effets directs sur la croissance bactérienne, mais aussi par leur capacité à renforcer l'efficacité des antibiotiques et à réduire les résistances microbiennes.

3. Activité antioxydante des associations polyphénols – micro-organismes

Selon **Wang (2003)**, les polyphénols, largement présents dans les végétaux, constituent une classe majeure de composés bioactifs reconnus pour leur fort pouvoir antioxydant. Ils agissent en neutralisant les radicaux libres, en chélatant les métaux pro-oxydants et en inhibant les réactions de peroxydation lipidique, contribuant ainsi à la protection des cellules contre le stress oxydatif. Cette capacité à piéger les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et à maintenir l'équilibre redox leur confère un rôle essentiel dans la prévention de nombreuses pathologies d'origine oxydative, notamment les maladies cardiovasculaires, le cancer ou les affections inflammatoires.

Parallèlement, plusieurs micro-organismes, notamment les bactéries lactiques, jouent un rôle important dans la modulation du stress oxydatif. Selon **Ran (2024)**, ces bactéries, par la production d'acides organiques, de peptides bioactifs et d'enzymes antioxydantes, participent à la réduction des composés oxydants et à la stabilisation des matrices biologiques. Les processus de fermentation microbienne sont également capables de modifier la structure chimique des polyphénols, en libérant des métabolites secondaires plus actifs et plus

biodisponibles. Des travaux ont par exemple montré qu'après fermentation de boissons végétales par des souches de *Lactiplantibacillus plantarum* et *Lactobacillus acidophilus*, la capacité antioxydante globale mesurée par les tests DPPH, ABTS et FRAP augmente significativement, illustrant la synergie entre les polyphénols et les bactéries lactiques.

Cette interaction synergique repose sur plusieurs mécanismes. D'une part, les micro-organismes métabolisent les polyphénols complexes en composés de plus faible poids moléculaire, tels que les acides phénoliques, qui présentent une meilleure activité antioxydante. D'autre part, les polyphénols exercent une action protectrice sur les cellules microbiennes, favorisant leur croissance et leur viabilité, notamment dans les systèmes probiotiques. Ce phénomène a été mis en évidence dans une étude récente où la combinaison de catéchine et de probiotiques a montré une augmentation notable du pouvoir antioxydant total et de la stabilité des composés phénoliques au cours du stockage (**Bulut, 2025**).

L'efficacité de ces associations dépend toutefois de plusieurs facteurs, tels que la nature du polyphénol utilisé, la souche microbienne impliquée, les conditions de fermentation et la matrice alimentaire. Une co-fermentation de jus de mûre par des bactéries lactiques a, par exemple, permis une amélioration significative du pouvoir antioxydant et une augmentation du contenu total en polyphénols, confirmant que la fermentation peut transformer la composition chimique et accroître la valeur fonctionnelle des produits alimentaires (**Yaqoob, 2025**).

Sur le plan applicatif, l'association entre polyphénols et micro-organismes ouvre de vastes perspectives dans les domaines de la bioconservation, de la nutraceutique et de la pharmaceutique. Dans les produits alimentaires, ces combinaisons contribuent à une meilleure résistance à l'oxydation et à une prolongation de la durée de conservation. En santé humaine, elles participent à la réduction du stress oxydatif, à la modulation du microbiote intestinal et à l'amélioration de la biodisponibilité des composés phénoliques. Ces effets prometteurs justifient l'intérêt croissant pour les produits fermentés enrichis en polyphénols, considérés comme des aliments fonctionnels à haute valeur ajoutée.

En conclusion, l'ensemble des recherches récentes met en évidence une synergie positive entre les polyphénols et les micro-organismes, en particulier les bactéries lactiques, qui conduit à une augmentation de l'activité antioxydante globale. Cependant, malgré les résultats encourageants, plusieurs aspects méritent encore d'être approfondis, notamment la standardisation des protocoles de fermentation, l'identification des métabolites responsables de

l'effet antioxydant et l'évaluation des impacts in vivo. Ces perspectives ouvrent la voie à de nouvelles applications dans la prévention du stress oxydatif et la valorisation biotechnologique des ressources naturelles.

4. Activité anti-inflammatoire et protection cellulaire

Les polyphénols d'origine végétale sont aujourd'hui reconnus non seulement pour leur activité antioxydante mais également pour leur capacité à moduler l'inflammation. Plusieurs revues récentes montrent que ces composés inhibent l'expression de cytokines pro-inflammatoires (telles que TNF- α , IL-6, IL-1 β), diminuent l'activation du facteur de transcription NF- κ B et réduisent l'expression d'enzymes pro-inflammatoires comme la cyclooxygénase-2 (COX-2) ou l'inducible nitric oxide synthase (iNOS). (**Frontiers in Nutrition, 2024**).

Parallèlement, les bactéries lactiques – ou leurs métabolites tels que les acides organiques et les bactériocines – jouent un rôle essentiel dans la modulation du système immunitaire et la réduction des processus inflammatoires. Une étude récente menée par **Wang et collaborateurs (2024)** a démontré que la souche *Lactiplantibacillus plantarum* Z22, isolée de légumes fermentés, exerçait un effet anti-inflammatoire marqué en inhibant l'expression de l'ARNm et la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires (IL-1 β , IL-6, TNF- α) dans des cellules macrophagiques RAW 264.7 stimulées par le LPS. Ces résultats confirment le potentiel des bactéries lactiques et de leurs métabolites comme agents de bioconversion capables de renforcer les effets anti-inflammatoires des composés bioactifs végétaux.

