الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche

جامعه محمد الصديق بن يحي –جيجل-

Université Mohammed Seddik Benyahia –Jijel-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Microbiologie Appliquée et Sciences Alimentaires

كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم المكروبيولوجيا التطبيقية و علوم التغذية

Mémoire de fin d'études

Filière: Sciences Biologiques

Option : Microbiologie Appliquée

Thème

Les principaux biomolécules actives produites par les bactéries lactiques.

Présenté par :

M^{elle} : BOUMEZAID Sarra

M^{elle} : SABA Hassiba

Membres du Jury :

Président : Mr. Y. RAHMOUNE

Examinatrice : Dr. S. AKROUM

Encadreur : Dr. S. ALIOUA

Année Universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre :…….

Remerciements

Avant tout nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir donné la force et le courage de mener à terme ce modeste travail.

Nous remercions nos parents, pour tout leur amour, leur encouragement et leur soutien …….

Nous remercions particulièrement et avec gratitude notre encadreur ***Dr. S. ALIOUA****, pour ses précieux conseils, ses apports appréciables et ses encouragements.*

Nous tenons aussi à remercier les membres de jury qui ont accepté de juger notre travail de mémoire de fin d'études.

Nos vifs remerciements s'adressent aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer notre travail, ***Mr. Y. RAHMOUN*** *en tant que président de jury et* ***Dr. S. AKROUM*** *d'avoir pris de son temps pour examiner ce travail.*

Enfin, nous adressons nos remerciements à toute personne ayant contribué de prés ou de loin à la concrétisation de ce mémoire.

Dédicace

Avec l'aide de Dieu, j'ai pu réaliser ce modeste travail Et une grande fierté que je

dédie ce modeste travail :

A mes chers parent pour leur soutien, leur patience leur

Encouragement durant

Mon Parcours scolaire.

A ma soeur Nadjwa et mes frères Ali et faouzi, Mouhammed, Ahmed ainsi

À ma chère collègue et copine Hassiba

À ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans les moments difficiles.

A tous mes amies, et à l'ensemble des étudient de la promotion

Master microbiologie appliqué de

L'année 2020-2021.

Sarra

Dédicace

Avec l'aide de Dieu, j'ai pu réaliser ce modeste travail Et une grande fierté que je

dédie ce modeste travail :

A mes chers parent pour leur soutien, leur patience leur

Encouragement durant

Mon Parcours scolaire.

A mes soeurs Nadjwa, ghania, radia, naziha et saida et mes frères abd elhalim, mouhamed, salah, mouad, taher, moussa et abd elnour ainsi

À ma chère collègue et copine sarra

À ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans les moments difficiles.

A tous mes amies, et à l'ensemble des étudient de la promotion

Master microbiologie appliqué de

L'année 2020-2021.

Hassiba

Sommaire

Liste des figures……..... **i**

Liste des tableaux…… **ii**

Liste des abréviations……..... **iii**

Introduction……..…1

Partie I: Synthèse bibliographique

I. Les bactéries lactiques :

I.1. Taxonomie……..……..**3**

I.2. Caractères morphologiques, physiologiques.....…... **3**

I.3. Caractères biochimiques……..……..**4**

I.4. Intérêt des bactéries lactiques

I.4.1. Dans l'industrie alimentaire…….…... **5**

I.4.2. Dans le domaine thérapeutique ……..…….……...**5**

II.Biomolécules actives des bactéries lactiques

II.1. Définition…….……..**5**

II.2. Principaux types des biomolécules actives produites par les bactéries lactiques

II.2.1. Reuterine ……...…**6**

II.2.1.1. Mode d'action de reuterine……**6**

II.2.1.2. Applications de la reuterine……..……...…..**6**

II.2.2. Vitamines……...……..**6**

II.2.2.1. Mode d'action des vitamines…….……..…..**7**

II.2.2.2. Applications des vitamines…….……...….**7**

II.2.3.Exopolysaccharides…..…….……....…..**7**

II.2.3.1.Mode d'action des exopolysaccharides.....**7**

II.2.3.2. Application des exopolysaccharides……..……..…….……..**8**

II.2.4. Acides organiques……**8**

II.2.4.1. Mode d'action des acides organiques.....**8**

II.2.4.2. Application des acides organiques……...**9**

II.2.5. Acides gras……...**9**

II.2.5.1. Mode d'action d'acide linoléique conjugué……..…….……..**9**

II.2.5.2. Application d'acide linoléique conjugué ……..…….…..**9**

II.2.6. Bactériocines……**9**

II.2.6.1. Mode d'action des bactériocines……..……**10**

II.2.6.2. Application des bactériocines…….....**10**

II.2.7. Arômes……..…….....**11**

II.2.7.1. Mode d'action des arômes……....**11**

II.2.7.2. Application des arômes…….……....**11**

Partie II : Analyse des articles scientifiques

I. Méthodes:

I.1. Stratégie de recherche……**12**

I.2. Critères d'éligibilité…….……..….**12**

I.2.1. Critères d'inclusion……...…….**12**

I.2.2. Critères d'exclusion……**12**

II. Résultats et discussion

1. La reuterine produite par les bactéries lactiques……**14**
2. Les vitamines produites par les bactéries lactiques ……...…**17**
3. Les exopolysaccharides produits par les bactéries lactiques ……**21**
4. Les acides organiques produits par les bactéries lactiques…….....**24**

5. L’acide gras produit par les bactéries lactiques……...…..**29**

6. Les Bactériocines produites par les bactéries lactiques …….**32**

7. Les arômes produits par les bactéries lactiques ……..……...…**35**

Conclusion……..**38**

Références bibliographiques……..**39**

N° de la figure	Titre	N° de la page
Fig. 01	Représentation schématique des deux voies de fermentation des hexoses chez les bactéries lactiques	**4**
Fig. 02	Mode d'action des acides organiques sur les pathogènes	**8**
Fig. 03	Mode d'action des bactériocines sur les pathogènes	**10**
Fig. 04	Diagramme de recherche et d'inclusion des études	**13**
Fig. 05	Courbe d'inhibition du pathogène par la reuterine	**16**
Fig. 06	L'effet de la concentration de méthotrexate sur la production de Folate	**20**
Fig. 07	La concentration d'EPS dans le yaourt fermenté par différentes cultures (711, 465, SH-1).	**23**
Fig. 08	Production d'acide organique de lactobacilles dans le bouillon MRS (18h, 37°C)	**28**
Fig. 09	Production d'acide organique de lactobacilles dans le lait (18h, 37°C)	**28**
Fig. 10	Production d'acide organique de lactobacilles dans le jus de topinambour (18h, 37°C)	**28**
Fig. 11	Cinétique de croissance des biomasses de *Lactobacillus reuteri* ATCC53608 dans les trois milieux de culture (MRS, YPM et YPF)	**34**
Fig. 12	Cinétique de croissance des biomasses de *Lactobacillus rhamnosus* HN001 dans les trois milieux de culture (MRS, YPM et YPF)	**34**

N° de tableau	Titre	N° de la page
Tableau 01	Caractéristiques des études incluses sur la reuterine produite par les bactéries lactiques	**15**
Tableau 02	Caractéristiques des études incluses sur les vitamines produites par les bactéries lactiques	**18**
Tableau 03	Caractéristiques des études incluses sur les exopolysaccharides produites par les bactéries lactiques	**22**
Tableau 04	Caractéristiques des études incluses sur les acides organiques produits par les bactéries lactiques	**25**
Tableau 05	Caractéristiques des études incluses sur le CLA produit par les bactéries lactiques	**30**
Tableau 06	La production de CLA par différents bactéries lactiques	**31**
Tableau 07	Caractéristiques des études incluses sur les bactériocines produites par les bactéries lactiques	**33**
Tableau 08	Caractéristiques des études incluses sur les arômes produites par les bactéries lactiques	**36**

GRAS: Generally Recognized As Safe.

PCR : Polymerase Chain Reaction.

ARNr : Acide ribonucléique ribosomique.

ATP : Adénosine triphosphate.

ADN : Acide désoxyribonucléique.

FMN : Flavin mononucleotide.

FAD : Flavin adenine dinucleotide.

AGPI : Acide gras polyinsaturé.

CLA : Conjugated linoleic acid.

Da : Dalton.

PFGE : Pulsed field gel electrophoresis.

HRESIMS : High resolution Electrospray Ionization Mass Spectrometry.

RMN : Résonance Magnétique Nucléaire.

LDF : Défauts de soufflage tardif.

HPLC : High performance liquid chromatography.

Maldi-Tof : Matrix Assisted Laser Desorption Ionization -Time of Flight.

Elisa : Enzyme-Linked Immuno Assay.

EGRAC : erythrocyte glutathione reductase activation coefficient.

PABA : P-aminobenzoic acid.

GTP : Glutamyl transpeptidase.

EPS : Exopolysaccharide.

RSM : Response surface methodology.

MS : Masse spectrometry.

GI : Gastro-intestinale.

SEM : Scanning electron microscopy.

AFM : Atomic force microscopy.

MRS : Man Rogosa Sharpe.

IC : Inhibition concentration.

LA : Linoleic acid.

USA : United states.

UV : Ultrat violet.

SDS-PAGE : Electrophoresis Sodium Dodecyl Sulfate-Polyacrylamide.

ADT : Agar diffusion test.

CD : Dichroïsme circulaire.

SPME : Solid phase microextraction.

GC : Espace de tête dynamique et piégé.

Introduction

Les bactéries lactiques ont une longue histoire d'exploitation par les humains, étant utilisées depuis des siècles dans la production et la conservation des aliments et comme agents probiotiques pour promouvoir la santé humaine **(Cano-Garrido et *al.*, 2015)**. Elles sont largement distribués dans l'intestins humain et animal et elles ont toujours montré un effet bénéfique sur la santé en agissant sur l'équilibre microbien pour maintenir l'homéostasie intestinale **(Masood et *al.*, 2011).**

Ces bactéries sont connues par diverses fonctions bénéfiques telles que l'activité anti-tumorale, réduction du cholestérol sérique, stimulation du système immunitaire, amélioration de la résistance contre les agents pathogènes et la prévention de la diarrhée du voyageur **(Lee et *al.*, 2008)**.

Les bactéries lactiques sont souvent considérées comme ayant un statut « Generally Recognized As Safe » (GRAS), ce qui confirme leur sécurité **(Plavec et Berlec, 2020)**.

Elles ont une longue histoire d'application dans l'industrie alimentaire pour la fermentation et la conservation des aliments à longue durée, principalement dans l'industrie laitière (lait, yaourt, fromage…) **(Peng et *al.*, 2020).**

Les bactéries lactiques ont été utilisés comme ferments lactiques et jouent un rôle très important dans la fermentation, par la production des différentes molécules bioactives comme ; les acides organiques, les vitamines, les acides gras, les bactériocines, la reuterine, les arômes et les exopolysaccharides **(Patel et *al.*, 2013)**.

Elles peuvent améliorer les caractéristiques nutritionnelles, organoleptiques, technologiques et la durée de conservation de divers aliments et boissons fermentés. De plus, certains de ces biomolécules peuvent être utilisées pour inactiver et contrôler les agents pathogènes d'origine alimentaire **(Gao et *al.*, 2019)**

De ce fait, ce travail vise à étudier les biomolécules actives produites par les bactéries lactiques.

Ce travail comprend deux parties :

- La première partie est une synthèse bibliographique, divisée en deux chapitres comme suit: le premier chapitre présente des généralités sur les bactéries lactiques et le deuxième chapitre sur les biomolécules produites par ces dernières.

- La deuxième partie est consacrée à l'analyse des articles scientifiques traitant les points suivants: la reuterine, les vitamines**,** les exopolysaccharides, les acides organiques, les acides gras**,** les Bactériocines et les arômes produits par les bactéries lactiques.

Enfin, une conclusion générale, récapitulera les principaux axes de cette étude.

Synthèse Bibliographique

I. Les bactéries lactiques

I.1. Taxonomie

Les bactéries lactiques appartienent à un groupe hétérogène de bactéries qui jouent un rôle important dans une variété de processus de fermentation. L'action principale des bactéries lactiques est la production d'acide lactique à partir de la fermentation des glucides **(Bintsis, 2018).**

La première classification des bactéries lactiques a été établie par ***Orla-Jensen*** (1919) basée sur les propriétés phénotypiques: la morphologie, le mode de fermentation, la croissance à différentes températures et le mode d'utilisation des sucres.

Récemment, l'approche moléculaire est devenue un outil important pour la classification et l'identification des bactéries lactiques. Elle permit d'augmenter le nombre de genres inclus dans ce groupe et d'affiner cette classification **(Quinto et *al.*, 2014 ; Gupta et *al.*, 2018)**.

Selon la classification taxonomique actuelle, les bactéries lactiques peuvent être classées dans deux phylums distincts ; les Actinobacteria comprennent le genre *Bifidobacterium*, et les Firmicutes ; comprennent principalement les genres : *Enterococcus, Lactobacillus, Lactococcus, Leuconostoc, Pediococcus, Streptococcus* et *Weissella* qui appartiennent à l'ordre des lactobacillales **(Guteriani, 2007).**

I.2. Caractères morphologiques, physiologiques

Les bactéries lactiques forment un groupe hétérogène composé de coques et de bacilles, dont la principale caractéristique est la production d'acide lactique à partir de la fermentation des sucres. Ces bactéries (Gram+) ont un métabolisme anaérobie facultatif et ne produisent pas de catalase**.** La détermination de la morphologie comporte deux aspects : l'aspect macroscopique et l'aspect microscopique. La diversité métabolique des bactéries lactiques donne une physiologie intéressante. Ce qui permet de les impliquées dans l'acidification des denrées alimentaires et des aliments pour animaux **(Khalid, 2011).**

I.3. Caractères biochimiques

Les bactéries lactiques sont des chimio-organotrophes, elles trouvent l'énergie nécessaire à l'ensemble de leur métabolisme grâce à l'oxydation de composés organiques, la principale voie de production d'énergie est la fermentation des sucres **(Khalid, 2011).**

Les bactéries lactiques sont soit :

- ✓ Homolactiques : des espèces homofermentaires, telles que *Pediococcus,* S*treptococcus, Lactococcus* et quelques *Lactobacillus.* Elles produisent majoritairement de l'acide lactique par fermentation du glucose **(Hammi, 2016).**
- ✓ Hétérolactiques : des espèces hétérofermentaires, telles que *Leuconostoc* et *Weissella,* qui produisent d'autres molécules en plus de l'acide lactique comme l'acide acétique, l'éthanol et le dioxyde de carbone, suivant la voie des pentoses-phosphates **(Gupta et *al.*, 2018)**.
- ✓ La voie «Bifidus » : Elle est utilisée par les bifidobactéries qui produisant 1.5 molécule d'acétate et 2.5 molécule d'ATP à partir d'une molécule d'hexose consommée **(Atlan et *al.*, 2008)**.

