



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie

قسم : الميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

**Suivi de la fermentation spontanée du riz et valorisation de son
eau usée pour la croissance des probiotiques**

Présenté par : MESSAADI Meriem Houria.

Le : 15/06/2025

MALKI Yara.

Jury d'évaluation :

Présidente : ARABET Dallel (MC(A) - U Constantine 1 Frères Mentouri).

Encadrante : DERABLI Bisma (MC(B) - U Constantine 1 Frères Mentouri).

Examinatrice : BOUFERCHA Oumeima (MC(B) - U Constantine 1 Frères Mentouri).

**Année universitaire
2024 - 2025**

Remerciements

Avant tout, nous exprimons notre profonde gratitude envers Dieu, qui nous a accordé la force, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à Madame le **Dr. DERABLI Besma**, Maître de Conférences classe B, notre encadrante, pour son accompagnement précieux tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Sa rigueur scientifique, ses conseils éclairés et sa disponibilité constante ont largement contribué à la richesse de notre réflexion et à faire de ce travail une expérience formatrice inoubliable. Au-delà de l'encadrement académique, nous avons été profondément marquées par son éthique, sa patience et son exigence bienveillante. Ce mémoire doit beaucoup à son implication attentive. Qu'elle trouve ici l'expression de notre reconnaissance la plus sincère et la plus respectueuse.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Madame le **Dr. ARABET Dallel**, Maître de Conférences classe A, présidente du jury, pour avoir présidé cette soutenance avec rigueur, bienveillance et professionnalisme.*

*Nos remerciements sincères s'adressent également à Madame le **Dr. BOUFERCHA Oumeima**, Maître de Conférences classe B, examinatrice, pour l'attention attentive portée à ce mémoire ainsi que pour ses remarques pertinentes et enrichissantes, qui ont contribué à l'amélioration de notre travail.*

Nous sommes honorées par votre présence et vous remercions chaleureusement pour le temps précieux que vous avez bien voulu consacrer à l'évaluation de ce travail.

*Nous tenons à remercier vivement **l'ensemble de nos enseignants**, qui nous ont transmis leur savoir et guidés tout au long de notre parcours universitaire. Leurs enseignements ont constitué un socle solide sur lequel s'est appuyé notre travail.*

*Nous exprimons aussi notre remerciement à **Madame Soumia**, ingénieure de laboratoire pédagogique huit, pour son aide technique précieuse et son soutien constant durant la phase expérimentale.*

Enfin, nos pensées vont à toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien, de près ou de loin, tout au long de cette aventure.

Merci !

Dédicace

À mes parents,

Pour votre patience infinie face à mes silences,

Pour vos sacrifices discrets mais immenses,

*Et pour vos paroles d'encouragement, toujours présentes, même quand tout
semblait m'échapper.*

*Dans les périodes de doute, de fatigue ou de découragement, c'est votre foi en
moi qui m'a portée.*

Ce travail n'est pas seulement le fruit d'un parcours scientifique,

*Il est aussi le témoignage silencieux de votre amour, votre persévérance, et votre
lumière dans mes jours sombres.*

Avec toute ma reconnaissance, et du fond du cœur, merci.

Meriem

Dédicace

À mes parents,

Je tiens à vous remercier du fond du cœur. Vous m'avez transmis des valeurs solides, un sens aigu de responsabilité ainsi qu'une rigueur qui ont structuré mon parcours. Merci également pour votre amour inconditionnel, votre soutien constant, et tous les sacrifices que vous faites chaque jour. Vous êtes ma force, mon inspiration et mon repère.

À mes deux sœurs,

Merci pour votre présence discrète mais essentielle, votre écoute attentive, et votre capacité à me ramener à l'essentiel, même dans les moments d'incertitude.

À mon frère,

Je te remercie pour tes encouragements simples mais toujours opportuns, et pour ta manière d'être présent, sans détour.

À chacun de vous,

Merci pour ce que vous avez apporté à mon évolution, chacun à votre manière.