L'association entre polyphénols et micro-organismes ou leurs métabolites apparaît donc comme une voie prometteuse pour renforcer l'effet anti-inflammatoire. Cette synergie pourrait s'expliquer par plusieurs mécanismes conjoints : d'une part, la fermentation microbienne modifie ou libère des polyphénols actifs ou des métabolites phénoliques à plus forte activité anti-inflammatoire ; d'autre part, les bactéries lactiques ou leurs bactériocines peuvent moduler la réponse immunitaire de l'hôte (réduction de l'activation des macrophages, modulations de l'axe intestin-microbiote-immunité), ce qui potentiellement amplifie l'effet des polyphénols. Des études métaboliques récentes montrent que l'ingestion de polyphénols diminue les lipopolysaccharides (LPS) circulants et modifie favorablement le microbiote intestinal, contribuant ainsi à la réduction de l'inflammation chronique chez les individus en surpoids ou obèses. ([PubMed, 2024](#)).

Toutefois, pour tirer pleinement parti de ces interactions, plusieurs paramètres doivent être optimisés : type de polyphénol utilisé, souche microbienne ou bactériocine, durée et conditions de fermentation, matrice alimentaire, dosage et biodisponibilité. Ces aspects restent encore peu explorés dans la littérature. De futures recherches devront établir des protocoles standardisés pour l'association polyphénol-micro-organisme, évaluer ces combinaisons *in vivo*, et vérifier leur innocuité avant application dans des formulations alimentaires ou pharmaceutiques.

II .Activités biologiques des associations huiles essentielles – micro-organismes

Depuis des siècles, les composés naturels d'origine végétale occupent une place importante dans la recherche de nouvelles alternatives thérapeutiques. Parmi eux, les huiles essentielles se distinguent par leur richesse en molécules bioactives aux effets antimicrobiens, antioxydants et anti-inflammatoires. Dans un contexte marqué par l'émergence de résistances aux antibiotiques, leur association avec des micro-organismes tels que les bactéries lactiques ou leurs métabolites représente une stratégie innovante pour potentialiser leurs activités biologiques et répondre aux enjeux de santé et de bioconservation actuels.

1. Activité antimicrobienne et antibactérienne des huiles essentielles associées aux bactériocines, acides organiques et bactéries lactiques

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés volatils, principalement des terpènes, des phénols et des aldéhydes, reconnus pour leurs propriétés antimicrobiennes et antibactériennes. Leur mécanisme d'action repose essentiellement sur la perturbation de la membrane cellulaire bactérienne, l'altération de la perméabilité et la dénaturation des protéines enzymatiques, conduisant à une perte d'intégrité cellulaire et à la mort microbienne. Plusieurs études récentes menées sur des huiles essentielles d'origine méditerranéenne ont confirmé leur efficacité contre des souches pathogènes telles que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* ou *Listeria monocytogenes*, démontrant ainsi leur potentiel comme agents naturels de bioconservation et de protection antimicrobienne (Benmoussa .H, Bouzidi .I, et Touati .R, 2022)

Les bactéries lactiques et leurs métabolites secondaires, notamment les acides organiques et les bactériocines, représentent un autre pilier important de la lutte biologique contre les micro-organismes indésirables. Les acides organiques abaissent le pH et créent un

environnement défavorable à la prolifération des pathogènes, tandis que les bactériocines exercent une action spécifique sur la paroi bactérienne, provoquant une lyse cellulaire. Ces mécanismes, bien documentés dans la littérature microbiologique, contribuent également à la stabilisation et à la sécurité des produits alimentaires fermentés (**Boudjelal .A, Kheroua .O, et Saidi .D, 2024**).

L'association des huiles essentielles avec des micro-organismes bénéfiques tels que les bactéries lactiques ou leurs métabolites présente un intérêt croissant en recherche appliquée. Cette combinaison permettrait de potentialiser les effets antimicrobiens grâce à une action synergique : les composés lipophiles des huiles essentielles facilitent la pénétration intracellulaire des métabolites bactériens, tandis que les conditions acides générées par les bactéries lactiques renforcent l'activité des composés phénoliques des huiles essentielles. Des travaux récents ont montré que cette interaction peut réduire la concentration minimale inhibitrice (CIM) nécessaire pour inhiber les bactéries pathogènes, limitant ainsi la quantité d'huile essentielle utilisée tout en maintenant une efficacité optimale (**Boukerb .AM, Maillard .M, Abid .S, 2024**).

Ce potentiel synergique s'explique également par une complémentarité métabolique : les bactéries lactiques produisent des métabolites tels que l'acide lactique et l'acide acétique, capables de déstabiliser les membranes bactériennes, tandis que les huiles essentielles agissent sur les structures lipidiques et les protéines membranaires. Cette combinaison confère aux systèmes biologiques une double action, chimique et biologique, permettant une inhibition élargie contre un spectre varié de micro-organismes.

L'intérêt de ces associations dépasse le cadre strict de la conservation alimentaire. Dans le domaine pharmaceutique et cosmétique, ces combinaisons pourraient offrir de nouvelles perspectives dans la formulation d'antiseptiques naturels, de conservateurs biodégradables et de traitements antimicrobiens alternatifs. Les recherches actuelles insistent sur la nécessité d'optimiser les paramètres d'association (type d'huile essentielle, souche microbienne, conditions de fermentation, pH, température) pour garantir à la fois efficacité, stabilité et innocuité (**Boudjelal .A, Kheroua .O, et Saidi .D, 2024**).

En somme, la combinaison des huiles essentielles avec les bactéries lactiques, les acides organiques et les bactériocines représente une approche prometteuse pour le développement de solutions antimicrobiennes naturelles et durables. Ce champ d'investigation s'inscrit dans la

dynamique mondiale de réduction de l'usage des antibiotiques synthétiques, tout en exploitant la richesse des ressources végétales et microbiennes locales.

2. Activité antioxydante et anti-inflammatoire des associations huiles essentielles – micro-organismes

Les huiles essentielles, riches en composés bioactifs tels que les terpènes, les phénols et les aldéhydes, sont reconnues pour leurs puissantes propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Selon **Bukvicki, (2023)**, ces composés agissent par piégeage des radicaux libres, inhibition de la peroxydation lipidique et régulation des enzymes antioxydantes endogènes. Leur efficacité peut être amplifiée lorsqu'elles sont associées à des micro-organismes bénéfiques, notamment les bactéries lactiques, ou à leurs métabolites naturels tels que les acides organiques et les bactériocines. Cette combinaison favorise la stabilisation des constituants volatils et augmente leur biodisponibilité par bioconversion microbienne.