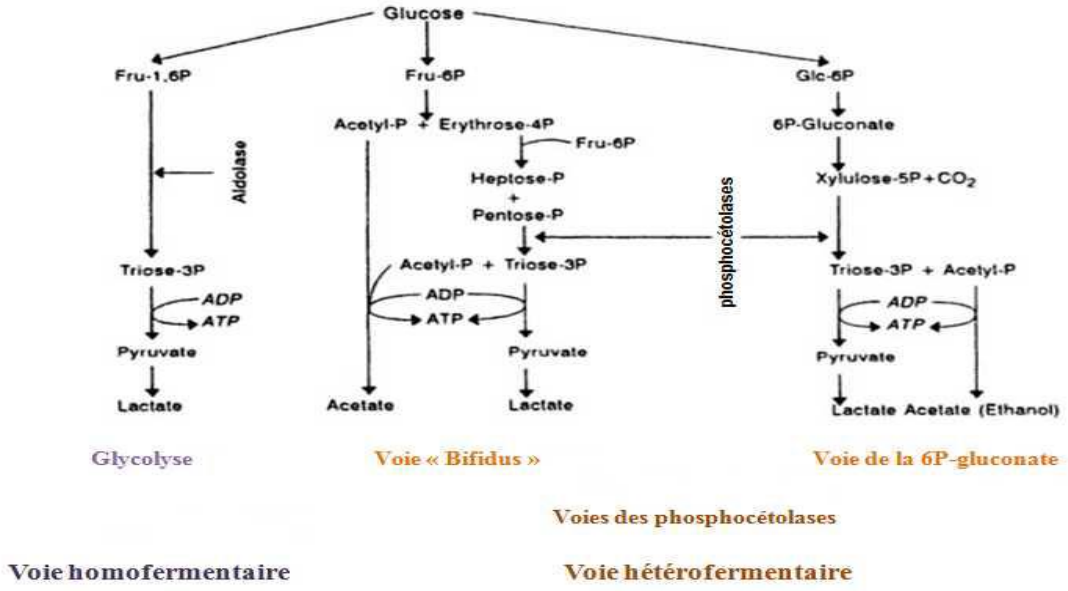

Figure 1. Représentation schématique des voies de fermentation des sucres chez les bactéries lactiques **(Léonard, 2013).**

I.4. Intérêt des bactéries lactiques

I.4.1. Dans l'industrie alimentaire

Depuis long-temps, les bactéries lactiques sont utilisées dans la conservation de nombreux aliments et jouent un rôle important dans la fabrication des fromages et des produits fermentés **(Diop, 2009).** Par la production des métabolites, elles améliorent les caractéristiques organoleptiques des produits fermentés et augmentent la durée de conservation des aliments. Ces bactéries possèdent des propriétés inhibitrices de certains microorganismes pathogènes par la production des biomolécules actives antimicrobienne **(Tahlaiti, 2019).**

I.4.2. Dans le domaine thérapeutique

Des études ont montré que les bactéries lactiques présentent des effets bénéfiques sur la santé des consommateurs. Elles sont utilisées en médecine préventive en tant que probiotiques **(Edima, 2007).** Les bactéries lactiques possèdent un rôle important dans la prévention des maladies gastro-intestinales, les diarrhées et les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin. Ces microorganismes possèdent des activités anti-tumorales qui pourraient être dues soit à l'inactivation ou l'inhibition des composés carcinogènes dans le tractus gastro-intestinal, soit à la réduction de l'activité enzymatique des bactéries intestinales **(Savadogo et Traore, 2011).**

II. Biomolécules actives des bactéries lactiques

II.1. Définition

Les molécules bioactives sont des substances naturelles d'origine biologique. Ces molécules bioactives sont variées et diversifiées. On distingue les bactériocines, les acides organiques, les antibiotiques…. Diffèrent les unes des autres par leurs modes d'actions et leurs applications **(Essodolom, 2016).**

II.2. Principaux types des biomolécules actives produites par les bactéries lactiques

II.2.1. Reuterine

La reuterine ou (3-hydroxypropionaldehyde) est une substance antimicrobienne qui est produite comme métabolite intermédiaire pendant la fermentation anaérobique du glycérol par certaines souches de *Lactobacillus reuteri* **(Montiel et *al*., 2014).** *Lb. reuteri* est une bacterie lactique normalement retrouvée dans le tractus digestif animal et humain **(Stevens et *al*., 2010).**

II.2.1.1. Mode d'action de reuterine

La reuterine est active contre les bactéries à Gram positif et négatif **(Arques et *al*., 2011).** Elle possède deux mécanismes d'action, le premier démontre qu'elle est capable de supprimer l'activité de la ribonucléase qui est la principale enzyme impliquée dans la biosynthèse de l'ADN dans l'organisme cible **(Blagojev et *al*.,2012).** Le deuxième modèle propose que le groupement aldéhyde de la reuterine réagisse avec les groupements thiols et les amides primaires présents dans les protéines membranaires microbiennes **(Schaefer et *al*., 2010 ; Vollenweider et *al*.,2010).** En étant fixées par la reuterine, les protéines perdraient leur fonction spécifique comme le transport intermembranaire, ce qui causerait la mort des cellules **(Schaefer et *al*., 2010).**

II.2.1.2. Applications de la reuterine

Les applications de la reuterine ont porté sur différentes produits laitières comprenant le fromage **(Martin et *al*., 2017),** le cuajada **(Arques et *al*., 2008)** et les laits fermentés **(Langa et *al*., 2013)**, pour empêcher la croissance des microorganismes pathogènes tels que *Salmonella spp*, *Escherichia coli O157 :H7* et *Listeria monocytogenes* (**Ortiz et *al*., 2017).**

II.2.2. Vitamines

Les vitamines sont des micronutriments essentiels au métabolisme de tous les organismes vivants. On les trouve comme précurseurs des coenzymes intracellulaires nécessaires pour réguler les réactions biochimiques vitales dans la cellule. Les humains sont incapables de synthétiser la plupart des vitamines qui par conséquent doivent être obtenu de manière exogène, par exemple à partir du microbiote intestinal et du régime alimentaire (**Capozzi et *al*., 2012).**

II.2.2.1. Mode d'action des vitamines

Certaines vitamines comme la riboflavine, qui est le précurseur du mononucléotide de flavine (FMN) et la flavine adénine dinucléotide (FAD), agit comme transporteur d'électrons dans les réactions d'oxydo-réduction, fonctionnant comme coenzymes pour des centaines d'enzymes dépendantes de la FMN ou des FAD appelées flavoprotéines (**Massey, 2000 ; Burgess et *al*., 2006)**.

D'autres comme le folate est impliqué dans les fonctions essentielles du métabolisme cellulaire, telles que la réplication de l'ADN, réparation et méthylation et synthèse de nucléotides, vitamines et certains acides aminés**. (Selhub, 2002; LeBlanc et coll, 2007 ; LeBlanc et coll, 2010a ; Rossi et coll, 2011).**

II.2.2.2. Applications des vitamines

Elles sont utilisées comme traitements anti-inflammatoires (**LeBlanc et *al*., 2020),** Antianémique (**Capozzi et *al*., 2012),** antioxydant et anti-néoplasique. Elles Maintiennent aussi l'intégrité du muqueux intestinal **(Levit et *al*., 2021).**

II.2.3.Exopolysaccharides

Ils sont des macromolécules organiques à chaine longue linéaires ou ramifiés composés d'unités de sucre dans différents rapports qui comprennent principalement le glucose, le galactose, le rhamnose,…. synthétisées par divers microbes à l'aide de différentes sources de carbone au cours du processus de fermentation **(Paulo et *al*., 2012 ; Chen et Narbad, 2018).**

II.2.3.1. Mode d'action des exopolysaccharides

Les exopolysaccharides agissent par la formation d'un réseau complexe et visqueux «biofilm» autour des bactéries ce qui permet l'adhésion des bactéries entre elles ou aux tissus de l'hôte tout en formant une matrice isolante. De ce fait, ils assurent un rôle de barrière protectrice et sélective en laissant passer les nutriments et en excluant les molécules antimicrobiennes comme certains antibiotiques ou désinfectants **(Flemming et Wingender, 2010 ; Brady et *al.*, 2011 ; Xue et *al.*, 2013).**

II.2.3.2. Application des exopolysaccharides

Ils sont utilisés dans l'industrie alimentaire en tant que viscosifiants (dans les yaourts et autres laits fermentés, les desserts laitiers, soupes, sauces, et vinaigrettes), stabilisants, émulsifiants, agents gélifiants…. Les exopolysaccharides augmentent la rétention d'eau et graisse du fromage et par conséquent augmentent le rendement du fromage **(Caggianiello et *al.*, 2016 ; Xuet et *al.*, 2019).** Dans le domaine médical, ils présentent des effets curatifs dans les traitements de certaines maladies gastro-intestinales **(Patel et Prajapat, 2013 ; Galle et Arendt, 2014).**

II.2.4. Acides organiques

Les métabolites antimicrobiens les plus importants et les mieux caractérisés produits par les bactéries lactiques sont l'acide lactique et l'acide acétique. La quantité et le type des acides produits durant la fermentation influencent l'activité antimicrobienne. Par exemple, L'acide acétique est plus antagoniste vis-à-vis les levures par rapport à l'acide lactique (**Suskovic et *al.*, 2010**).

II.2.4.1. Mode d'action des acides organiques

Les acides organiques ont une activité antimicrobienne, ils pénètrent dans la cellule et libèrent des ions H^+ qui acidifient le contenu cellulaire (abaissent le pH) de certains types de bactéries comme *Salmonella spp, E.coli, Clostridia spp, Listeria spp* et certains coliformes, ainsi que des bactéries pathogènes. Les bactéries utilisent alors de l'énergie afin de remonter le pH, Le radical $RCOO^-$ perturbe la réplication de l'ADN dans la cellule **(Privat et Thonart, 2011 ; Hajati, 2018).**

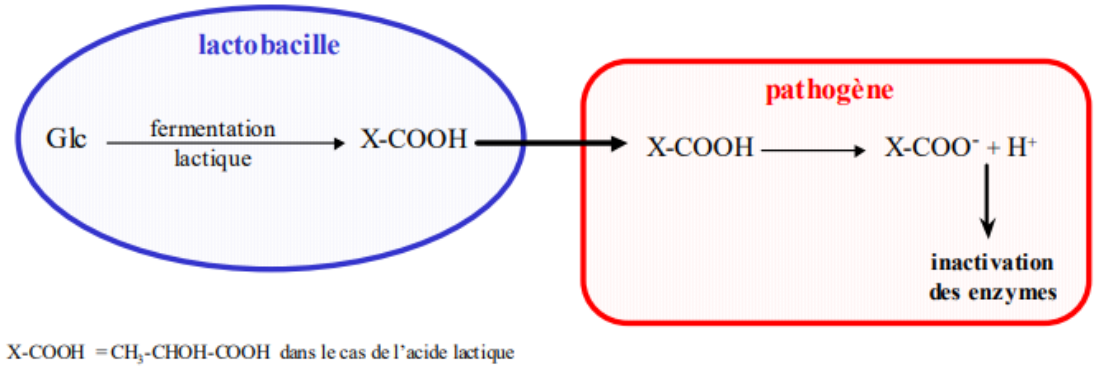

Figure 2. Mode d'action des acides organiques sur les pathogènes **(Rousseau, 2004)**.

II.2.4.2. Application des acides organiques

Ils sont des additifs très utilisés dans l'industrie alimentaire. On les trouve dans de nombreux aliments comme la choucroute, les olives, légume, yaourt, babeurre.... Ils peuvent servir d'agents de conservation, d'acidulent, d'antioxydants, d'émulsifiants, aromatisant **(Reis, 2012).**

II.2.5. Acides gras

Le principal acide gras polyinsaturé (AGPI) qui peut être synthétisé par les bactéries lactiques et les bifidobactéries est l'acide linoléique conjugué (CLA)**.** Le CLA décrit les isomères positionnels et géométriques de l'acide linoléique (C18: 2, C9, C12). Les isomères actifs les plus courants et associés à la santé sont c9, t11-CLA et c12, t10-CLA **(Sosa-Castañeda et *al.*, 2015).**

II.2.5.1. Mode d'action d'acide linoléique conjugué

Deux principaux mécanismes ont été proposés pour le CLA. La «voie endoplasmique» suggère que le CLA module la production de cytokines impliquées dans l'inflammation et le cancer **(Belury, 2002a).** Le second mécanisme propose que le CLA agisse comme un régulateur de l'expression de gènes connus pour contrôler le cycle cellulaire et l'apoptose, ainsi que l'oxydation des lipides, la différenciation des adipocytes, l'équilibre énergétique et l'athérogenèse **(Belury, 2002b)**.

II.2.5.2. Application de l'acide linoléique conjugué

La prévention contre certaines maladies comme le cancer, l'obésité…. Il présente des propriétés anti-inflammatoires contre plusieurs maladies comme l'athérosclérose chronique. De plus, les CLA alimentaires rétablissent la sensibilité à l'insuline, réduisent les niveaux de glucose sérique et d'insuline, normalisent la tolérance au glucose **(Flowers et Thompson, 2009 ; Kim et *al.*, 2010 ; Castro-Webb et *al.*, 2012).**

II.2.6. Bactériocines

Les bactériocines sont des métabolites protéiques, à activité bactéricide vis à vis des espèces proche de la souche productrice. Elles sont synthétisées par voie ribosomale, sous forme de peptides inactifs, et deviennent actives en milieu extracellulaire, dans la plupart des cas, elles sont codées par des gènes plasmidiques. Ces substances antagonistes se

différencient entre elles par : leur poids moléculaire, leurs propriétés biochimique, leurs spectre et leur mode d'action (**Klaenhammer, 1988).**

II.2.6.1. Mode d'action des bactériocines

Les bactériocines interagissent avec la membrane cytoplasmique de la cellule hôte, raison pour la quelle les bactériocines n'ont pas d'activité contre les bactéries Gram- **(Dortu et Thonart 2009).** L'action commence par des liaisons électrostatiques entre la bactériocine et la membrane, cette liaison va permettre la formation des pores qui causent l'efflux des petits composés intracellulaires, comme les ions et les acides aminés, cet efflux provoque le déséquilibre de la force proton motrice, de part et d'autre de la membrane, l'arrêt des fonctions cellulaire et la mort de la cellule (**Patton et Van Der Donk, 2005).**

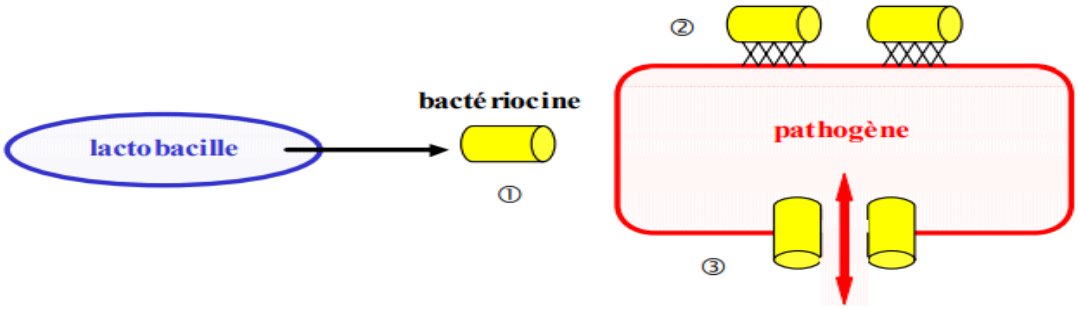

Figure 3. Mode d'action des bactériocines sur les pathogènes **(Rousseau, 2004).**

II.2.6.2. Application des bactériocines

L'utilisation des bactériocines dans l'industrie alimentaire, en particulier dans les produits laitiers, les produits à base d'œufs, les légumes et la viande, a été largement enquêtée. Pour les protéger contre les agents microbiens provoquant une intoxication et une détérioration des aliments **(Zacharof et Lovitt, 2012).** Une autre application des bactériocines dans le domaine médicale pour traiter les infections causées par des bactéries résistantes aux antibiotiques tel que les infections des voies respiratoires causées par *Staphylococcus aureus* et *Streptococcus* **(El Issaoui et *al.*, 2020)**.