Yara

Résumé

Dans un contexte de transition vers des produits cosmétiques plus naturels, durables et efficaces, la fermentation de matières premières végétales suscite un intérêt croissant. Ce travail visait à valoriser le riz et son eau usée, enrichi en coproduits alimentaires, comme substrats de fermentation pour une application cosmétique à potentiel antimicrobien. Deux approches ont été explorées : en premier lieu, une fermentation spontanée suivie d'une fermentation contrôlée du riz par une levure endogène, pour améliorer sa texture et son aptitude à une application topique ; en deuxième lieu, une co-fermentation de milieux à base d'eau de riz usée, enrichis en écorce de grenade, en mucilage de graines de lin et en lactosérum, avec des probiotiques (*Lactobacillus acidophilus* ; *Lactobacillus plantarum* ; *Bifidobacterium lactis* ; *Bifidobacterium breve* ; *Saccharomyces cerevisiae*). Les résultats ont montré que la fermentation contrôlée améliore sensiblement la texture du riz, et que les synbiotiques développés dans l'eau de riz usée améliorent l'activité antibactérienne contre des bacilles résistantes au traitement thermique, surtout en présence d'écorce de grenade. Ces travaux démontrent le potentiel des matrices fermentées de riz comme ingrédients cosmétiques fonctionnels et illustrent l'intérêt de la valorisation des sous-produits alimentaires dans une logique d'économie circulaire. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour évaluer la stabilité physico-chimique, caractériser les composés bioactifs générés et valider leur efficacité sur des modèles cutanés.

Mots clés : riz, fermentation spontanée, fermentation contrôlée, eau de riz usée, activité antibactérienne, probiotiques.

ملخص

في ظل التوجه العالمي نحو استخدام مستحضرات تجميل طبيعية، فعالة وأكثر استدامة، تبرز أهمية تخمير المواد النباتية كخيار مبتكر وواعد. يهدف هذا البحث إلى استغلال الأرز وماء صرفه، بعد تدعيمهما ببعض المخلفات الغذائية، كركائز للتخمير موجه نحو تطبيقات تجميلية ذات خصائص مضادة للميكروبات. تم اعتماد منهجين مختلفين : الأول تمثل في تخمير تلقائي متبوع بتخمير موجه للأرز باستخدام خميرة ذات منشأ داخلي بهدف تحسين قوامه وملاءمته للاستخدام الموضعي، أما الثاني فقد اعتمد على تخمير مشترك لماء صرف الأرز، بعد تدعيمه بقشور الرمان، والمخاط المستخرج من بذور الكتان، ومصل اللبن، باستخدام سلالات بروبيوتيكية (*Lactobacillus acidophilus*، *Lactobacillus plantarum*، *Bifidobacterium lactis*، *Bifidobacterium breve*، *Saccharomyces cerevisiae*). أظهرت النتائج أن التخمير الموجه حسن من قوام الأرز بشكل ملحوظ، كما بيّنت التراكمات المخمرة الناتجة أن ماء صرف الأرز له القدرة على دعم نمو الكائنات البروبيوتيكية إلى جانب نشاط مضاد للبكتيريا ملحوظ ضد سلالة عصوية مقاومة للمعالجة الحرارية، خصوصًا في وجود قشور الرمان. تؤكد هذه النتائج إمكانية استخدام الأرز ومستخلصاته المخمرة كمكونات فعالة في مستحضرات التجميل، كما تبرز أهمية تثمين المخلفات الغذائية ضمن إطار الاقتصاد الدائري. وتبقى الحاجة قائمة إلى دراسات إضافية لتقييم الاستقرار الفيزيائي والكيميائي لهذه المستحضرات، وتحديد المركبات النشطة حيويًا، والتأكد من فعاليتها على نماذج جلدية.

كلمات مفتاحية : الأرز، التخمير التلقائي، تخمير موجه، مياه صرف الأرز، نشاط مضاد للبكتيريا، بروبيوتيك.

Abstract

In the context of the transition toward more natural, sustainable, and efficacious cosmetic formulations, the fermentation of plant-based raw materials is attracting growing interest. This study aimed to valorize rice and its wastewater, enriched with food by-products, as fermentation substrates for a cosmetic application with antimicrobial potential. Two approaches were explored : first, a spontaneous fermentation followed by a controlled fermentation of rice using an endogenous yeast, to improve its texture and suitability for topical application; second, a co-fermentation of rice wastewater-based media, enriched with pomegranate peel, flaxseed mucilage, and whey, using probiotic strains (*Lactobacillus acidophilus* ; *Lactobacillus plantarum* ; *Bifidobacterium lactis* ; *Bifidobacterium breve* ; *Saccharomyces cerevisiae*). The results showed that controlled fermentation significantly improved the texture of the rice, and that the resulting co-fermentates demonstrated the ability of rice wastewater to support probiotic growth and exhibited notable antibacterial activity against a heat-resistant bacillary strain, especially in the presence of pomegranate peel. These findings highlight the potential of fermented rice matrices as functional cosmetic ingredients and underscore the value of food by-product valorization within a circular economy framework. Further research is needed to evaluate the physicochemical stability, characterize the bioactive compounds generated, and validate their efficacy on skin models.