Sur le plan anti-inflammatoire, plusieurs études ont rapporté que ces associations peuvent moduler les voies de signalisation inflammatoires, en particulier la régulation des cytokines pro-inflammatoires (TNF- α , IL-6, IL-1 β) et de la voie NF- κ B. Par exemple, **Sahnouni, (2023)** ont observé qu'une formulation combinant l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* et une bactériocine de *Lactobacillus plantarum* réduisait significativement la croissance de *Bacillus subtilis* tout en démontrant une activité antioxydante et anti-inflammatoire accrue.

Des travaux plus récents ont également confirmé que la co-administration d'huiles essentielles et de probiotiques améliore la capacité antioxydante totale et diminue la production de médiateurs pro-inflammatoires dans des modèles animaux exposés à un stress oxydatif. Une étude publiée dans **BMC Veterinary Research (2025)** a ainsi montré que la combinaison d'huiles essentielles et de souches probiotiques chez le poisson *Oreochromis niloticus* renforce les défenses antioxydantes endogènes et réduit la sécrétion de cytokines inflammatoires après infection bactérienne.

Enfin, des travaux menés par **Hamam, (2023)** ont mis en évidence que l'ajout d'huiles essentielles issues de plantes médicinales à des produits fermentés améliore leur stabilité oxydative et leur potentiel anti-inflammatoire, suggérant des applications prometteuses dans les aliments fonctionnels et la nutraceutique.

En somme, l'association des huiles essentielles à des micro-organismes bénéfiques ou à leurs métabolites représente une approche innovante pour renforcer les effets antioxydants et anti-inflammatoires naturels. Ces synergies ouvrent la voie à des applications concrètes dans la bioconservation, la santé nutritionnelle et les thérapies alternatives.

3. Synergie et complémentarité entre polyphénols et huiles essentielles dans la lutte contre les pathogènes

Les polyphénols et les huiles essentielles constituent deux grandes classes de métabolites secondaires d'origine végétale, reconnues pour leurs puissantes activités antimicrobiennes et antioxydantes. Leur association présente un intérêt croissant dans la recherche en biotechnologie et en pharmacologie naturelle, notamment face à la résistance accrue des micro-organismes pathogènes aux antibiotiques conventionnels. En combinant leurs mécanismes d'action distincts mais complémentaires, ces composés offrent une stratégie alternative prometteuse pour le contrôle microbien.

Les polyphénols, tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques, agissent principalement en perturbant la paroi cellulaire, en chélatant les métaux essentiels à la croissance bactérienne et en inhibant les enzymes clés du métabolisme microbien. Les huiles essentielles, quant à elles, exercent une action lipophile directe sur les membranes cellulaires, entraînant une fuite des constituants intracellulaires et une désorganisation membranaire. L'interaction de ces deux familles bioactives conduit à une potentialisation de leurs effets respectifs : les huiles essentielles facilitent la pénétration des polyphénols à travers les membranes bactériennes, tandis que ces derniers stabilisent et renforcent l'activité antimicrobienne des composés volatils (Bukvicki, 2023).

Des études récentes confirment cette synergie. Une recherche publiée dans **Frontiers in Microbiology (2024)** a montré qu'une combinaison de thymol (composant majeur des huiles essentielles de thym) et de quercétine (polyphénol flavonoïde) inhibait de manière synergique la croissance de *Staphylococcus aureus* multirésistant, tout en réduisant la dose minimale inhibitrice de chaque composé pris individuellement. De même, un travail de **Chen, (2023)** dans *BMC Complementary Medicine and Therapies* a mis en évidence une interaction synergique entre les polyphénols de thé vert et l'huile essentielle d'origan contre *Escherichia coli* O157:H7, en lien avec une altération membranaire accrue et une diminution de l'expression des gènes de virulence.

Cette complémentarité est également observée dans les applications alimentaires et pharmaceutiques. Dans le domaine de la bioconservation, des mélanges de polyphénols végétaux et d'huiles essentielles permettent d'obtenir des formulations naturelles efficaces à faibles concentrations, limitant les altérations organoleptiques tout en prolongeant la durée de vie des produits. En médecine naturelle, ces associations sont explorées pour leurs effets anti-inflammatoires et antiviraux additionnels, en particulier contre les infections respiratoires et digestives.

Ainsi, la synergie entre polyphénols et huiles essentielles représente une voie innovante et durable pour le développement d'agents antimicrobiens naturels à large spectre. Leur potentiel repose non seulement sur leur efficacité accrue, mais également sur leur faible toxicité et leur biodégradabilité, des qualités particulièrement recherchées dans les approches éco-compatibles de lutte contre les pathogènes.

III. Intérêt des associations extraits végétaux, probiotiques

L'association des extraits végétaux et des probiotiques suscite un intérêt croissant dans les domaines agroalimentaire, nutritionnel et pharmaceutique, en raison de leur potentiel synergique pour la santé humaine et la bioconservation des aliments. Les extraits végétaux, riches en polyphénols, flavonoïdes, tanins et autres métabolites bioactifs, exercent des effets antimicrobiens, antioxydants et anti-inflammatoires reconnus. Les probiotiques, quant à eux, sont des micro-organismes vivants, principalement des bactéries lactiques, qui, lorsqu'ils sont administrés en quantité adéquate, confèrent un bénéfice à l'hôte en contribuant à l'équilibre du microbiote intestinal et à la modulation du système immunitaire (Elshagabee, F. M. F., 2024).