II.2.7. Arômes

Les arômes sont des molécules de petite taille (<400Da) appartenant à de nombreuses classes chimiques. Le nombre de composés d'aromes dans un produit alimentaire est variable, et généralement de l'ordre de plusieurs centaines. L'arome d'un produit alimentaire est un critère essentiel de la qualité organoleptique, il détermine les choix et les préférences des consommateurs. La plus part des composés aromatiques (diacétyle, acétaledéhyde) sont issus du métabolisme du citrate **(Atlan, 2007).**

II.2.7.1. Mode d'action des arômes

Il n'est pas encore connu précisément, néanmoins il est possible qu'il interagisse avec les résidus arginine des enzymes fonctionnelles. Elles sont des inhibiteurs actifs contre de nombreux microorganismes. Les bactéries à gram négatif (et les levures) sont plus sensibles que les bactéries à gram positif (**Ammor et *al*., 2006).**

II.2.7.2. Application des arômes

L'utilisation des arômes comme conservateur alimentaire est limitée puisqu'elle nécessite d'importantes concentrations pour assurer la conservation des aliments. Un arôme est habituellement présent dans les produits laitiers fermentés à des concentrations plus faibles que nécessaire pour l'inhibition des micro-organismes indésirables et joue donc également un rôle dans le contrôle de la croissance de contaminants, ainsi que d'autres métabolites antimicrobiens de bactéries lactiques **(Louiza, 2017).**

Analyse des articles scientifiques

I. Méthodes

I.1. Stratégie de recherche

Dans le cadre de cette analyse des articles scientifiques, les recherches ont été effectuées dans les bases de données électroniques Elsevier, Springer Link et Scopus. Certaines articles scientifiques publiés de l'année 2010 jusqu'à 2021 ont été analysés.

Les mots-clés suivants ont été utilisés: biomolécules actives, analyse des articles, produits alimentaires.

I.2. Critères d'éligibilité

I.2.1. Critères d'inclusion

Les études éligibles pour cette analyse ont été identifiées en utilisant les critères suivants:

- Articles scientifiques faisant état de données originales et récentes.
- Les études qui ont fait état d'un résultat précis et détaillé.
- Articles scientifiques discutant la biodiversité des biomolécules actives produites par les bactéries lactiques.
- Utilisation exclusive des bactéries lactiques.

I.2.2. Critères d'exclusion

Les articles exclus de cette étude répondent quant à eux aux critères suivants:

- Les études qui n'ont pas porté sur les bactéries lactiques sont exclues.
- Les études qui n'ont pas fait état d'un résultat précis et détaillé ou qui n'ont pas apporté de nouveauté ont été exclues.

II. Résultats et discussion

Au total 90 articles scientifiques ont été obtenus. Parmi ceux-ci, 41 articles ont été exclus. L'analyse porte donc sur 49 articles remplissaient les critères d'inclusion (7 sur les acides gras, 7 sur les acides organiques, 7 sur la reteurine, 7 sur les arômes, 7sur les bactériocines, 7 sur les exopolysaccharides et 7 sur les vitamines).

Les résultats des recherches électroniques à partir des mots clés ont permis d'identifier 90 articles scientifiques. La première sélection est concentré sur les titres et les résumés de chacun, qui permet de sélectionné 77 articles scientifiques. Puis l'analyse des articles sélectionnés permet d'exclure encore des études pour retenir 49 qui sont considérées comme les plus représentatives du sujet.

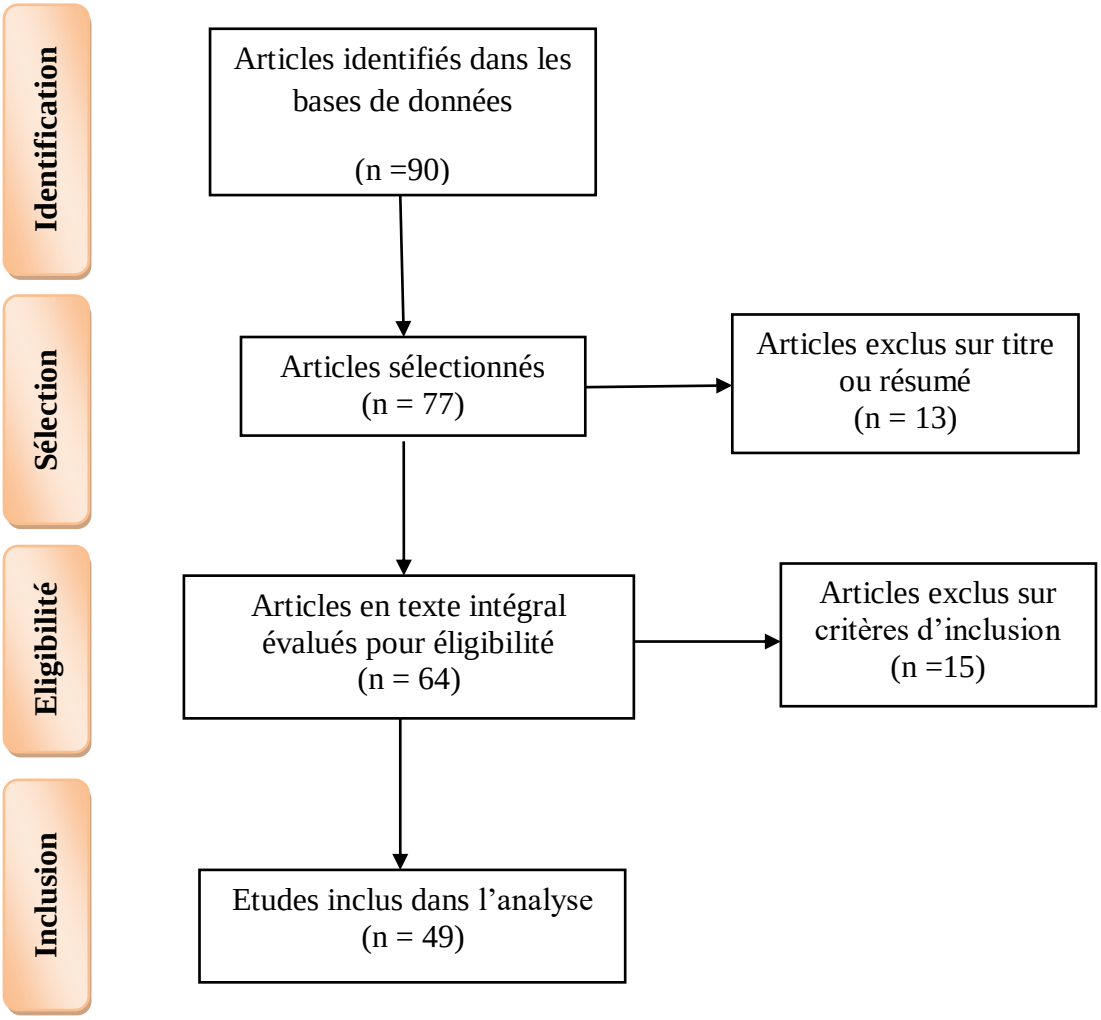

Figure 4. Diagramme de recherche et d'inclusion des études.

1) La reuterine produite par les bactéries lactiques :

Sept études sélectionnées ont examiné la production et la purification de reuterine par des bactéries lactiques dans 3 pays (Espagne, Mexique, Inde) à l'aide de différents moyens d'étude. Les caractéristiques des études sont résumées dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : Caractéristiques des études incluses sur la reuterine produite par les bactéries lactiques.

Référence	Revue	La souche Productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyens d'étude	Caractéristiques
Langa et *al.*, 2013 (Espagne)	Food Control	*L. reuteri* INIA P572 *L. reuteri* INIA P579	Fromage Yaourt	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h, anaérobie.	-Électrophorèse sur gel en champ pulsé (PFGE). -Réaction de polymérisation en chaine (PCR).	-La concentration : 5.5Mm.
Montiel et *al.*, 2014 (Espagne)	Food Microbiology	*L. reuteri* INIA P579	Saumon fumé	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 18h, anaérobie.	- Spectrométrie de masse à ionisation électrospray à haute résolution (HRESIMS). -Spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN). -Méthode colorimétrique.	-La concentration : 1.3M. -L'activité inhibitrice : 510UA/ml. -Activité antimicrobienne contre *Listeria monocytogenes* INIA 2530, INIA H66a et CECT 5725.
Garde et *al.*, 2014 (Espagne)	Food Control	Bactéries lactiques	Lait d'ovine	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 18h, anaérobie.	-Méthode de microdilution de bouillon.	-La concentration minimale inhibitrice (CMI) : 2.03-16.25mM. -large spectre d'activité contre les *Clostridium perfringens.* -inhibe la croissance des cellules végétatives et les spores de *Clostridium perfringens*.
Gómez-Torres et *al.*, 2014 (Espagne)	Food microbiology	*L. reuteri* INIA P572	Fromage	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 48h, anaérobie.	-Méthode colorimétrique.	-inhibe la croissance de *Clostridium tyrobutyricum* CECT 4011. -empêcher les défauts de soufflage tardif (LDF) de fromage. - Stable à des conditions anaérobies et à basse température.
Ortiz-Rivera et *al.*, 2017 (Mexique)	Journal of dairy science	*Lactobacillus reuteri* ATCC 53608	Produit laitier fermenté	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 15h, pH=5.5, anaérobie.	-Méthode colorimétrique.	-La concentration : 33.97mM. -Stable à la conservation réfrigérée. -Activité antimicrobienne contre les bactéries Gram-négatives, *Escherichia coli* DH5α et *Penicillium expansum.* -N'a aucune influence sur les paramètres de qualité (pH, couleur, l'acidité…etc).
Martin-Cabrejas et *al.*, 2017 (Inde)	J Food Sci Technol	*Lactobacillus reuteri* INIA P572	Fromage	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 48h, anaérobie.	-Dosage colorimétrique. -Chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC).	-La concentration environ 4.5 µmol/g. -Activité antimicrobienne contre les pathogènes présentes au cours de l'affinage de fromage.
Langa et *al.*, 2018 (Espagne)	Food Control	*Lactobacillus reuteri* INIA P572	Fromage	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 18h, anaérobie.	- Spectrométrie de masse à ionisation électrospray à haute résolution (HRESIMS). - Spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN).	-La concentration : 5.3 µmol/g. - Une forte action antimicrobienne contre *Listeria monocytogenes* et *Escherichia coli O157:H7.*

Quatres études ont démontré que la souche *Lactobacillus reuteri* INIA p572 produit la concentration la plus élevée de reuterine dans le fromage contenant le glycérol (50 à 100 mM) qui est essentiel pour l'activité antimicrobienne de *L.reuteri* et la production de reuterine. Toutes les souches *Lactobacillus reuteri* ont été complètement inhibées à des niveaux plus élevés de glycérol (**Langa et *al.*, 2013 ; Gómez-Torres et *al.*, 2014 ; Martin-Cabrejas et *al.*, 2017; Langa et *al.*, 2018)**.

Les septs études sélectionnées ont démontré que la meilleure production de la reuterine trouvé dans le milieu de culture MRS avec une température optimale de 37°C, dans les conditions anaérobie pendant 18h.

Toutes les études (entre 2013-2018) ont démontré que la reuterine produite par différentes souches de *Lactobacillus reuteri* possède des activités antimicrobiennes contre divers bactéries pathogènes comme (*L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli* DH5α et *S. enterica)*

Les bactéries à Gram-négatif (*E. coli* DH5α et *S. enterica*) ont montré une plus grande sensibilité à la reuterine par apport aux bactéries à Gram-positif (*L. monocytogenes* et *S. aureus*) **(Figure 5)**. Les groupements aldéhyde de la reuterine réagissent avec les groupements sulfhydryle du ribonucléotide réductase et thiorédoxine inactivant les protéines membranaires et les molécules contenants ces groupes (**Ortiz-Rivera et *al.*, 2017)**.

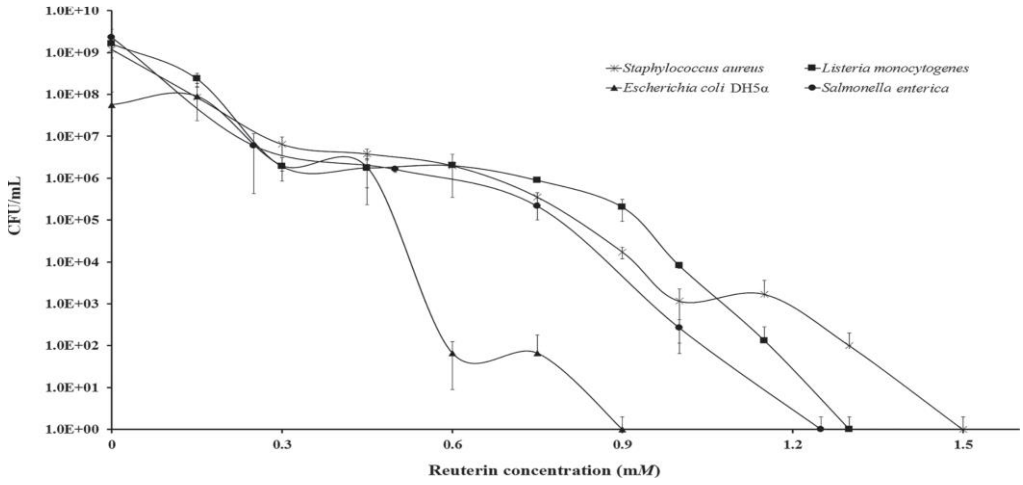

Figure 5. Courbe d'inhibition des pathogène par la reuterine (**Ortiz-Rivera et *al.*, 2017**).

La reuterine n'a aucune influence sur les paramètres de qualité des produits laitiers (pH, couleur, acidité…etc), stable à la conservation réfrigérée (**Ortiz-Rivera et *al.*, 2017**), à des conditions anaérobies et à basse température. Elle empêche les défauts de gonflement de fromage (**Gómez-Torres et *al.*, 2014).** Ces paramètres permettent l'application de la reuterine dans l'industrie alimentaire comme bioconservateur pour améliorer le stockage et la sécurité des produits laitiers (**Langa et *al.*, 2013).**

2) Les vitamines produites par les bactéries lactiques :

Sept études sélectionnées ont examiné la production de différentes vitamines du groupe B par certaines souches des bactéries lactiques dans 6 pays différents (Inde, Chine, Brésil, Argentine, Italie et Indonésie) à l'aide de différentes méthodes d'identification ; dosage microbiologique, séquençage de génome d'ADN, méthode colorimétrique, HPLC, Maldi-Tof, Elisa…. Les caractéristiques des études sont résumées dans le **tableau 2.**

Tableau 2 : Caractéristiques des études incluses sur les vitamines produites par les bactéries lactiques.