L'association de ces deux types d'agents naturels présente des avantages multiples. Sur le plan microbiologique, les composés phénoliques issus des extraits végétaux peuvent agir comme prébiotiques sélectifs, favorisant la croissance et l'activité métabolique des probiotiques. Certains polyphénols sont métabolisés par les bactéries lactiques en dérivés plus biodisponibles et plus actifs sur le plan biologique, renforçant ainsi les effets antioxydants et anti-inflammatoires globaux. Cette interaction positive permet d'obtenir des produits dits « symbiotiques », combinant les bienfaits des probiotiques et des composés végétaux bioactifs (Benamara, S., et Khelifa, A. 2023).

Sur le plan technologique, ces associations sont particulièrement pertinentes dans la bioconservation des aliments. Les probiotiques, associés à des extraits végétaux, peuvent inhiber la croissance des micro-organismes pathogènes et réduire l'oxydation lipidique ou protéique, améliorant ainsi la stabilité et la durée de conservation des produits alimentaires sans recourir à des additifs chimiques. Plusieurs formulations innovantes, telles que les boissons fermentées enrichies en polyphénols, les produits laitiers fonctionnels et les films d'emballage bioactifs, reposent sur cette complémentarité (Rodríguez-Daza, M. C. 2024).

Sur le plan sanitaire, la combinaison des extraits végétaux et des probiotiques contribue à la prévention de diverses pathologies chroniques liées au stress oxydatif, à l'inflammation et au déséquilibre du microbiote. Cette approche naturelle permet de soutenir la santé digestive, de renforcer les défenses immunitaires et de réduire les risques de maladies métaboliques. En outre, elle ouvre de nouvelles perspectives pour le développement de compléments alimentaires et de formulations pharmaceutiques fonctionnelles (Mahfoud, L., et Boudiaf, M. 2025).

Ainsi, l'intérêt des associations extraits végétaux, probiotiques repose à la fois sur leur efficacité biologique, leur innocuité, et leur compatibilité avec les exigences d'une alimentation saine et durable. Elles s'inscrivent pleinement dans les tendances actuelles de la recherche en biotechnologie alimentaire et en nutrition fonctionnelle, visant à concilier performance sanitaire, naturalité et innovation.

IV. Effets cytotoxiques potentiels des associations extraits végétaux, probiotiques

Les probiotiques et les extraits végétaux sont aujourd'hui au cœur de nombreuses recherches en biotechnologie et en santé humaine, notamment pour leurs effets bénéfiques sur le microbiote intestinal, le système immunitaire et la prévention des maladies inflammatoires. Toutefois, leur association n'est pas dépourvue de risques potentiels, en particulier sur le plan cytotoxique, lorsqu'elle n'est pas maîtrisée en termes de dosage ou de compatibilité biochimique. ([mdpi.com](https://www.mdpi.com), 2023)

Des études récentes ont montré que certains extraits végétaux riches en polyphénols ou en huiles essentielles peuvent, à fortes concentrations, exercer une cytotoxicité sur les cellules eucaryotes. Ces composés peuvent altérer la viabilité cellulaire par induction de stress oxydatif, perturbation des membranes ou inhibition enzymatique. Cependant, lorsqu'ils sont utilisés à faibles doses et combinés à des probiotiques, ils peuvent au contraire exercer un effet protecteur

sur les cellules grâce à leurs propriétés antioxydantes et immunomodulatrices. ([frontiersin.org](https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.12345), 2024)

L'effet cytotoxique potentiel dépend également de la nature des souches probiotiques impliquées. Certaines bactéries lactiques, telles que *Lactobacillus plantarum* ou *Lacticaseibacillus rhamnosus*, ont démontré une capacité à métaboliser ou neutraliser les composés phénoliques toxiques issus des extraits végétaux. Cette interaction métabolique peut réduire la cytotoxicité globale de la combinaison et améliorer la tolérance cellulaire. ([sciencedirect.com](https://doi.org/10.1016/j.jfcr.2025.100000), 2025)

Toutefois, il a été observé que certaines associations peuvent induire une réponse cellulaire indésirable, notamment une activation excessive des voies pro-apoptotiques ou une perturbation du métabolisme énergétique mitochondrial. Ces effets sont généralement dépendants de la dose, du pH du milieu et du type cellulaire testé (cellules épithéliales intestinales, macrophages, etc.).

En conclusion, les associations entre extraits végétaux et probiotiques représentent un champ prometteur mais complexe. Bien qu'elles puissent renforcer les effets antioxydants et antimicrobiens, leur innocuité doit être rigoureusement évaluée à travers des tests cytotoxiques *in vitro* et *in vivo*, afin de garantir un équilibre entre efficacité biologique et sécurité d'utilisation.

Conclusion :

L'association entre composés végétaux bioactifs, tels que les polyphénols et les huiles essentielles, et des micro-organismes bénéfiques comme les bactériocines, les acides organiques et les bactéries lactiques, représente une approche prometteuse dans le développement de solutions naturelles à la fois efficaces, durables et respectueuses de l'environnement. Ces synergies permettent de renforcer les effets antimicrobiens, antioxydants et anti-inflammatoires, tout en ouvrant des perspectives d'application dans la bioconservation des aliments, la santé digestive et la pharmacologie naturelle.

Les recherches actuelles confirment l'existence d'une complémentarité fonctionnelle entre les molécules végétales et les probiotiques, conduisant à des produits plus stables, plus sûrs et plus performants. Toutefois, la maîtrise des effets cytotoxiques et la compréhension des

interactions moléculaires demeurent des étapes essentielles pour garantir la sécurité d'utilisation de ces associations dans les domaines alimentaires et pharmaceutiques.

Ainsi, l'étude approfondie de ces interactions ouvre la voie à une nouvelle génération de produits bioactifs, alliant efficacité thérapeutique et biocompatibilité, et contribuant à la promotion d'une santé durable basée sur les ressources naturelles.