Référence	Revue	Type de vitamine	La souche productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyens d'étude	Caractéristiques
Silvana et *al.*, 2020 (Argentine)	Food Research International	Folate Riboflavine	*L. plantarum* CRL 2107 *L. plantarum* CRL 1964	Variété de produits laitiers fermentés farine de blé dur	- Bouillon MRS. - T°= 30°C, temps : 16h.	-Méthode colorimétrique. -EGRAC (erythrocyte glutathione reductase activation coefficient). - HPLC. -Dosage microbiologique.	• La concentration : -Riboflavine : 5,1 ± 0,4 mg/g de pâte. - Folates : 1,6 ± 0,2 mg/g de pâte. • Riboflavine participe au développement du tractus gastro-intestinal.
Jian et *al.*, 2020 (Chine)	Food & Function	Folate	*L. plantrum* GSLP-7 V	kéfir du Tibet	- Milieu semi-défini (SDM). - T°= 37°C, temps : 18h.	-Séquençage et annotation du génome entier. -HPLC. -Stress par méthotrexate et Ca^{2+}. -Extraction d'ADN fécal et pyroséquençage.	• La concentration: 3,72 µg L−1. • les gènes impliqués dans la biosynthèse du folate : aroB, aroD, aroE, aroK, aroF, aroA, aroC, pabB, pabA, folE, folQ, folB, folK, folP, folC et folA. • Traitement de la dysbactériose intestinale. • La production de folate augmente en stressant avec la méthotrexate (5,0mg/l) et Ca2+ (400mg/l).
Cucick et *al.*, 2020 (Brésil)	Journal of Functional foods	Folate	*Streptococcus thermophilus, Lactobacillus plantarum.*	Produits laitiers caprins	- Bouillon MRS. - T°= 42°C, temps : 24h, pH=6.	-Dosage microbiologique. - PCR.	• La concentration : -Lait de vache : 129 ± 10 ng/mL, à 37 °C. - Lait écrémé fermenté : 29 ± 4 ng/mL à 37 °C pendant 18 h. - Perméat de lactosérum supplémenté : 397 ± 60 ng/mL. - Le yaourt : 642 ± 47 ng/mL pendant 14 jours. • pH optimale = 6.
Levit et *al.*, 2020 (Argentine)	Applied Microbiology	Riboflavine Folate	*Lactobacillus plantarum* CRL 2130. *Lact. Reuteri et Strep. Thermophilus*. *Lact. plantarum* CRL 2107. *Lact.plantarum* CRL 1964	Lait lait de soja lactosérum pseudo-céréales	- Bouillon MRS. - T°= 42°C, temps : 24h, pH=6.	-PCR.	• Concentration en folate: 260µg l /. • Utilisé comme biofortification des aliments. • Utilisé comme thérapeutique contre les pathologies intestinales. • Utilisé comme complément anti-inflammatoire/antinéoplasique.

Référence	Revue	Type de vitamine	La souche productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyens d'étude	Caractéristiques
Clara et *al*., 2020 (Italie)	FEMS Microbiology Letters	Folate	*Lactobacillus casei, L. plantarum, L. paracasei* subsp. *paracasei, L. rhamnosus, L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus, Streptococcus thermophilus, Lactococcus. lactis* subsp. *lactis, Enterococcus faecium* and *E. lactis*	Aliments fermentés traditionnels à base de céréales produits laitiers fermentés	- Bouillon MRS et M17. - T°= 37°C, temps : 24h.	-Dosage microbiologique -Dosage immuno-sorbant lié à l'enzyme (ELISA)	• Concentration : -123 625, 74 ± 8,00 ng/ml *(E. faecium* VC223). - 384,22 ± 5,00 ng/ml (*E. lactis* BT161). • Bio-enrichissement des produits laitiers.
Walhe et *al*., 2021 (Inde)	Res. J. Chem. Environ.	Vitamine B12	*Pediococcus. Pentosaceus.*	Aliments indiens fermenté.	- Bouillon MRS. - T°= 35°C, temps : 24 à 48 h, microaérophile.	-MALDI-TOF-MS. -Dosage biologique.	• Concentration : 0.8 ng/ml.
Fenny et *al*,. 2021 (Indonésie)	Prev. Nutr. Food Sci	Folate	*Lactobacillus fermentum* JK13 *Lactobacillus plantarum* 4C261 *Lactobacillus rhamnosus* R23	Tempe, lait maternel, moutarde salée, granulés de kéfir, ruban de manioc et ruban de riz gluant	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h.	-Dosage microbiologique.	• Concentration: 24,27ng/ml. • La production du folate affecté par le temps d'incubation. • Les précurseurs du folate : PABA et GTP.

Les études de **Silvana et *al*., (2020), Levit et *al*., (2021)** trouvent que *Lactobacillus plantarum* produit la riboflavine et le folate. Ces vitamines maintiennent l'intégrité de la muqueuse intestinale. Elles sont utilisées comme complément des traitements anti-inflammatoire et anti-néoplasique **(Levit et *al*., 2021).**

Certaines études ont démontré que, pour une meilleure production de vitamines, les bactéries lactiques sont cultiviées dans le bouillon MRS avec une température optimale de 37°C, et un pH optimal de 6 pendant 24h **(Cucick et *al*., 2020 ; Levit et *al*., 2020 ; Clara et *al*., 2020 ; Fenny et *al*,. 2021)**.

L'étude de **Jian et ses collaborateurs (2020)** a démontré que *Lactobacillus plantarum* est la souche qui produit les grands taux de folate, et que l'ajout de méthotrexate au milieu de culture améliore leur production (figure 6), ce dernier est un antagoniste du folate qui peut conccurencer cette vitamine et inhiber la croissance des bactéries lactiques. Seules les souches à haute productivité en folate peuvent survivre dans un milieu contenant des concentrations élevées de méthotrexate.

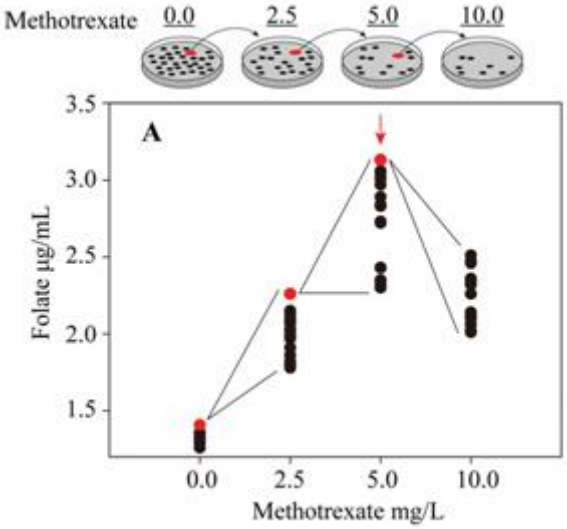

Figure 6. Effet de la concentration du méthotrexate sur la production de folate (**Jian et *al*., 2020).**

Deux souches isolées *G11* et A*P3* de *Pedicoccus pentasaceus* à partir d'aliments indiens fermentés produisent la vitamine B12 avec consommation de glycérol comme seule source de carbone. Ce dernier présente des effets régulateurs sur la production de cette vitamine. **(Walhe et *al*., 2021).**

3) Les exopolysaccharides produits par les bactéries lactiques :

Sept études sélectionnées ont examiné la production d'exopolysaccharides par déférentes souches des bactéries lactiques dans sept pays (Chine, Corée, Pakistan, Royaume-Uni, Inde, Turquie, Irlande) à l'aide de différents moyens d'étude. Les caractéristiques des études sont résumées dans le **tableau 3**.

Tableau 3: Caractéristiques des études incluses sur les exopolysaccharides produites par les bactéries lactiques

Référence	Revue	La souche productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyen d'étude	Caractéristiques
Ismail et Nampoothiri 2010 (Inde)	Archives of microbiology	*Lactobacillus plantarum MTCC 9510*	Des produits laitiers fermentés	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 72h, anaérobie facultatif.	-Méthodologie de surface de réponce(RSM) -MALDI TOF/MS -chromatographie en phase gazeuse.	-La température de dégradation : 260C^0. -Constitué d'un motif trisaccharidique d'a-D-glucose, b-D glucose et a-D-mannose.
Gürsoy et *al* ; 2010 (Turquie)	Kafkas Univ Vet Fak Derg	*Lactobacillus delbrueckii spp.bulgaricus B3, Streptococcus thermophilus*	Yaourt	- Bouillon MRS. - T°= 42°C, temps : 5h, Ph=4.6.	-Méthode phénol sulfurique.	-La concentration : *Lactobacillus delbrueckii spp.bulgaricus B3+commerce= 256mg/l, Streptococcus thermophilus+ commerce= 220mg/l.* -Joue un rôle important dans l'obtention d'une fermenté et d'une viscosité apparente satisfaisants du yaourt.
Kim et al., 2010 (corée)	Letters in applied microbiology	*Lactobacillus acidophillus 606*	Côlon HT-29	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 18h.	-Eléctrophorèse sur gel de polyacrilamide couplée a une matrice assistée spectrométrie de masse à temps de vol par désorption ionisation laser (MALDI TOF/MS) -Analyse immmunoblot.	-Inhibe la prolifération du cancer du Côlon HT-29. -Induit deux protéines : Beclin-1 et GRP78. -Affecte la régulation Bcl-2 et Bak.
Hongpattarakere et *al* ; 2012 (Royaume-Uni)	Carbohydrate Polymers	*Weissella cibaria A2*	Gastro-intestinale (GI) de moule verte	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24 à 48h, pH=6.9.	Méthode à l'acide phénol-sulfurique.	-La concentration : 14.2-14.5 g/l. -Résistants à l'acide gastrique et l'amylase pancréatique.
Ahmed et *al* ; 2013 (Pakistan)	Food Hydrocolloids	*Lactobacillus Kefiranofaciens ZW3*	Kéfir du Tibet	- Bouillon MRS. - T°= 30°C, temps : 72h, Ph=7, anaérobie.	-HPLC -Scanning de la microscopie électronique (SEM) -examen topographique de l'EPS par force atomique microscopie (AFM).	-Poids moléculaire : 5.5104 Da. -La solubilité : 14.2%. -La rétention d'eau : 496%. -La capacité de liaison à l'huile : 884.74%. -Compatible avec l'eau, le lait, Les sels à différents pH. -La température de dégradation : 299.62C^0.
London et *al* ; 2014 (Irlande)	Journal of applied microbiology	*Lactobacillus mucosae Dpc 6426*	Tractus Gastro-intestinale (GIT)	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 72h, anaérobie.	-Méthode colorimétrique au phénol-acide sulfurique, -séquençage de l'ARNr 16s.	-La concentration : 196 mg/l. -Constitué de résidus de mannosyle, le mannose, le glucose et le galactose. -La viscosité : 185pa.s.
Han et *al* ; 2016 (Chine)	BioMed Research International	*Streptococcus thermophilus ZLWTM11*combiné avec *Lactobacillus delbrueckii subsp.bulgare (SH-1)*	Des produits laitiers fermentés	- Bouillon MRS. - T°= 42°C, temps : 24h, pH=4.7.	Méthode à l'acide phénol-sulfurique.	-La concentration : 423 mg/l. -Fournir une meilleure texture du yaourt et une séparation plus faible du lactosérum.

Comme l'indique le tableau 3 l'étude de **Han et *al*., (2016)** a démontré que la combinaison de deux souches *Streptococcus thermophilus* ZLWTM11 isolées à partir de produits laitiers fermentés chinois avec *Lactobacillus delbrueckii subsp.bulgaricus* affecte de manière synergique le taux d'EPS et la viscosité de yaourt. Cependent SH-1 permet de produire la plus forte teneur en EPS (423mg/l) qui est similaire et parfois même meilleur que celle obtenues par les ferments lactiques commerciaux YF-L711 et supérieur au YO-MIX465 (**Figure 7).** Les filaments d'EPS s'attachent les muqueuses des bactéries à la matrice protéique et ainsi causent un comportement plus visqueux.

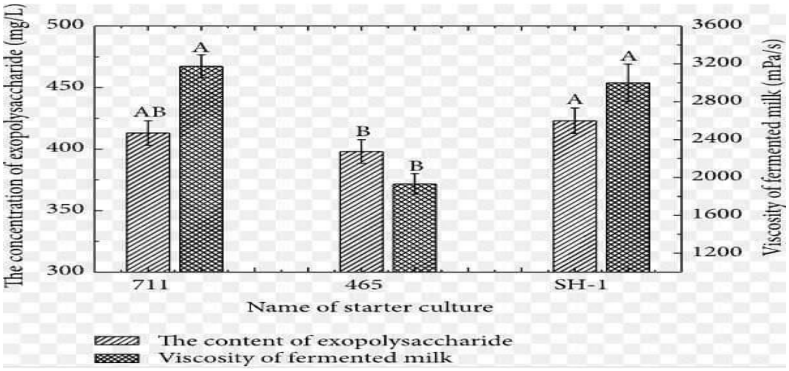

Figure 7. La concentration d'EPS dans le yaourt fermenté par différentes cultures (711, 465, SH-1).711 : YF-L711 ; 465 : YO-MIX465 et SH-1 : *Streptococcus thermophilus* ZLWTM11 avec *Lactobacillus delbrueckii subsp.bulgare* **(Han et *al*., 2016).**

L'EPS d'origine Bio donne une bonne qualité aux yaourts, par l'amélioration de texture et une séparation plus faible du lactosérum (**Gürsoy et *al*., 2010 ; Ahmed et *al*., 2013 ; Han et *al*., 2016).**

L'étude de **Hongpattarakere et ses collaborateurs (2012)** a prouvé que les EPS de *Weissella cibaria* A2 peuvent être utilisées comme prébiotique (résistance élevée aux digestions gastro-intestinales humaines) dans l'industrie alimentaire pour moduler l'intestin microbiote dans une direction bénéfique pour la santé.

Lactobacillus mucosae Dpc 6426 producteur d'EPS est une souche qui répond mieux à l'augmentation de stress osmotique, une meilleure résistance aux perturbations mécaniques, tolérance aux conditions acides dans l'estomac et la bile dans l'intestin grêle est une caractéristique essentiel pour être appliquée comme probiotiques ingérées à l'hôte (**London et *al* ., 2014).**

Le comportement visqueux des EPS, la compatibilité avec l'eau, lait, sels et différents pH sont des aspects essentiels pour être utilisé comme bio-épaississants ou stabilisant dans l'industrie alimentaire de manière efficace (**Gürsoy et *al* ., 2010).**

4) Les acides organiques produits par les bactéries lactiques:

Sept études sélectionnées ont examiné la production des acides organiques par certaines bactéries lactiques dans 6 pays différents (Hongrie, Portugal, Argentine, Turquie, Nigéria, République slovaque). Les caractéristiques des études sont résumées dans le **tableau 4.**

Tableau 4: Caractéristiques des études incluses sur les acides organiques produits par les bactéries lactiques

Référence	Revue	Type d'acide organique	La Souche productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyens d'étude	Caractéristiques
Zalán et *al*., 2010 (Hongrie)	Eur Food Res Technol	Lactique Acétique Propionique	*Lactobacillus (Lb)* *Lb casei* *Lb rhamnosus* *Lb plantarum* *Lb paracasei* *Lb curvatus*	Lait écrémé topinambour	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h, semi-anaérobie.	Isotachophorétique. méthode de diffusion sur gélose.	• Concentration: -acide lactique : 400-851mmol/l. -acide acétique : 25-150mmol/l. • PKa : -acide lactique : 3.86. -acide acétique : 4.73. • Activité antifongique.
Hladíková et *al*., 2012 (République slovaque)	Acta Chimica Slovaca	Lactique Propionique	*Lactococcus lactis* ZS25, *Lactococcus lactis* LM25, *Streptococcus thermophilus* M37, *Pediococcus* sp. G5	fromages de brebis	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 48h, aérobie.	HPLC.	• Activité antibactérienne et antifongique.
Maggi et *al*., 2013 (Argentine)	Veterinary Microbiology	Lactique Acétique	*Lactobacillus johnsonii CRL1647*	l'intestin des abeilles	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h, microaérophile.	HPLC.	• Concentration : -acide lactique : 128.1 Mm. -acide acétique : 38.0 Mm. • Activité contre les parasites des abeilles. • Compléments alimentaires d'abeilles.
Wakil et *al*., 2014 (Nigéria)	African Journal of Biotechnology	Acide lactique	*Lactobacillus plantarum* *L.fermentum* *L.acidophilus* *Leuconostoc mesenteroides*	concombre	- Bouillon MRS. - T°= 35°C, temps : 48h, anaérobie.	Méthode de diffusion en puits d'agar.	• Concentration : 4.9g/l. • pH optimale : 5.5. • température optimale : 30 °C. • activité antimicrobiens.
Özcelik et *al*., 2016 (Turquie)	LWT	Lactique Acétique Propionique	*Lactobacillus lactis subsp. lactis* *Pediococcus acidilactici* *Lactobacto acidophilus* *Lactobacillus delbrueckii*	anchois, bar, tilapia et truite	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h.	HPLC.	• Concentration : -acide lactique : 2403 mg/l (*Lactobacillus lactis subsp. Lactis)* et 2345 mg/l (*Pediococcus acidilactici).* -acide acétique : 822mg/l (*Lactobacto acidophilus)* et 803 mg/l *(Lactobacillus delbrueckii subsp. Lactis).* -acide propionique : 3747 mg/l (Pc. Acidilactici). • PKa : -acide lactique : 3.08. -acide acétique : 4.75. -acide propionique : 4.87.

Référence	Révue	Type d'acide organique	La Souche productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyens d'étude	Caractéristiques
Guimaraes et *al.*, 2018 (Portugal)	FOOD ADDITIVES & CONTAMINANTS	Lactique Acétique	*Lactobacillus plantarumUM55* *Lactobacillus buchneri UTAD104.*	Lait ensilage fromage	- Milieu YES agar. - T°= 25°C, temps : 7j.	HPLC.	• Acide lactique : Concentration d'inhibition : 8 mg/ml, pH : 3.6, PKa : 3.86, IC90 : 45.9 mg/ml, IC50 : 2.9 mg/ml. • Acide acétique : Concentration d'inhibition : 2 mg/ml, pH : 4.5, PKa : 4.75, IC90 : 1.7 mg/ml, IC50 : 1.5 mg/ml. • Activité antifongique contre *Penicillium nordicum.* • Activité antiochratoxigène.
Kuley et *al.*, 2020 (Turquie)	Microorganisms	Lactique Acétique Propionique	*Enterococcus gallinarum,* *Lactobacillus brevis,* *Lactobacillus plantarum,* *Pediococcus acidilactici,* *Streptococcus spp*	Ensilage a base des Poissons	- Bouillon MRS. - T°= 30°C, temps : 3 à 5j.	HPLC.	• Concentration : -acide lactique : 1935.43 mg/100g (L.plantarum), 1876.38 mg/100g (E. gallinarum). -acide acétique : 1006.82-2030.62 mg/100g. -acide propionique : 6335.40 mg/100g. • Activité antimicrobienne contre les moisissures et les bactéries aérobies.

Les études sélectionnées ont démontré que les bactéries lactiques jouent un rôle important dans la fermentation et la conservation des denrées alimentaires et des aliments pour animaux, soit en tant que microflore naturelle, soit en tant que cultures de démarrage ajoutées dans des conditions contrôlées. L'effet conservateur est dû à la production des acides organiques, ces derniers entraînent une baisse des pH **(Zalán et *al.*, 2010 ; Hladíková et *al.*, 2012 ; Maggi et *al.*, 2013 ; Wakil et *al.*, 2014 ; Özcelik et *al.*, 2016 ; Guimaraes et *al.*, 2018 ; Kuley et *al.*, 2020).**

Les études de **Hladíková, Özcelik et leurs collaborateurs (2012 ; 2016)** ont démontré que les acides organiques produits par les bactéries lactiques ont une activité antibactérienne et antifongique contre les agents pathogènes. La fermentation du sucre suivie d'une réduction du pH due à la production d'acide lactique et d'autres acides organiques est un facteur important pour l'inhibition de la croissance des microorganismes indésirables, le faible pH rend les acides organiques liposolubles, leur permettant de traverser la membrane cellulaire et atteindre le cytoplasme des agents pathogènes.

Trois études (**Zalán et *al.*, 2010 ; Özcelik et *al.*, 2016 ; Guimaraes et *al.*, 2018)** démontrent que la croissance des lactobacilles, la production et l'activité de leurs substances antifongiques dépendent de la composition des milieux dans lesquels sont cultivés. Cependant, l'influence des conditions de croissance (temps, température d'incubation et pH) sont également des facteurs non négligeables **(figure 8, 9, 10)**.

Zalán et *al.*, 2010 a démontré que la production des acides organiques dans une température de 37°C pendant 18h diffèrent selon le milieu de culture. Le lait a été sélectionné comme substrat alimentaire le plus courant pour les lactobacilles. Ces bactéries ont utilisés les tubercules de topinambeur et l'inuline comme substrat pour la production des acides organiques. Le milieu MRS a servi de milieu de contrôle qui a été développé pour les lactobacilles, ce milieu présente une grande productivité des acides organiques diversifiés.

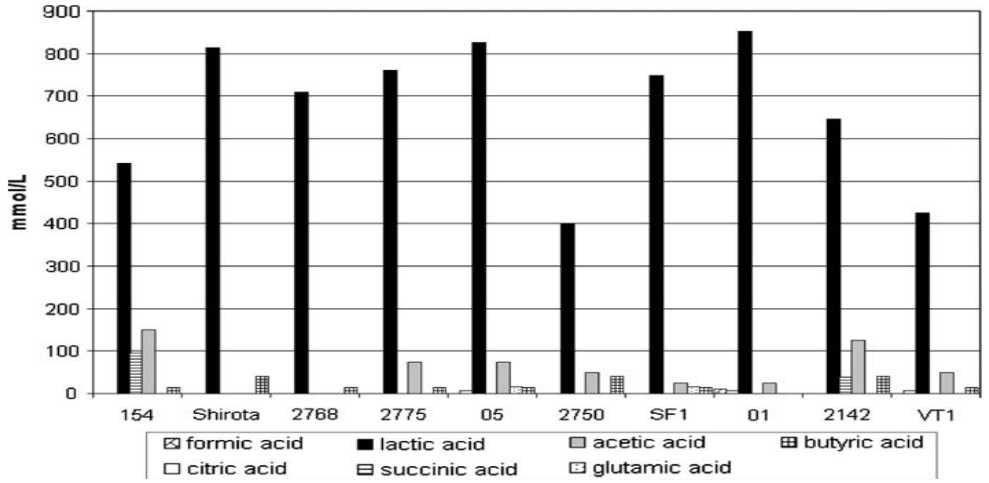

Figure 8. Production d'acide organique de lactobacilles dans le bouillon MRS (18h, 37°C) (**Zalán et *al*., 2010).**

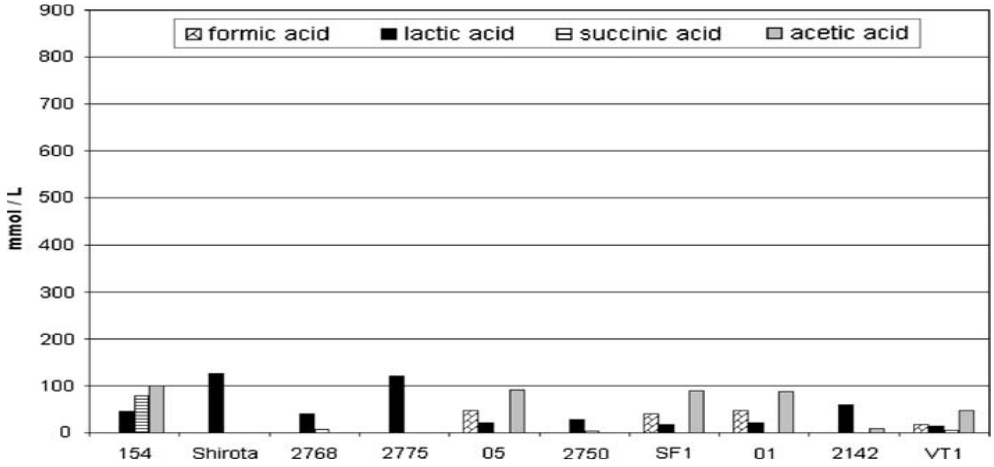

Figure 9. Production d'acide organique de lactobacilles dans le lait (18h, 37°C) **(Zalán et *al*., 2010).**

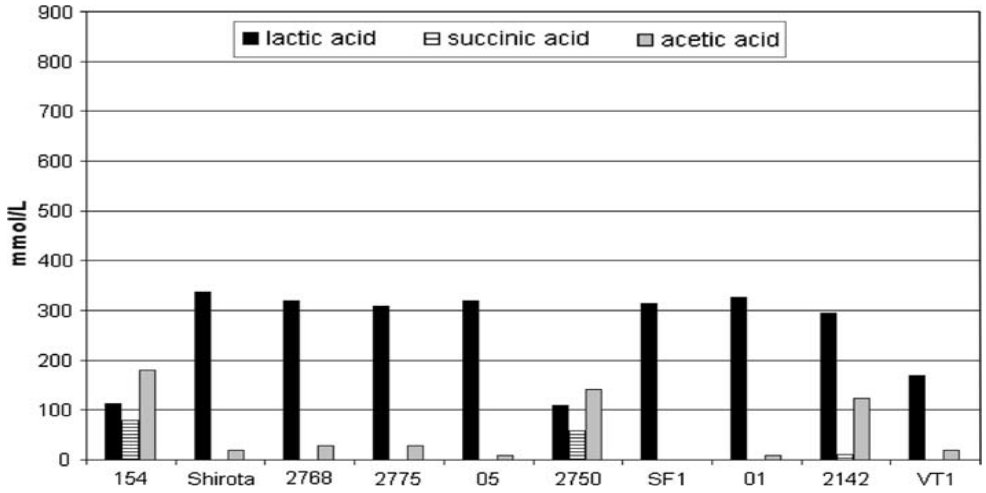

Figure 10. Production d'acide organique de lactobacilles dans le jus de topinambour (18h, 37°C) **(Zalán et *al*., 2010).**

5) L'acide gras produit par les bactéries lactiques :

Liu et ses collaborateurs (2011) ont rapporté que les CLA présentent de nombreuses activités biologiques importantes et des propriétés bénéfiques pour la santé**.**

L'augmentation de la teneur en CLA dans les produits laitiers par la fermentation avec des bactéries lactiques offre une alternative intéressante **(Sosa-Castañeda et *al.*, 2015).**

Sept études sélectionnées ont examiné la production de CLA par certaines bactéries lactiques dans 6 pays différents (Mexique, France, Argentine, Chine, USA, Espagne). Les caractéristiques des études sont résumées dans le **tableau 5**.

Tableau 5: Caractéristiques des études incluses sur le CLA produit par les bactéries lactiques

Référence	Revue	La Souche productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyens d'étude	Caractéristiques
LIU et *al.*, 2011 (Chine)	Journal of Zhejiang University Science B	*Lactobacillus plantarum Ip15*	Les cornichons naturellement fermentés	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 48h, anaérobie.	chromatographie en phase gazeuse	-La quantité maximale : 48.7µg/ml -Taux de conversion : 26.1%. -Les isomères : 75% cis-9, trans-11 CLA (9-CLA) et trans-10, cis-12 CLA (10-CLA).
Rodríguez-Alcalá et *al.*, 2011 (Espagne)	Food Chemistry	*Lactobacillus* *Lactococcus*	laits fermentés	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h.	méthode de criblage UV et techniques HPLC	-concentration : 11mg de CLA/ml. - isomères de CLA : C18:2 cis 9, trans 11 (60-65%), C18:2 trans 10, cis 12 (30-32%), C18:2 trans 9, trans 11 et C18:2 trans 10, trans 12 (2-5%). -la production du CLA dépend de concentration de LA, temps et température d'incubation. - l'isomérisation du CLA est un mécanisme de détoxification qui peut produire des graisses saturées.
Florence et *al.*, 2012 (France)	Food Chemistry	*L. bulgaricus* *S. thermophilus* *Bifidobacterium animalis subsp. lactis HN019*	Lait de vache Biologique et conventionnels	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 48h, pH : 5.4, anaérobie.	Méthode ISO	-acide gras polyinsaturés (cis-9, trans-11 CLA.
Pandit et *al.*, 2012 (Etats-Unis)	International journal of dairy technology	*Lactococcus* *Lactobacillus*	Fromage cheddar	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 4h.	chromatographie en phase gazeuse	- La quantité la plus élevée produit par 4b, *Lactococcus lactis* : 1.12g/100g. -Deux isomères : cis-9,trans-11 et trans-10, cis-12.
Sosa-Castañeda et *al.*, 2015 (Mexique)	J. Dairy Sci	*Lb. Fermentum* J20, *Lb. fermentum* J23, *Lb. plantarum* J25, *Lb. pentosus* J26	Lait écrémé L'intestin du rat	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 18h, Ph=6.5.	Méthode de coloration fluorescente	-La quantité la plus élevée produit par *Lb. pentosus* J26 : 36.96±3.24g/ml. -Fournir des effets bénéfiques sur la santé. - *Lb. pentosus* J26 produit 100% d'isomère cis-9, trans-11 CLA (9-CLA).
Terán et *al.*, 2015 (Argentine)	Journal of Functional Foods	*Lactobacillus sakei* CRL1468 et CRL1470	Viande Lait	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h.	Méthode UV et analyse GC	- *Lactobacillus sakei* CRL1468 et CRL1470 produit : 4.12 et 4.88% de CLA respectivement.
Ortega Anaya et Hernández-Santoyo 2016 (Mexique)	International Journal of Biological Macromolecules	*Lactobacillus plantarum*		- Bouillon MRS. - T°= 30°C, temps : 17.5h, pH=6.5.	analyse spectrométrique de masse SDS-PAGE	-isomère : 9-cis-11-trans-CLA. -l'enzyme productrice : énolase. -production maximale avec l'ajout de : MgCl2, de glycérol, de n-dodécyl--d-maltoside et d'acétonitrile.

Plusieurs études ont démontré que les bactéries lactiques peuvent augmenter les niveaux de CLA dans le lait fermenté, cela fournit des opportunités à l'industrie laitière et alimentaire de produire des produits laitiers fermentés avec un CLA amélioré à l'aide des bactéries lactiques. Les isomères cis-9, trans-11 et trans-10, cis-12 du CLA sont les plus largement étudiés et les principaux contribueurs aux bienfaits pour la santé associés au CLA **(Rodríguez-Alcalá et *al.*, 2011 ; Pandit et *al.*, 2012 ; Sosa-Castañeda et *al.*, 2015 ; Terán et *al.*, 2015)** .

D'autre part, deux études **(Sosa-Castañeda et *al.*, 2015 ; Terán et *al.*, 2015)** trouvent que les bactéries lactiques pourrait être utilisé comme probiotiques pour favoriser la synthèse de ces lipides bioactifs dans l'intestin qui permet d'améliorer les différents paramètres biologiques de la santé humaine.

Pandit et ses collaborateurs (2012), démontrent que la concentration la plus élevée de CLA est de 1.12g. Elle a été produite par l'espèce de *Lactococcus* isolé du fromage cheddar sans ajout de substrat supplémentaire **(Tableau 6).** Par ailleurs, dans l'étude de **Rodríguez-Alcalá et ses collaborateurs (2011)** une concentration de 11mg de matières grasses a été obtenue en utilisant l'acide linoléique comme substrat pour la fermentation.

Tableau 6 : la production de CLA par différents LAB **(Pandit et *al.*, 2012).**

Culture	*Source*	*Total CLA production (g/100 g FA)*†*
Lc1, *Lc. lactis subsp lactis*	Department culture collection	0.51^{d}
Lc2, *Lc. lactis subsp lactis*		0.55^{d}
Lb1, *Lactobacillus plantarum*		0.49^{d}
Lb2, *Lactobacillus buchneri*		$0.43^{d,e}$
Lb3, *Lactobacillus reuteri*		0.48^{d}
Lb4, *Lactobacillus brevis*		0.50^{d}
Lb5, *Lactobacillus casei*		0.63^{c}
Lb6, *Lactobacillus helveticus*		0.54^{d}
11a, *Lactobacillus* sp.	Cheddar cheese isolates	0.63^{c}
4a, *Lactococcus* sp.		0.87^{b}
4b, *Lactococcus lactis*		1.12^{a}
7c, *Lactococcus* sp.		0.56^{d}

Selon **Sosa-Castañeda et ses collaborateurs (2015)**, la quantité de CLA produite par les souches de *Lactobacillus*, peut dépendre à la fois de l'activité linoléate isomérase responsable de la conversion de LA en CLA sous différents formes isomères et de la capacité de la souche à synthétiser l'enzyme, aussi le temps de fermentation et la concentration de LA ajoutée au milieu de culture.