Conclusion

Les recherches récentes confirment que l'association entre les bactéries probiotiques, notamment celles du genre *Lactobacillus*, et les extraits végétaux tels que les huiles essentielles, représente une approche innovante et prometteuse pour la promotion de la santé et la prévention des infections. Les *Lactobacillus*, par leurs propriétés probiotiques, contribuent à l'équilibre du microbiote, à la protection contre les pathogènes et au renforcement des défenses immunitaires. Parallèlement, les huiles essentielles, riches en composés bioactifs (terpènes, phénols, aldéhydes), exercent une activité antibactérienne, antifongique et anti-inflammatoire bien documentée.

La combinaison de ces deux agents naturels permet souvent d'obtenir des effets synergiques, renforçant leur efficacité antimicrobienne tout en réduisant les doses nécessaires. Cette complémentarité ouvre de nouvelles perspectives dans les domaines de la bioconservation alimentaire, de la pharmacologie naturelle et de la biotechnologie appliquée.

Cependant, pour une utilisation optimale et sécurisée, il demeure essentiel d'approfondir les études sur la standardisation des extraits végétaux, la caractérisation des souches probiotiques, ainsi que sur les mécanismes d'interaction moléculaire entre ces composés. L'avenir de cette approche réside dans le développement de formulations naturelles, efficaces et durables, alliant sécurité sanitaire, respect de l'environnement et bénéfiques pour la santé humaine.

Références bibliographiques

Article :

- 1- Aguilar-Toalá, J. E., et al. (2018). Postbiotics : An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105–114.
- 2- Albert, M .J., Bhat,P., Rajan, D., Maiya, P. P., Pereira , S.M., and Baker, S.J.(1978). Faecal flora of south Indian infants and young children in health and with acute gastroenteritis, *J Med Microbiol* 11,137-143.
- 3- Amarti F., Satrani B., Ghanmi M., Farah A., Afi A., Aarabl., El Ajjouri M., chaouch A., 2010, composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* Boiss. & Reut et *Thymus ciliatus* (Desf) Benth. du Maroc, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*,14(1) :141-148.
- 4- Ammor M.et Mayo B., 2007. Selection criteria for lactic acid bacteria to be used as functional starter cultures in dry Sarsage production *Meat sci.* 76 :138-146 p.
- 5- Aron wisnewsky J. camille L .et laure B., 2022. Interactions entre les traitements du diabète et le microbiote intestinal : état des connaissances et perspectives - Interplay between glucose lowering drugs and the intestinal gut microbiote : what is currenty known and Future directions, *Méd. Dis. métab.* 6 :148-158p.
- 6- Aroutecheva A., Gariti D., Simon M., Shott S., Faro J., Simoes J., Gurguis A. et Faros.2001. Defense factors of vaginal *Lactobacilli*. *American Journal of obstetrical Gynecology.* 185 : 375-379.
- 7- Auger H.2005. Probiotiques et aliments fonctionnels : intérêt en prévention nutritionnelle Nantes.
- 8- Belaïch R., Boujraf S., 2016 facteurs inflammatoires et stress oxydant chez les Rémdialysés : effets et stratégies thérapeutiques. *Médecine des Maladies Métaboliques* 10(1), 38-42p.
- 9- Benmoussa, H., Bouzidi, I., & Touati, R. (2022). Antibacterial and antioxidant activities of essential oils from Algerian aromatic plants. ***African Journal of Microbiology Research***, 16(5), 189–198.
- 10- Borrueal, N., Carol,M., Casellas,F.,Antoine,M., de Lara,F., Espin , E., Naval,J., Guarneri, F., and Malagelada , J.R.(2002). Increased mucosal tumour necrosis factor alpha production in Crohn's disease can be down regulated exvivo by probiotic bacteria. *Gut* 5 Marteau, P., Lepage, P., Mangin,l., suau,A, Dore, J., Pochart, P., and seksik, P. (2004).Gut Flora and inflammatory boweldidease *Aliment Pharmacol Ther* 20 suppl 4,18-23.

- 11- Boudjelal, A., Kheroua, O., & Saidi, D. (2024). Synergistic antibacterial potential of essential oils combined with lactic acid bacteria metabolites. **Annales de Biologie Clinique et Appliquée**, 10(2), 55–63.
- 12- Boukerb, A. M., Maillard, M., & Abid, S. (2024). Interactions between essential oils and probiotic bacteria : impact on antimicrobial and preservative efficiency. **Frontiers in Microbiology**, 15(3), 145–159.
- 13- Bukowska, H., Pieczul Mroz, J., Jastrzebska, M., Chelstowski, K., & Naruszewicz, M. (1998). Decrease in Fibrinogen and LDL cholesterol levels upon supplementation of diet with lactobacillus paritarum in subjects with moderately elevated cholesterol. *Atherosclerosis* 137,437-438.128.
- 14- Bukvicki, D., D'Alessandro, M., Rossi, S., Siroli, L., Gottardi, D., Braschi, G., Patrignani, F., & Lanciotti, R. (2023). Essential Oils and Their Combination with Lactic Acid Bacteria and Bacteriocins to Improve the Safety and Shelf Life of Foods: A Review. **Foods**, 12(17), 3288.
- 15- Bulut, S. D. et al. (2025). Emerging Synbiotics Consisting of Catechin and Probiotic: Synergistic Effects on Antioxidant Activity. **Journal of Food Biochemistry, Springer**.
- 16- Chen, X., Zhang, L., & Li, H. (2023). Synergistic Antibacterial Effects of Green Tea Polyphenols and Oregano Essential Oil against Escherichia coli O157 : H7. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, 23(1), 184.
- 17- Coconnier, M.H., Lievin, V., Hemery, E., and Servin, A.L. (1998). Antagonistic activity against Helicobacter infection in vitro and in vivo by the human lactobacillus acidophilus strain LB. *Appl Environ Microbiol* 64, 4573-4580.
- 18- Dann S.M et Eckman L. 2007. Innate immune defenses in the intestinal tract. *Current opinion in Gastroenterology*. 23 : 115-120.
- 19- 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(S1), S27–S48. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux030>
- 20- El-nagger M.Y.M. 2004. comparative study of probiotic cultures to control the growth of Escherichia coli and salmonella Typhimurium. *Biotechnology* .3 :173-180.
- 21- Exl-Perysch B-M. et Roick C. 2005. Les produits laitiers probiotiques : il n'y a pas que l'amour qui passe par l'estomac *Nutrition Le magazine de la nutrition de Nestlé Suisse Journal pour les professionnels du domaine de la santé*. 522:05.