Certaines études sélectionnées présentent une grande production de CLA dans le milieu de culture MRS avec une température optimale de 37°C dans les conditions anaérobie et un pH optimale de 6.5 pendant un intervalle de temps (4h à 48h).

6) Les Bactériocines produites par les bactéries lactiques :

Sept études sélectionnées ont examiné la production des bactériocines par déférentes souches des bactéries lactiques dans 5 pays (Chine, Canada, Irlande, Espagne, Arménie) à l'aide de différents moyens d'étude. Les caractéristiques des études sont résumées dans le **tableau 7.**

Tableau 7 : Caractéristiques des études incluses sur les bactériocines produites par les bactéries lactiques

Référence	Revue	Souche productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyen d'étude	Caractéristiques
Aguilar Uscanga et *al*., 2013 (Canada)	Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences	-*Lactobacillus rhamnosus* HN001 -*Lactobacillus reuteri* ATCC 53608		- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 27h, pH=6.5.	-SDS-PAGE -Test de diffusion en puits -HPLC	- Large activité antibactérienne. -Sensible à la protéase IV, trypsine, pepsine et à l'amylase. -Résistant aux détergents : Tween 80, Triton-X et SDS. -thermostable.
Gómez-Sala *et al*., 2015 (Madrid)	Eur Food Res Technol	-*Entérocoques* -*Lactobacillus curvatus BCS35*	Poisson, Les fruits de mer et les produits de la pèche	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 3h.	-Analyse PCR et/ou séquençage d'ADN de gène (SODA) et/ou gène de l'ARNr 16s. -Analyse SDS-PAGE. - Test de diffusion en puits sur gélose (ADT).	-Activité antimicrobienne contre les pathogènes d'origine alimentaire. - thermostable.
Zendo et *al*., 2020 (Irlande)	Front. Microbiol	*Apilactobacillus kunkeei FF30-6*	Le miel	- Bouillon MRS. - T°= 30°C, temps : 18h.	-Spectrométrie de masse - Purification par chromatographie en trois étapes -. Séquençage. MALDITOF	-Poids moléculaire : Kunkecine A= 4218.3 Da. -Les gènes codant pour les protéines impliquées dans la biosynthèse étaient dans le plasmide.
Tkhruni et *al*., 2020 (Arménie)	Probiotics and antimicrobial proteins	*Lactobacillus rhamnosus BTK 20-12*	Le fromage traditionnel salé naturellement fermenté de la maison rurale d'Arménie	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h.	- Spectrométrie de masse basée sur MALDI-TOF - Séquençage du génome. - Purification par CFC liquide et HPLC	-Poids moléculaire : BCN1 = 1427 Da et BCN2 = 602,6 Da. -Inhibe la croissance de bactéries multi-résistantes avec une efficacité diversifiée. -Nature protéique. -appliqués comme alternative des antibiotiques.
Pei et *al*., 2020 (Chine)	Food Control	*Lactobacillus plantarum SLG10*	Kombucha	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 48h, pH=6.2 -6.6.	-biochromatographie couplée à la chromatographie liquide haute performance en phase inversée (RP-HPLC) - La spectroscopie de dichroïsme circulaire (CD) et les prédictions de structure 3D.	- Masse moléculaire : SLG10 =1422 Da. - Activité antibactérienne sur les bactéries Gram-positives et Gram-négatives. - Thermostable avec une tolérance au pH. - Sensible à la plupart des protéases.
Qiao et *al*., 2020 (Chine)	Int. J. Biol. Macromol	*Enterococcus faecium TJUQ1*	Céleri chinois mariné	- Bouillon MRS. - T°= 30°C, temps : 18h.	-chromatographie en phase inverse et chromatographie échangeuse de cations - MALDI TOF MS. - Précipitation au sulfate d'ammonium -PCR	-Masse moléculaire : Entérocine TJUQ1 =5520 Da. -Thermostable avec une tolérance au pH. -Sensible à la protéase. -Large activité antibactérienne
Zhang et *al*., 2020 (Chine)	Lwt	*Pediococcus pentosaceus zy-B*	L'intestin de Mimachlamys nobilis	- Bouillon MRS. - T°= 28°C, temps : 48h, pH=6.	-chromatographie liquide haute performance en phase inverse (RP-HPLC - Chromatographie sur colonne Sephadex LH-20 -HPLC	- Masse moléculaire : PE-ZYB1= 2019.22 Da. - Activité antimicrobienne contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives. - Thermostable, stable à pH 2-7. - Sensible à la trypsine.

Parmi les études sélectionnées, l'étude de **Aguilar-Uscanga et ses collaborateurs en 2013** est la seule qui a étudié et évalué l'effet des milieux sur la production des bactériocines par *Lactobacillus rhamnosus* HN001 et *Lactobacillus reuteri* ATCC53608 en 3 milieu YPM, YPF et MRS. Le bouillon MRS a été utilisé pour confirmer la production de bactériocine. La synthèse des bactériocines prend lieu au cours de la phase exponentielle et au début de la phase stationnaire. La composition du milieu de culture en particulier la source et la teneur de carbone et d'azote influence considérablement la production de bactériocines. Vu leurs exigences nutritionnelles, les bactéries lactiques requièrent plusieurs composants tels que : les facteurs de croissance, les peptones, l'extrait de levure, les hydrolysats de protéines et l'extrait de viande. Ces composants ont un impact positif sur le rendement en bactériocines.(**Figure 11 et 12).**

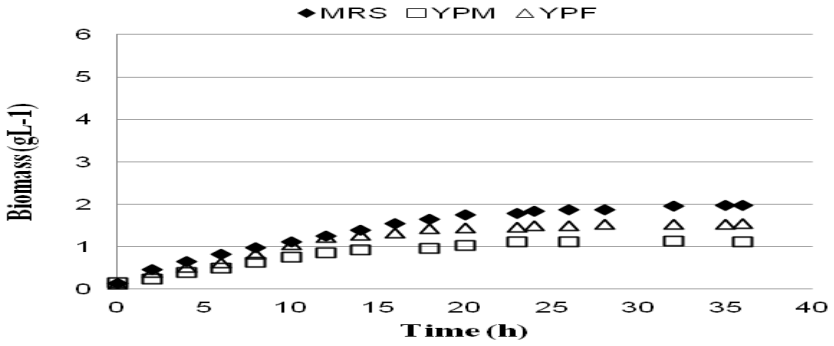

Figure 11. Cinétique de croissance des biomasses de *Lactobacillus reuteri* ATCC53608 dans eles trois milieux de culture (MRS, YPM et YPF) **(Aguilar-Uscanga et *al*., 2013)**.

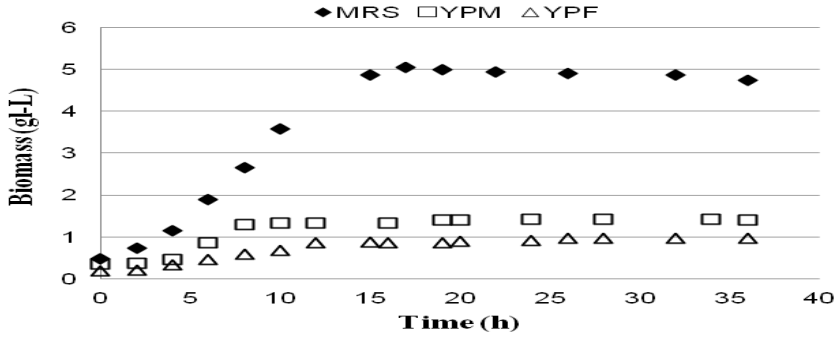

Figure 12. Cinétique de croissance des biomasses de *Lactobacillus rhamnosus* HN001 dans les trois Milieux de culture (MRS, YPM et YPF) **(Aguilar-Uscanga et *al*., 2013)**.

Les bactériocines possèdent un large spectre d'activité antimicrobienne contre certaines pathogènes comme *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Aeromonas hydrophila* (**Aguilar-Uscanga *et al.*, 2013 ; Gómez-Sala *et al.*, 2015 ; Tkhruni *et al., 2020 ;* Qiao *et al.*, 2020 ; Zhang *et al.*, 2020).** Et la Kunkécine A qui possède le plus gros poids moléculaire (4218.3 DA) présentait un spectre antimicrobien étroit contre *Melissococcus.pluntonius* (**Zendo *et al.*, 2020).**

Certaines études ont démontré la thermostabilité des bactériocine et la stabilité dans différents pH, détergents et enzymes qui est un aspect essentiel pour être appliquée comme bioconservateur dans l'industrie alimentaire **(Aguilar-Uscanga *et al.*, 2013 ; Pei *et al.*, 2020 ; Zhang *et al.*, 2020)**.

De plus les bactériocines augmentait la perméabilité de la membrane cellulaire qui provoque la libération des composés intracellulaires comme les ions, les acides aminés…, conduisant à la mort des cellules bactériennes (**Pei et *al.*, 2020 ; Qiao et *al.*, 2020).**

7) Les arômes produits par les bactéries lactiques :

Sept études sélectionnées ont examiné la production de certains types d'arômes (le diacétyle et l'acétaldéhyde) par des souches des bactéries lactiques dans 7 pays différents (Turquie, Chine, Nigeria, France, Italie, Corée et Danemark). Les caractéristiques des études sont résumées dans le **tableau 8.**

Tableau 8 : Caractéristiques des études incluses sur les arômes produites par les bactéries lactiques

Référence	Revue	Type d'arôme	La Souche productrice	L'origine de la souche	Milieu et conditions de culture	Moyens d'étude	Caractéristiques
Martin et *al*., 2011 (France)	J. Dairy Sci	Diacétyle acétaldéhyde	*Streptococcus thermophilus Lactobacillus bulgaricus*	Yaourt	- Bouillon MRS, M17. - T°= 37°C, temps : une nuit. - PH=7.	-Méthode de microextraction en phase solide (SPME). - Espace de tête dynamique et piégé GC.	Leur production dépend de pH, température et potentiel d'oxydoréduction du milieu.
Omemu et Faniran 2011 (Nigeria)	Malaysian Journal of Microbiology	Diacétyle	*L. plantarum*	maïs fermenté (l'ogi et le kunnu-zaki)	- Bouillon MRS. - T°= 30°C, temps : 48h, anaérobie.	-Test de diffusion en puits d'agar. -Test de catalase. -Test de production de gaz.	• Concentration : 2.5 g/l. • Activité antimicrobiens contre les bactéries Gram positive et Gram négative.
De Leonardis et *al*., 2013 (Italie)	Eur Food Res Technol Sci	Diacétyle	*Str thermophilus Lb paracasei Lb rhamnosus*	lait cru de vache, buffle, chèvre et mouton	- Bouillon MRS. - T°= 26°C, temps : 48h.	-Chromatographie en phase gazeuse.	• Concentration : -Lait de vache : 45.1 mg kg-1. -Lait de buffle : 65.2 mg kg-1. -Lait de chèvre : 42.8 mg kg-1. -Lait de mouton : 41.2 mg kg-1. • Liquide à température ambiante.
Gezginc et *al*., 2015 (Turquie)	J. Dairy	acétaldéhyde	*Streptococcus thermophilus Lactobacillus bulgaricus*	yaourts turcs	- Bouillon MRS. - T°= 37-42°C, aérobie et anaérobie, temps : 24h.	-HPLC.	• Influence la texture et la saveur du yaourt.
Choi et *al*., 2016 (Corée)	The ISME Journal	Diacétyle	*L. paracasei*	Yaourt	- Bouillon MRS. - T°= 37°C, temps : 24h.	-Dosage spectrophotométrique.	• Concentration : 3 µg. • L'attirance de *C.elegans*.
Tian et *al*., 2019 (Chine)	Journal of food biochemistry	Diacétyle Acétaldéhyde	*Lactobacillus plantarum (1-33* and *1-34)*	grains de kéfir tibétain	- Bouillon MRS, M17. - T°= 37°C, temps : 24h, anaérobie.	-La chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse analytique. -Microextraction en phase solide de l'espace de tête.	• Concentration : -Diacétyle : 15.92 mg/l. -Acétaldéhyde : 4.40 mg/l. • Influence la qualité aromatique du yaourt. • Amélioration de la saveur typique de yaourt, la saveur de crème, l'acceptabilité globale.
Shi et Knøchel 2021 (Danemark)	Food Control	Diacétyle	*Lactobacillus plantarum Lactobacillus harbinensis*	Yaourt, crème fraiche, fromage	- Bouillon MEB. - T°= 25°C, temps : 5h.	- Puits de plaque de microtitration.	• Activité antifongique contre les moisissures.

Gezginc et *al.*, (2015) trouve que la combinaison des 2 espèces (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophillus)* dans une culture de démarrage affecte de manière synergique le goût de yaourt par rapport à la situation où un seul système de culture est utilisé.

Les études sur la biosynthèse des arômes par les bactéries lactiques prennent en compte les facteurs environnementaux comme le pH et la température dans lequel la production maximale des arômes trouvé dans un pH7 et une température de 37°C (**Martin et *al.*, 2011).**

La production d'acétaldéhyde est variable en fonction du temps d'incubation, il a été démontré que les deux *Streptococcus thermophillus* et *Lactobacillus bulgaricus* étaient capable de produire la plus grande quantité d'acétaldéhyde de lait préchauffé à 115°C avec un pH (6.2-6.3) à 45°C environ la 22ème heure de fermentation **(Gezginc et *al.*, 2015)**.

Une autre étude de **De Leonardis et ses collaborateurs (2013)** trouve que le diacétyle produit par *Streptococcus thermophilus, Lactobacillus paracasei, Lactobacillus rhamnosus* a augmenté pendant une fermentation de 24h, tandis qu'une perte spontanée et importante a été enregistré lorsque la fermentation a été prolongée à 48h, à cause de la synthèse des enzymes spécifiques à partir des même bactéries tel que le diacétyle réductase qui est responsable de la destruction du diacétyle par la réduction de ce dernier en acétoine et la réduction supplémentaire en 2,3-butandiol.

Une étude d'**Omemu et Faniran (2011)** a démontré que certaines bactéries lactiques sont capables de produire des agents antimicrobiens comme le diacétyle contre des agents pathogènes comme les bactéries à Gram négatif (*E.coli, Klebsiella sp*) ainsi que des Gram positif telles que *S.aureus*. D'autre part, une étude de **Shi et Knøchel (2021)** démontre que le diacétyle produit par les bactéries lactiques possède une activité antifongique contre les moisissures des produites laitiers. Et l'étude de **Jay, 1986** démontre que L'effet antimicrobien du diacétyle a été connu depuis long temps, Il empêche la croissance des bactéries à Gram + et Gram – en affectant l'utilisation de l'arginine**.**

Conclusion

L'objectif principal de ce travail est l'étude de la diversité et les propriétés des biomolécules produites par les bactéries lactiques en se basant sur une analyse des articles scientifiques.

Après analyse des études publiées de l'année 2010 jusqu'à l'année 2021, 49 articles ont été retenues.

Les études ont montré que les bactéries lactiques produisent une diversité des biomolécules actives, qui donnent un grand intérêt pour l'industrie alimentaire d'une part, et pour la santé humaine d'autre part. Certaines métabolites produites par les bactéries lactiques comme ; les bactériocines, les acides organiques, la reuterine, les acides gras améliorent de la qualité des aliments, par leurs activités antimicrobiens et antifongique responsables de la détérioration des aliments.

La culture des aliments fermentés particulièrement les produits laitiers par les bactéries lactiques, fournit une bonne qualité organoleptique et texturation du produit grâce à l'enrichissement des substrats alimentaires par certaines biomolécules actives comme les exopolysaccharides et les arômes….

Les carences en vitamines peuvent être un problème de santé publique qui affecte des millions de personnes. L'incorporation des bactéries lactiques productrices des vitamines dans les aliments offre une bonne solution de ce problème grâce à ces effets bénéfiques sur le tractus gastro-intestinal et ces effets anti-inflammatoire et antinéoplasique.

Références bibliographiques

-A-

- **Aguilar-Uscanga, B. R., Solís-Pacheco, J. R., Plascencia, L., Aguilar-Uscanga, M. G., & Lacroix, M. (2013).** Effect of culture medium on bacteriocin production by Lactobacillus rhamnosus HN001 and Lactobacillus reuteri ATCC 53608. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, *2*(6), 2462-2468.
- **Ahmed, Z., Wang, Y., Anjum, N., Ahmad, A., & Khan, S. T. (2013).** Characterization of exopolysaccharide produced by Lactobacillus kefiranofaciens ZW3 isolated from Tibet kefir–Part II. *Food Hydrocolloids*, *30*(1), 343-350.
- **Ammor, S., Tauveron, G., Dufour, E., & Chevallier, I. (2006).** Antibacterial activity of lactic acid bacteria against spoilage and pathogenic bacteria isolated from the same meat small-scale facility: 1—Screening and characterization of the antibacterial compounds. *Food control*, *17*(6), 454-461.
- **Arques, J.L., Rodriguez, E., Nu~nez, M., Medina, M., (2011).** Combined effect of reuterin and lactic acid bacteria bacteriocins on the inactivation of food-borne pathogens in milk. *Food Control* 22, 457-461
- **Atlan, D., Béal, C., Champonier-Vergès, M.C., Chapot-Chartier, M.P., Chouayekh, H., Cocaign- Bousquet, M., Deghorain, M., Gadu, P., Gilbert, C., Goffin, P., Guédon, E., Guillouard, I., Guzzo, J., Juillard, V., Ladero, V., Lindley, N., Lortal, S., Loubière, P., Maguin, E., Monnet, C., Monnet, V., Rul, F., Tourdot-Maréchal, R., &Yvon, M., (2008).** Métabolisme et ingénierie métabolique. In: Corrieu, G., & Luquet, F. M. (Eds.). *Bactéries lactiques: de la génétique aux ferments* (pp. 297-298). Tec & Doc, Lavoisier.
- **Arques, J. L., E. Rodriguez, M. Nunez and M. Medina (2008).** "Antimicrobial activity of nisin, reuterin, and the lactoperoxidase system on Listeria monocytogenes and Staphylococcus aureus in cuajada, a semisolid dairy product manufactured in Spain." *Journal Dairy Science* **91**(1): 70-75.
- **Atlan, S. (2007).** Modelisation de la liberation des composes d'arome a partir de matrices alimentaires dans des systemes experimentaux et en bouche: determination des proprietes et mecanismes de transfert de matiere (Doctoral dissertation, AgroParisTech).202p

-B-

- **Belury, M. A. (2002a).** Dietary conjugated linoleic acid in health: physiological effects and mechanisms of action. *Annual review of nutrition*, *22*(1), 505-531.
- **Belury, M. A. (2002b).** Inhibition of carcinogenesis by conjugated linoleic acid: potential mechanisms of action. *The Journal of nutrition*, *132*(10), 2995-2998.
- **Bintsis, T. (2018).** Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *AIMS microbiology*, *4*(4), 665.
- **Blagojev, N., Škrinjar, M., Vesković-Moračanin, S., & Šošo, V. (2012)**. Control of mould growth and mycotoxin production by lactic acid bacteria metabolites. *Romanian Biotechnological Letters*, *17*(3), 7219-7226
- **Blanc, J. G., Levit, R., de Giori, G. S., & de LeBlanc, A. D. M. (2020).** Application of vitamin-producing lactic acid bacteria to treat intestinal inflammatory diseases. *Applied microbiology and biotechnology*, *104*(8), 3331-3337.
- **Brady, R. A., Graeme, A. O., Leid, J. G., Prior, M. L., Costerton, J. W., & Shirtliff, M. E. (2011).** Resolution of Staphylococcus aureus biofilm infection using vaccination and antibiotic treatment. *Infection and immunity*, *79*(4), 1797.
- **Burgess, C. M., Smid, E. J., Rutten, G., & Van Sinderen, D. (2006).** A general method for selection of riboflavin-overproducing food grade micro-organisms. *Microbial cell factories*, *5*(1), 1-12.

-C-

- **Capozzi, V., Russo, P., Dueñas, M. T., López, P., & Spano, G. (2012).** Lactic acid bacteria producing B-group vitamins: a great potential for functional cereals products. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *96*(6), 1383-1394.
- **Carrizo, S. L., de LeBlanc, A. D. M., LeBlanc, J. G., & Rollán, G. C. (2020).** Quinoa pasta fermented with lactic acid bacteria prevents nutritional deficiencies in mice. *Food Research International*, *127*, 108735.

- **Caggianiello, G., Kleerebezem, M., & Spano, G. (2016).** Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria: from health-promoting benefits to stress tolerance mechanisms. *Applied microbiology and biotechnology*, *100*(9), 3877-3886.
- **Castro-Webb, N., Ruiz-Narvaez, E. A., & Campos, H. (2012).** Crosssectional study of conjugated linoleic acid in adipose tissue and risk of diabetes. *American Journal of Clinical Nutrition*, *96*(1), 175–181.
- **Cucick, A. C. C., Gianni, K., Todorov, S. D., de LeBlanc, A. D. M., LeBlanc, J., & Franco, B. D. (2020).** Evaluation of the bioavailability and intestinal effects of milk fermented by folate producing lactic acid bacteria in a depletion/repletion mice model. *Journal of Functional Foods*, *66*, 103785.
- **Clara, A., Silvetti, T., & Milena, B. (2020).** Folate production by LAB and their potential for dairy product bio-enrichment by fermentation. *FEMS Microbiology Letters*.
- **Chen, H., & Narbad, A. (2018).** Proteins and Exopolysaccharides of Lactic Acid Bacteria. In *Lactic Acid Bacteria in Foodborne Hazards Reduction* (pp. 51-85). Springer, Singapore.

-D-

- **Del Valle, M. J., Laiño, J. E., de Giori, G. S., & LeBlanc, J. G. (2014)**. Riboflavin producing lactic acid bacteria as a biotechnological strategy to obtain bio-enriched soymilk. *Food Research International*, *62*, 1015-1019.
- **De Leonardis, A., Lopez, F., Nag, A., & Macciola, V. (2013).** Occurrence and persistence of diacetyl in unfermented and fermented milks. *European Food Research and Technology*, *236*(4), 691-697.
- **Diop, M. B., Destain, J., Tine, E., & Thonart, P. (2010).** Les produits de la mer au Sénégal et le potentiel des bactéries lactiques et des bactériocines pour la conservation. *Base*.
- **Dortu, C., & Thonart, P. (2009).** Les bactériocines des bactéries lactiques: caractéristiques et intérêts pour la bioconservation des produits alimentaires. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, *13*(1), 349-356.

-E-

- **Edima, H. C. (2007).** *Carnobacterium maltaromaticum: caractéristiques physiologiques et potentialités en technologie fromagère* (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine).
- **El Issaoui, K., Senhaji, N. S., Zinebi, S., Zahli, R., Haoujar, I., Amajoud, N., ... & Khay, E. O. (2020).** Potential application of bacteriocin produced from lactic acid bacteria. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 48(3), 237-251.

-F-

- **Flemming, H. C., & Wingender, J. (2010).** The biofilm matrix. *Nature reviews microbiology*, *8*(9), 623-633.
- **Florence, A. C. R., Béal, C., Silva, R. C., Bogsan, C. S., Pilleggi, A. L. O., Gioielli, L. A., & Oliveira, M. N. (2012)**. Fatty acid profile, trans-octadecenoic, α-linolenic and conjugated linoleic acid contents differing in certified organic and conventional probiotic fermented milks. *Food chemistry*, *135*(4), 2207-2214.
- **Flowers, M., & Thompson, P. A. (2009**). t10c12 conjugated linoleic acid suppresses HER2 protein and enhances apoptosis in SKBr3 breast cancer cells: possible role of COX2. *PLoS One*, *4*(4), e5342.

-G-

- **Garde, S., Gómez-Torres, N., Hernández, M., & Ávila, M. (2014).** Susceptibility of Clostridium perfringens to antimicrobials produced by lactic acid bacteria: Reuterin and nisin. *Food Control*, *44*, 22-25.
- **Gezginc, Y., Topcal, F., Comertpay, S., & Akyol, I. (2015).** Quantitative analysis of the lactic acid and acetaldehyde produced by Streptococcus thermophilus and Lactobacillus bulgaricus strains isolated from traditional Turkish yogurts using HPLC. *Journal of dairy science*, *98*(3), 1426-1434.

- **Gómez-Torres, N., Ávila, M., Gaya, P., & Garde, S. (2014).** Prevention of late blowing defect by reuterin produced in cheese by a Lactobacillus reuteri adjunct. *Food microbiology*, *42*, 82-88.
- **Gómez-Sala, B., Muñoz-Atienza, E., Sánchez, J., Basanta, A., Herranz, C., Hernández, P. E., & Cintas, L. M. (2015).** Bacteriocin production by lactic acid bacteria isolated from fish, seafood and fish products. *European Food Research and Technology*, *241*(3), 341-356.
- **GUTERIANi, H. (2007)**. Etude de l'effet des bacteries lactiques sur l'inhibition des bacteries impliquees dans la physiopathologie digestive in vitro. Hassiba ben bouali Chlef. Magister:120
- **Gupta, R., Jeevaratnam, K., & Fatima, A. (2018**). Lactic Acid Bacteria: Probiotic Characteristic, Selection Criteria, and its Role in Human Health: a review. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, *5*(10), 411-424.
- **Gürsoy, A., Durlu-Özkaya, F., Yildiz, F., & Aslim, B. (2010)**. Set type yoghurt production by exopolysaccharide producing turkish origin domestic strains of Streptococcus thermophilus (W22) and Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus (B3). *Kafkas Universitesi Veteriner Facultesi Dergisi*, *16*, S81-6.
- **Guimaraes, A., Venancio, A., & Abrunhosa, L. (2018).** Antifungal effect of organic acids from lactic acid bacteria on Penicillium nordicum. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *35*(9), 1803-1818.

-H-

- **(Hammi, I. (2016).** Isolement et caractérisation de bactériocines produites par des souches de bactéries lactiques isolées à partir de produits fermentés marocains et de différentes variétés de fromages français (Thèse de doctorat, Université Strasbourg).
- **Han, X., Yang, Z., Jing, X., Yu, P., Zhang, Y., Yi, H., & Zhang, L. (2016).** Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria. *BioMed research international*, *2016*.
- **Hajati, H. (2018).** Application of organic acids in poultry nutrition. *International Journal of Avian & Wildlife Biology 3*, 324-329.
- **Hladíková, Z., Smetanková, J., Greif, G., & Greifová, M. (2012).** Antimicrobial activity of selected lactic acid cocci and production of organic acids. *Acta Chimica Slovaca*, *5*(1), 80.
- **Hongpattarakere, T., Cherntong, N., Wichienchot, S., Kolida, S., & Rastall, R. A. (2012).** In vitro prebiotic evaluation of exopolysaccharides produced by marine isolated lactic acid bacteria. *Carbohydrate Polymers*, *87*(1), 846-852.

-I-

- **Im Choi, J., Yoon, K. H., Kalichamy, S. S., Yoon, S. S., & Lee, J. I. (2016).** A natural odor attraction between lactic acid bacteria and the nematode Caenorhabditis elegans. *Journal of the International Society for Microbial Ecology*, *10*(3), 558-567.
- **Ismail, B., & Nampoothiri, K. M. (2010).** Production, purification and structural characterization of an exopolysaccharide produced by a probiotic Lactobacillus plantarum MTCC 9510. *Archives of microbiology*, *192*(12), 1049-1057.

-J-

- **Jay, M.J., (1986).** Modern food microbiology. *fermented foods and related products of fermentation* 3th ed. Van nostrand reinhold company, New york .239-255 et 362-406.

-K-

- **Khalid, K. (2011).** An overview of lactic acid bacteria. *International journal of Biosciences*, 1(3), 1-13.
- **Kim, Y., Oh, S., Yun, H. S., Oh, S., & Kim, S. H. (2010).** Cell-bound exopolysaccharide from probiotic bacteria induces autophagic cell death of tumour cells. *Letters in applied microbiology*, *51*(2), 123-130.
- **Kim, D. I., Kim, K. H., Kang, J. H., Jung, E. M., Kim, S. S., Jeung, E. B., & Yang, M. P. (2011).** Trans-10, cis-12-conjugated linoleic acid modulates NF-κB activation and TNF-α production in porcine peripheral blood mononuclear cells via a PPARγ-dependent pathway. *British journal of nutrition*, *105*(9), 1329-1336.
- **Klaenhammer, T. R. (1988).** Bacteriocins of lactic acid bacteria. *Biochimie*, *70*(3), 337-349
- **Kuley, E., Özyurt, G., Özogul, I., Boga, M., Akyol, I., Rocha, J. M., & Özogul, F. (2020).** The role of selected lactic acid bacteria on organic acid accumulation during wet and spray-dried fish-based silages. Contributions to the winning combination of microbial food safety and environmental sustainability. *Microorganisms*, *8*(2), 172.

-L-

- **Langa, S., J. M. Landete, I. Martín-Cabrejas, E. Rodríguez, J. L. Arqués and M. Medina (2013**). "In situ reuterin production by Lactobacillus reuteri in dairy products." *Food Control* **33**(1): 200-206.
- **Langa, S., Martín-Cabrejas, I., Montiel, R., Peirotén, Á., Arqués, J. L., & Medina, M. (2018)**. Protective effect of reuterin-producing Lactobacillus reuteri against Listeria

monocytogenes and Escherichia coli O157: H7 in semi-hard cheese. *Food Control*, *84*, 284-289.

- **Levit, R., Savoy de Giori, G., de Moreno de LeBlanc, A., & LeBlanc, J. G. (2021).** Recent update on lactic acid bacteria producing riboflavin and folates: application for food fortification and treatment of intestinal inflammation. *Journal of Applied Microbiology*, *130*(5), 1412-1424.
- **Léonard, L. (2013).** *Evaluation du potentiel bioprotecteur de bactéries lactiques confinées dans une matrice polymérique* (Doctoral dissertation, Dijon).
- **LeBlanc, J. G., de Giori, G. S., Smid, E. J., Hugenholtz, J., & Sesma, F. (2007).** Folate production by lactic acid bacteria and other food-grade microorganisms. *Communicating current research and educational topics and trends in applied microbiology*, *1*, 329-339.
- **LeBlanc, J. G., Taranto, M. P., Molina, V., & Sesma, F. (2010).** B-group vitamins production by probiotic lactic acid bacteria. *Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications*, 211-232.
- **Liu, P., Shen, S. R., Ruan, H., Zhou, Q., Ma, L. L., & He, G. Q. (2011).** Production of conjugated linoleic acids by Lactobacillus plantarum strains isolated from naturally fermented Chinese pickles. *Journal of Zhejiang University Science B*, *12*(11), 923-930.
- **London, L. E. E., Price, N. P. J., Ryan, P., Wang, L., Auty, M. A. E., Fitzgerald, G. F., ... & Ross, R. P. (2014)**. Characterization of a bovine isolate L actobacillus mucosae DPC 6426 which produces an exopolysaccharide composed predominantly of mannose residues. *Journal of applied microbiology*, *117*(2), 509-517.
- **Louiza, L. A. Z. R. E. G. (2017).** Bactériocines d'entérocoques isolés de lait cru et beurre de l'Ouest algérien (Doctoral dissertation, Université de Mostaganem) p19.