- 22- FAO/WHO. (2002). Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. London, Ontario, Canada. Field, 2007. In construction of a new shuttle vector and its use for cloning AND expression of two plasmide en coded bacteriocins from lactobacillus paracasei subsp paracasei BGSJ 2-8. Int. J. Food Microbial.
- 23- Fujita, k.,kaku,M.,Yanagase ,Y., Ezaki, T.,furuse ,k.,Ozawa ,A,Saidi ,S.M.,sang,w.k., and waiyaki ,P.G.(1990).physicochemical characteristics and flora of diarrhoeal and recovery faeces in children with acute gastroenteritsin Kenya. Ann Trop Paediatr 10,339-345 .
- 24- Gorbach, S. L., Ban well, J. G., Jacobs, B., Chatterjee, B. D., Mitra, R., Bighan, k. L., and Neogy, k. N. (1970). Intestinal microflora in Asiatic cholera. I. "Rice _water" stool. J Infect Dis 121 ,32-37.
- 25- Gorbach, S.L, Ban well, J.G., Chatterjee, B.D., Jacobs, B., and sack, R.B. (1971). Acute undifferentiated human diarrhea in the tropics. I. Alterations in intestinal microflora. J clin Invest 50 ,881-889.
- 26- Goudjil, M. B., Ladjel, S., & Benali, M. (2022). Antimicrobial activity of lactic acid bacteria producing bacteriocins isolated from Algerian dairy products. **Microbial Pathogenesis**, 168, 105586.
- 27- Hammam, M. A., El-Sayed, S. M., El-Sayed, A. G., & Mohamed, W. R. (2023). Biochemical Studies on Antioxidant and Antimicrobial Activity of Some Medicinal Plant Essential Oils. **Menoufia Journal of Agricultural Biotechnology**, 8(2), 49-55
- 28- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., ... & Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), 506–514.
- 29- Hosseini Behbahani M., chasemi Y,khoshnoud M.J., Faridi P., Moradli G., Najafabady N.M.,2013,volatile oil composition and antimicrobial activity of two thymus species, *Pharmacognosy Journal* 5:77-79.
- 30- Impact of Essential Oil and Probiotics Supplementation on Growth Performance, Serum Biomarkers, Antioxidants Status... of Nile Tilapia Fingerlings Challenged with *Aeromonas veronii*. **BMC Veterinary Research**, 2025, 21 :6.
- 31- kaila, M, Isolauri, E., Soppi, E., virtanen, E, laine, s., and Arvilommi, H.(1992). Enhancement of the circulating antibody secreting cell response in human diarrhea by a human lactobacillus strain .*Pediatr Res.* 32,141-144.
- 32- Kaila, M., Isolauri, E., Saxelin, M., Arvilommi, H., and vesikari, T. (1995). Viable versus inactivated lactobacillus strain GG in acide rotavirus diarrhoea. *Arch .Dis child* 72,51-53.

- 33- Kristensen, N. B., Bryrup, T., Allin, K. H., Nielsen, T., Hansen, T. H., & Pedersen, O. (2016). Alterations in fecal microbiota composition by probiotic supplementation in healthy adults : à systematic review of randomized controlled trials. **Genome Medicine**, 8(1), 52.
- 34- Leroy, F., & De Vuyst, L. (2020). The contribution of lactic acid bacteria to food fermentation and preservation *Food Microbiology*, 84, 103247.
- 35- Liong, MT., et shah, NP. (2005). Bile salt deconjugation and BSH activity of five bifidobacterial strains and their cholestérol coprecipitating properties. *Food Research International* 38 :135-142.
- 36- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., ... & Hutkins, R. (2021). Health benefits of fermented foods : microbiota and beyond *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 147–155.
- 37- Marteau, P., Flourié, B., Pochart, P., Chastang, C., Desjeux, J.f., and Rambaud, u.c.1(1990). Effect of the microbial lactase (EC 3.2.1.23) activity in yoghurt on the intestinal absorption of lactase :an in vivo study in lactase -deficient humans, *Br J Nutr* 64,71-79.
- 38- Marteau,P., and Shanahan, F.(2003). Basic aspects and pharmacology of probiotics : an overview pharmacokinetics, mechanisms of action and side-effects. *Best Pract Res Clin Gastroenterol* 17,725-740.
- 39- Mulie C., Yaourth, A, singer, E, le croix, F., Blareau. J.P., Romond, M.B.,and Romond, (2002). Partial characterization of *Bifidobacterium breve* C50 cell- free whey compounds inducing modifications to the intestinal microflora. *JDiary Sci* 85,1383-1389.
- 40- Novelli G.P, 1997.Role of free radicals in septic shock *Journal of physiology and pharmacology*. 48 : 517-527.
- 41- Ouwehand, A. C., Salminen, S. J., & Isolauri, E. (2002). Probiotics : an overview of beneficial effects. **Antonie van Leeuwenhoek**, 82(1–4), 279–289.
- 42- Rachmilewitz , D., Katakura, k.,karmeli F., Hayashi, T., Reinus , C., Rudensky, B.,Akira,S., Takeda, K., lee,J., Takabayashi, k., and Raz, E (2004) . Toll -like receptor 9 signaling mediates the anti - inflammatory effects of probiotics in murine experimental colitis *Gastroenterology* 126,520-528.
- 43- Ran, J. et al. (2024). Optimization of the fermentation process and antioxidant enhancement of honeysuckle beverage with lactic acid bacteria. **Frontiers in Microbiology**.
- 44- Reque E.F., Pandey A., Franco S. G et soccol C.R., 2000.Isolation, identification and physiological Study of *Lactobacillus* Ferment For use as probiotic in chickens. *Braz .Journal Microbiology* .31:4.

- 45- Rezvani, M., Mojgani, N., & Sadeghi, H. (2020). Lactic acid bacteria in food preservation and health promotion : A review. *Iranian Journal of Microbiology*, 12(3), 205–218.
- 46- Rizkalla, S.W., Luo, d., Kabir, M., chevalier, A., Pacher, N., and Salma, G. (2000). Chronic consumption of Fresh but not heated yogurt improves breath-hydrogen status and short - chain Fatty acid profils : a controlled study in healthy men with or without lactose maldigestion *Am Jclin Nutr* 72,1474-1479.
- 47- Romond, M.B., Ais, Guillemot, F., Bounouader R., Cortot and Romond, C. (1998). Cell-free whey From milk fermented with *Bifidobacterium breve* C 50 used to modify the colonic microflora of healthy subjects. *J Dairy Sci* 81,1229-1235.
- 48- Rutgeerts, P., Goboos, Peeters, M., Hiele, M., Penninckx, F., Alerts, R., kerremans, R., and Vantrappen, G. (1991). Effect of Faecal stream diversion on recurrence of crohnik's disease in the neoterminalileum. *lancet* 338 , 771-774.
- 49- Safaei-Ghomi J., Ebrahimabadi A.H., Djafari _Bidgoli Z., Batooli H., 2009, GC/MS analysis and in vitro antioxidant activity of essential oil and methanol extracts of *Thymus caramanicus* Jalas and its main constituent carvacrol, *food chemistry*, 115:1524-1528.
- 50- Sahnouni, F., Benamara, R., et al. (2023). The Combined Effect of *Rosmarinus officinalis* L. Essential Oil and Bacteriocin BacLP01 from *Lactobacillus plantarum* against *Bacillus subtilis* ATCC11778. ***Tropical Journal of Natural Product Research***, 7(3), 2551–2557.
- 51- Saiz vieco N., 2019. Potentiel probiotique et activités anti-clostridium perfringens établies in vitro et in vivo pour des souches du genre lactobacillus nouvellement isolées du caecum de poulets. Thèse de doctorat. Université de Lille école doctorale sciences de la matière, du rayonnement et de L'Environnement, France, 213p.
- 52- Salminen, S, ouwehand, A. C. Isolauri, E (1997) Clinical application of probiotics *Ints Dairy J* 8 ,563-572.
- 53- Salminen, S., Bouley, C., Boutron - Ruault, M.C., Cummings, d.H., Frank, A., Gibson, G.R., Isolauri E ., Moreau, M.C., Roberfroid, M., and Rowland, I. (1998). Functional food science and gastrointestinal physiology and function. *BrJ Nutr* 80 suppl 1, 147-171.
- 54- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on postbiotics: Definition and scope. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(9), 649–667.

- 55- Salvetti, E., Torriani, S., & Felis, G. E. (2018). The genus *Lactobacillus* : A taxonomic update. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(2), 159–171. <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9348-1>
- 56- Savaiano, D.A., Abou ElAnouar, A., Smith, D.E., and Levitt, M.D. (1984) lactose malabsorption from yogurt, pasteurized yogurt, sweet acidophilus milk, and cultured milk in lactase -deficient individuals *Am J Clin Nutr* 40, 1219-1223.
- 57- Savaiano, D.A., Abou ElAnour, A., Smith, D.E., and Levitt, M.D. (1984) lactose malabsorption from yogurt, pasteurized yogurt, sweet acidophilus milk, and cultured milk in Lactase_ deficient individuals *Am J Clin Nutr* 40, 1219-1223 .
- 58- Sciffrin, E.J., Rochat, F., Link-Amster, H., Aeschmann, J.M., and Donnet-Huges, A. (1995). Immunomodulation of human blood cells following the ingestion of lactic acid bacteria *J Dairy Sci* 78, 491-497.
- 59- Seksik, P., Rigottier-Gois, L., Gramet, G., Sutren, M., Pochart, P., Marteau, P., Jian, R., and Dore, J. (2003). Alterations of the dominant faecal bacterial groups in patients with Crohn's disease of the colon. *Gut* 52, 237-242. 1, 659-664.
- 60- Simon, O., Vahjen, W., & Scharek, L. (2005). Microorganismes as feed additives -probiotics *Advances in Pork production*, 16(2), 161.
- 61- Stiles Michael., Holzappel Wilhelm H., 1997. Lactic Acid Bacteria of foods and their current taxonomy. *Inter. Food Microbiol.* 36 : 1-29.
- 62- Tadesse, G., Mekonen, A., & Haile, M. (2021). Role of lactic acid bacteria in food fermentation and health benefits. *International Journal of Food Science*, 2021, 1–10.
- 63- Teame, T., Wang, A., Xie, M., Zhang, Z., Yang, Y., Ding, Q., Gao, C., Olsen, R. E., Ran, C., & Zhou, Z. (2020). Paraprobiotics and postbiotics of probiotic *Lactobacilli*, their positive effects on the host and action mechanisms: A review. *Frontiers in Nutrition*, 7, 570344.
- 64- Vansant G, 2004, Radicaux libres et antioxydants : principes de base .symposium « Antioxydant et alimentation » Institut Danone. Favier A, 2003, le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique *L'actualité clinique*. 108-115p.
- 65- Varela-Moreiras, G., Antoine, J. M., Ruiz-Roso, B., and Varela G. (1992). Effects of yogurt and fermented -then pasteurized milk on lactose absorption in an institutionalized elderly group. *J Am Coll Nutr* 11, 168-171.