-M-

- **Martin, F., Cachon, R., Pernin, K., De Coninck, J., Gervais, P., Guichard, E., & Cayot, N. (2011).** Effect of oxidoreduction potential on aroma biosynthesis by lactic acid bacteria in nonfat yogurt. *Journal of Dairy Science*, *94*(2), 614-622.
- **Maggi, M., Negri, P., Plischuk, S., Szawarski, N., De Piano, F., De Feudis, L., ... & Audisio, C. (2013).** Effects of the organic acids produced by a lactic acid bacterium in Apis mellifera colony development, Nosema ceranae control and fumagillin efficiency. *Veterinary Microbiology*, *167*(3-4), 474-483.

- **Massey, V. (2000).** The chemical and biological versatility of riboflavin. *Biochemical Society Transactions*, *28*(4), 283-296.
- **Mahara, F. A., Nuraida, L., & Lioe, H. N. (2021).** Folate in Milk Fermented by Lactic Acid Bacteria from Different Food Sources. *Preventive Nutrition and Food Science*, *26*(2), 230.
- **Martin-Cabrejas, I., S. Langa, P. Gaya, E. Rodriguez, J. M. Landete, M. Medina and J. L. Arques (2017).** "Optimization of reuterin production in cheese by Lactobacillus reuteri. *Journal Food Science and Technology* **54**(5): 1346-1349
- **Mosso, A. L., Jimenez, M. E., Vignolo, G., LeBlanc, J. G., & Samman, N. C. (2018)**. Increasing the folate content of tuber based foods using potentially probiotic lactic acid bacteria. *Food Research International*, *109*, 168-174.
- **Montiel, R., Martín-Cabrejas, I., Langa, S., El Aouad, N., Arqués, J. L., Reyes, F., & Medina, M. (2014)**. Antimicrobial activity of reuterin produced by Lactobacillus reuteri on Listeria monocytogenes in cold-smoked salmon. *Food microbiology*, *44*, 1-5.

-O-

- **Omemu, A. M., & Faniran, O. W. (2011)**. Assessment of the antimicrobial activity of lactic acid bacteria isolated from two fermented maize products-ogi and kunnu-zaki. *Malaysian Journal of Microbiology*, *7*(3), 124-128.
- **Ortiz-Rivera, Y., R. Sanchez-Vega, N. Gutierrez-Mendez, J. Leon-Felix, C. Acosta-Muniz and D. R. Sepulveda (2017).** "Production of reuterin in a fermented

milk product by Lactobacillus reuteri: Inhibition of pathogens, spoilage microorganisms, and lactic acid bacteria. *Journal of Dairy Science* **100**(6): 4258-4268.

- **Ortega-Anaya, J., & Hernández-Santoyo, A. (2016).** Production of bioactive conjugated linoleic acid by the multifunctional enolase from Lactobacillus plantarum. *International journal of biological macromolecules*, *91*, 524-535.
- **Özcelik, S., Kuley, E., & Özogul, F. (2016).** Formation of lactic, acetic, succinic, propionic, formic and butyric acid by lactic acid bacteria. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie (Food Science and Technology)*, *73*, 536-542

-P-

- **Paulo, E. M., Boffo, E. F., Branco, A., Valente, Â. M., Melo, I. S., Ferreira, A. G., ... & Assis, S. A. D. (2012).** Production, extraction and characterization of exopolysaccharides produced by the native Leuconostoc pseudomesenteroides R2 strain. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *84*(2), 495-508.
- **Patel, A., & Prajapat, J. B. (2013).** Food and health applications of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *Advances in Dairy Research*, 1-8.
- **Pandit, A., Anand, S., Kalscheur, K., & Hassan, A. (2012).** Production of conjugated linoleic acid by lactic acid bacteria in milk without any additional substrate. *International journal of dairy technology*, *65*(4), 603-608.
- **Patton, G. C., & Van Der Donk, W. A. (2005).** New developments in lantibiotic biosynthesis and mode of action. *Current opinion in microbiology*, *8*(5), 543-551
- **Pei, J., Jin, W., Abd El-Aty, A. M., Baranenko, D. A., Gou, X., Zhang, H., ... & Yue, T. (2020).** Isolation, purification, and structural identification of a new bacteriocin made by Lactobacillus plantarum found in conventional kombucha. *Food Control*, *110*, 106923.
- **Privat, K., & Thonart, P. (2011).** Action des cultures protectrices: cas des germes lactiques sur la flore alimentaire indésirable. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, *15*(2), 339-348.

-Q-

- **Qiao, X., Du, R., Wang, Y. U., Han, Y. E., & Zhou, Z. (2020)**. Purification, characterization and mode of action of enterocin, a novel bacteriocin produced by Enterococcus faecium TJUQ1. *International journal of biological macromolecules*, *144*, 151-159.
- **Quinto, E. J., Jiménez, P., Caro, I., Tejero, J., Mateo, J., & Girbés, T. (2014).** Probiotic lactic acid bacteria: a review. *Food and Nutrition Sciences*, *5*(18), 1765.

-R-

- **Reis, J. A., Paula, A. T., Casarotti, S. N., & Penna, A. L. B. (2012).** Lactic acid bacteria antimicrobial compound: characteristics and applications. *Food Engineering Reviews*, *4*(2), 124-140.
- **Rodríguez-Alcalá, L. M., Braga, T., Malcata, F. X., Gomes, A., & Fontecha, J. (2011).** Quantitative and qualitative determination of CLA produced by Bifidobacterium and lactic acid bacteria by combining spectrophotometric and Ag+-HPLC techniques. *Food Chemistry*, *125*(4), 1373-1378.
- **Rousseau, V. (2004).** Evaluation d'oligosaccharides à effet prébiotique vis-à-vis de la microflore vaginale. Thèse de Doctoral dissertation, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. p.33.
- **Rossi, M., Amaretti, A., & Raimondi, S. (2011).** Folate production by probiotic bacteria. *Nutrients*, *3*(1), 118-134.

-S-

- **Savadogo A et Traore AS (2011).** La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(5): 2057-2075.
- **Sanalibaba, P., & Çakmak, G. A. (2016).** Exopolysaccharides production by lactic acid bacteria. *Applied Microbiology Open Access*, *2*(1000115).

- **Schaefer, L., Auchtung, T.A., Hermans, K.E., Whitehead, D., Borhan, B., Britton, R.A.,(2010).** The antimicrobial compound reuterin (3-hydroxypropionaldehyde) induces oxidative stress via interaction with thiol groups. *Microbiology* 156,1589-1599.
- **Selhub, J. (2002).** Folate, vitamin B12 and vitamin B6 and one carbon metabolism. *The journal of nutrition, health & aging*, *6*(1), 39-42.
- **Shi, C., & Knøchel, S. (2021).** Susceptibility of dairy associated molds towards microbial metabolites with focus on the response to diacetyl. *Food Control*, *121*, 107573.
- **Sosa-Castañeda, J., Hernández-Mendoza, A., Astiazarán-García, H., Garcia, H. S., Estrada-Montoya, M. C., González-Córdova, A. F., & Vallejo-Cordoba, B. (2015).** Screening of Lactobacillus strains for their ability to produce conjugated linoleic acid in milk and to adhere to the intestinal tract. *Journal of dairy science*, *98*(10), 6651-6659.
- **Stevens, M., & Vollenweider, S. (2010).** The potential of reuterin produced by Lactobacillus reuteri as a broad spectrum preservative in food. U: Protective Cultures, Antimicrobial Metabolites and Bacteriophages for Food and Beverage Biopreservation, (Lacroix, C., ured.).
- **Šušković, J., Kos, B., Beganović, J., Leboš Pavunc, A., Habjanič, K., & Matošić, S. (2010).** Antimicrobial activity–the most important property of probiotic and starter lactic acid bacteria. *Food Technology and Biotechnology*, *48*(3), 296-307.

-T-

- **Tahlaiti, H.** Étude des propriétés technologiques et inhibitrices de bactéries lactiques isolées à partir de blé fermenté (Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis), p26.
- **Terán, V., Pizarro, P. L., Zacarías, M. F., Vinderola, G., Medina, R., & Van Nieuwenhove, C. (2015).** Production of conjugated dienoic and trienoic fatty acids by lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Journal of Functional Foods*, *19*, 417-425.
- **Tian, H., Shi, Y., Zhang, Y., Yu, H., Mu, H., & Chen, C. (2019)**. Screening of aroma-producing lactic acid bacteria and their application in improving the aromatic profile of yogurt. *Journal of Food Biochemistry*, *43*(10), e12837.

- **Tkhruni, F. N., Aghajanyan, A. E., Balabekyan, T. R., Khachatryan, T. V., & Karapetyan, K. J. (2020).** Characteristic of bacteriocins of Lactobacillus rhamnosus BTK 20-12 potential probiotic strain. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, *12*(2), 716-724.

-𝒱-

- **Vollenweider, S., Evers, S., Zurbriggen, K., R Lacroix, C., (2010)**. Unraveling the hydroxypropionaldehyde (HPA) system: an active antimicrobial agent against human pathogens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58, 10315e10322.

-𝒲-

- **Walhe Rajan, A., Patole Milind, S., & Diwanay Sham, S. (2021**). Vitamin B12 production and cholesterol reduction activity of Pediococcus pentosaceus isolates from fermented Indian foods. *Research Journal of Chemistry and Environment .Vol*, *25*, 4.
- **Wakil, S. M., Laba, S. A., & Fasika, S. A. (2014)**. Isolation and identification of antimicrobial-producing lactic acid bacteria from fermented cucumber. *African Journal of Biotechnology*, *13*(25).
- **Wu, W., & Zhang, B. (2019).** Lactic acid bacteria and b vitamins. In *Lactic Acid Bacteria* (pp. 43-60). Springer, Singapore.

-𝒳-

- **Xue, Z., Hessler, C. M., Panmanee, W., Hassett, D. J., & Seo, Y. (2013).** Pseudomonas aeruginosa inactivation mechanism is affected by capsular extracellular polymeric substances reactivity with chlorine and monochloramine. *FEMS Microbiology Ecology*, *83*(1), 101-111.
- **Xu, Y., Cui, Y., Yue, F., Liu, L., Shan, Y., Liu, B., ... & Lü, X. (2019).** Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and Bifidobacteria: Structures,

physiochemical functions and applications in the food industry. *Food Hydrocolloids*, *94*, 475-499.

-Z-

- **Zhang, J., Cai, D., Yang, M., Hao, Y., Zhu, Y., Chen, Z., & Yang, Z. (2020).** Screening of folate-producing lactic acid bacteria and modulatory effects of folate-biofortified yogurt on gut dysbacteriosis of folate-deficient rats. *Food & Function*, *11*(7), 6308-6318.
- **Zhang, Y., Yang, J., Liu, Y., Wu, Y., Fang, Z., Wang, Y., & Xiao, L. (2020).** A novel bacteriocin PE-ZYB1 produced by Pediococcus pentosaceus zy-B isolated from intestine of Mimachlamys nobilis: Purification, identification and its anti-listerial action. *Lwt*, *118*, 108760.
- **Zalán, Z., Hudáček, J., Štětina, J., Chumchalová, J., & Halász, A. (2010)**. Production of organic acids by Lactobacillus strains in three different media. *European Food Research and Technology*, *230*(3), 395-404.
- **Zacharof, M. P., & Lovitt, R. W. (2012).** Bacteriocins produced by lactic acid bacteria a review article. *Apcbee Procedia*, *2*, 50-56.
- **Zendo, T., Ohashi, C., Maeno, S., Piao, X., Salminen, S., Sonomoto, K., & Endo, A. (2020).** Kunkecin A, a new nisin variant bacteriocin produced by the fructophilic lactic acid bacterium, *Apilactobacillus kunkeei* FF30-6 isolated from honey bees. *Frontiers in Microbiology*, 11, 2130.

Réalisé par :	**Président: Mr. Y. RAHMOUNE**
Saba Hassiba	**Examinatrice : Dr. S. AKROUM**
Boumezaid Sarra	**Encadreur : Dr. S. ALIOUA**

Thème : Les principaux biomolécules actives produits par les bactéries lactiques

Résumé

Les bactéries lactiques sont largement utilisées comme des agents protecteurs par leurs productions de différentes biomolécules actives. Ces dernières confèrent des avantages pour la conservation des produits alimentaires ainsi pour l'amélioration de leurs qualités nutritionnelles.

L'objectif de notre travail, à travers l'analyse des articles scientifiques, est de recenser les connaissances concernant les biomolécules actives produites par les bactéries lactiques. Trois bases de données informatisées (Scopus, Springer Link et Elsevier) ont été sondées pour répertorier les études. Quarantes neuf articles répondant aux critères d'inclusion ont été retenus. Les résultats de ces études ont montré que les bactéries lactiques sont considérées comme une bonne solution pour lutter contre la contamination alimentaire par la production des acides organiques, vitamines, acides gras, bactériocines, reuterine, arômes et exopolysaccharides. Cela consiste, à l'amélioration de la qualité nutritionnelle, organoleptique et hygiénique par l'inhibition des micro-organismes pathogènes, l'activité probiotique, l'élaboration de la texture et la dégradation des composés toxiques.

Mots clés : biomolécules actives, analyse des articles, produits alimentaires.

Abstract

Lactic acid bacteria are widely used as protective agents by their production of various active biomolecules. These latter confer advantage for the preservation of food products as well as for the improvement of their nutritional qualities.

The objective of our work, through the analysis of scientific articles, is to identify the knowledge concerning the active biomolecules produced by lactic acid bacteria. Three computer databases (Scopus, Springer Link and Elsevier) were searched to list the studies. Forty-nine articles meeting the inclusion criteria were selected. The results of these studies have shown that lactic acid bacteria are considered as a good solution to fight against food contamination by the production of organic acids, vitamins, fatty acids, bacteriocins, reuterin, flavors and exopolysaccharides. This consists of improving the nutritional, organoleptic and hygienic quality by inhibiting pathogenic microorganisms, probiotic activity, and the development of texture and the degradation of toxic compound.

Key words: active biomolecules, article analysis, food products.

الملخص

تستخدم بكتيريا حمض اللاكتيك على نطاق واسع كعوامل وقائية عن طريق إنتاج جزيئات حيوية نشطة مختلفة. هذه الاخيرة تمنح فوائد للحفاظ على المنتجات الغداية و كذلك لتحسين النوعية الغذائية.

الهدف من عملنا، من خلال تحليل المقالات العلمية، هو تحديد المعرفة المتعلقة بالجزيئات الحيوية النشطة التي تنتجها بكتيريا حمض اللاكتيك. تم البحث في ثلاث قواعد بيانات حاسوبية (Elseivier, Springer Link, Scopus) لادراج الدراسات. تم اختيار تسعة و أربعون مقالا تفي بمعايير التضمين. اظهرت نتاءج هده الدراسات ان بكتيريا حمض اللاكتيك تعتبر حلا جيدا لمحاربة تلوث الطعام عن طريق انتاج الاحماض العضوية، الفيتامينات، الاحماض الدهنية،

البكتيريوسينات، الروثورين، النكهات و متعدد السكريات الخارجية. يعمل هؤلاء على تحسين جودة النوعية الغذائية والحسية والصحية عن طريق تثبيط الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض ، ونشاط الكائنات الحية المجهرية ، وتطور الملمس وتحلل المركبات السامة.

الكلمات المفتاحية: الجزيئات الحيوية ، تحليل المقالات، المنتجات الغذائية.