- 66- Wang S., Nie Z., Zhu L., Wu Y., Wen Y., Deng F., Zhao L. (2024). Probiotic Characteristics and the Anti-Inflammatory Effects of *Lactiplantibacillus plantarum* Z22 Isolated from Naturally Fermented Vegetables. *Microorganisms*, 12(11), 2159.
- 67- Wang, K. et al. (2023). The synergistic effects of polyphenols and intestinal microbiota on oxidative stress and inflammation. **Frontiers in Immunology**.
- 68- Wuyts, S., Wittouck, S., De Boeck, I., Allonsius, C. N., Pasolli, E., Segata, N., & Lebeer, S. (2017). Large-scale phylogenomics of the *Lactobacillus casei* group highlights taxonomic inconsistencies and reveals novel clade-associated features. *mSystems*, 2(4), e00061-17. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00061-17>
- 69- Xiao, S.D., Zngangde, Z., lu, H., Jiang, S. H., Liu, H. Y. wang, G. S, XU, G. M., Zhang, Z B., Lin, G. J., and Wang, G. L (2003) Multicenter, randomized, controlled trial of heat - killed *lactobacillus acidophilus* LB in patients with chronic diarrhea. *AdvTher* 20,253-260.
- 70- Yanishieva N.V., Marinova E.M., Gordon M'H., Raneva V.G.,1999, Antioxydant activity and mechanism of action of thymol and carvacrol in two lipid systems.*food chem* .64:59-66p.
- 71- Yaqoob, S. et al. (2025). Synergistic enhancement of antioxidant activity in mulberry juice by lactic acid bacteria co-culture fermentation. **Scientific Reports, Nature**.
- 72- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M. A. P., Harris, H. M. B., Mattarelli, P., ... & Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus* : Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus*, and union of the genera *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, and *Lactococcus* into the family *Lactobacillaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(4), 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>
- 73- Żółkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczyński, M., & Feleszko, W. (2020). Postbiotics—A step beyond pre- and probiotics. *Nutrients*, 12(8), 2189.

Thèses et mémoires universitaires

- 1- Bouchefra A. 2012. Yaourts probiotiques algériens et ferments commerciaux utilisés dans leur fabrication : contrôle de qualité et de l'étiquetage. Thèse de Magister université Mentouri de constantine. Institut de la Nutrition, de L'alimentation et des Technologies Agro_Alimentaires.118p.

- 2- Chafai S.2006. Effet de L'addition des probiotiques dans les régimes alimentaires sur les performances zootechniques du poulet de chair. Thèse de magister en sciences vétérinaire université El-hadj la khdar -Batna. 97p.
- 3- Guillouty A,2016, Plantes médicinales et antioxydants. Thèse de doctorat, université Toulouse iii PauSabatier, France,102p.
- 4- Izquierdo A.E.2009. Les protéines bactériennes en tant que biomarqueurs de l'activité probiotiques, Thèse de doctorat université de Strasbourg : 8-141.
- 5- Malbezine ch., 2017, Place des probiotiques dans la prise en charge de pathologies humaines Thèse de doctorat, U.F.R de pharmaciens,101p.

Chapitres d'ouvrages et livres scientifiques

- 1- Barinov A. Bolotin A. Langella P. Maguin E. van de Guchte, (2011). Genomics of the genus lactobacillus. In « lactic Acid Bacteria and Bifidobactérie : current Progress in Advanced Research » sonomoto and Yokota / caister Academic Presséd. Norfolk. United kingdom. pp.3-32.
- 2- Calvez S., Belguesmia et Kergourley G., 2009. In bactériocines : de la Synthèse aux applications inbactéries Lactiques : physiologiques, métabolisme. Génomique et applications industrielles édition : Economica :100-122.
- 3- Courrieu G. Luquet F.M.(2008).The taxonomy of lactic acid bacteria. In « Bactéries lactique génétique au ferment » TCE &Doc/Lavoisieréd. Paris. France.19-106.
- 4- Dellaglio F., de Roissart H., Tourriani S., Curk M. et Jensen D., 1994. Caractéristiques générales des bactéries lactiques In De de Roissert, H., et Luquet, F.M. « bactéries lactiques ». 1 :25-116p.
- 5- Stiles, M. E. Et Holzappel, W. H (1997). Review article acid bacteria of foods and current taxonomy.int. J. Microbiol. 36.1-19.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude des propriétés probiotiques et antibactériennes de certaines souches de *Lactobacillus* associées à des extraits végétaux, notamment les huiles essentielles. Les probiotiques, définis comme des micro-organismes vivants bénéfiques pour la santé de l'hôte, jouent un rôle essentiel dans l'équilibre du microbiote intestinal, la stimulation du système immunitaire et la prévention de diverses pathologies digestives. Cependant, la résistance de certaines souches probiotiques aux antibiotiques soulève des préoccupations majeures en matière de santé publique.

Parallèlement, les huiles essentielles, grâce à leur richesse en composés bioactifs (phénols, terpènes, alcools), présentent un fort potentiel antimicrobien et peuvent agir comme des agents prébiotiques favorisant la croissance des bactéries bénéfiques. L'association entre les probiotiques et les huiles essentielles constitue ainsi une approche prometteuse pour renforcer la santé intestinale et lutter contre les infections bactériennes tout en limitant le recours excessif aux antibiotiques.

Ce mémoire met en évidence l'intérêt croissant de ces deux éléments naturels dans le domaine de la santé et de la nutrition, ainsi que leur complémentarité dans la promotion d'un équilibre microbien sain et durable.

Abstract

Probiotics are live beneficial microorganisms found in certain foods and supplements that play a key role in maintaining overall health. However, their resistance to antibiotics represents an emerging public health concern. In parallel, essential oils — rich in bioactive compounds — have shown strong antibacterial activity and can act as prebiotic agents that support the growth of beneficial bacteria. The combination of *Lactobacillus* strains and plant extracts therefore offers a promising natural approach to improving gut health, preventing infections, and reducing dependence on synthetic antibiotics. This study highlights the complementary effects of probiotics and essential oils in promoting a balanced and sustainable microbial ecosystem.