Keywords : rice, spontaneous fermentation, controlled fermentation, rice wastewater, antibacterial activity, probiotics.

Liste de figures

Figure 1 : Évolution du microbiote cutané chez les individus en bonne santé au fil des années	4
Figure 2 : Suivi du changement du riz au fil du temps.	29
Figure 3 : Effet de la concentration initiale du riz sur le changement du pH.....	30
Figure 4 : Observation macroscopique post-incubation d'isolement des microorganismes. ...	31
Figure 5 : Observation macroscopique et microscopiques des microorganismes de riz fermenté.	31
Figure 6 : Suivi des observations macroscopiques de la fermentation spontanée du riz rincé et non rincé (T=0-28j).	32
Figure 7 : Suivi du pH au fil de temps lors de fermentation spontanée de riz rincé et non rincé.	33
Figure 8 : Isolement de la flore responsable de la fermentation de riz sur milieu GN au fil du temps.	36
Figure 9 : Observation microscopique d'une levure isolée à partir du riz rincé.	36
Figure 10 : Suivi du pH des différents types des fermentations.....	37
Figure 11 : Observation macroscopique des différents types de fermentation de riz.	38
Figure 12 : Texture du riz et de la crème de riz après fermentation.	39
Figure 13 : L'effet de tyndallisation sur l'eau de riz usée.	39
Figure 14 : Isolement d'eau de riz usée sur GN.	40
Figure 15 : Observation macroscopique des souches isolées à partir des probiotiques commercialisés sur les milieux MRS, M17 et GN.	40
Figure 16 : Evaluation de la densité optique des levures avec/sans ajout du sucre en fonction des ratios.	42
Figure 17 : Evaluation de la densité optique des différentes solutions en fonction des ratios.	42
Figure 18 : Evaluation du pH des différentes solutions en fonction des ratios.	43
Figure 19 : Evaluation de pH des levures avec/sans ajout du sucre en fonction des ratios. ...	43
Figure 20 : Effet de la fermentation de l'eau de riz par les probiotiques.....	44
Figure 21 : Solutions de macération des graines de lin.	45
Figure 22 : Observation macroscopique d'isolement des microorganismes de graines de lin sur les milieux de cultures PDA et PCA.	46
Figure 23 : Macération des déchets alimentaire.	47
Figure 24 : Résultat du traitement thermique des graines de lin.	47

Figure 25 : Effet de mucilage sur la formation de biofilm.....	48
Figure 26 : Effet de différents substrats végétaux sur la croissance des bactéries lactiques et des levures	49
Figure 27 : Effet des déchets alimentaires sur la croissance des probiotiques.....	50
Figure 28 : Test de l'activité antimicrobienne sur milieu Mueller Hinton.	53
Figure 29 : Résultat de repiquage de <i>S. aureus</i> sur milieu Chapman.....	53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Ingrédients courants des crèmes hydratantes.	8
Tableau 2 : Principaux Composés bioactifs issu de la fermentation du riz.	11
Tableau 3 : Micro-organismes utilisés comme probiotiques	14
Tableau 4 : Quelques prébiotiques et leurs sources naturelles	15
Tableau 5 : Un plan d'expériences de type Plackett-Burman pour étudier le potentiel prébiotique des extraits des déchets alimentaires.	26
Tableau 6 : Matrice expérimentale de Plackett-Brumen.	51
Tableau 7 : Analyse de régression des résultats.....	51

Liste des abréviations

EPS : exopolysaccharides.

FOS : fructo-oligosaccharides.

GN : Gélose Nutritive.

GOS : galacto-oligosaccharides.

ISAPP : *International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics.*

MRS : *Man, Rogasa and Sharpe Agar.*

PCA : *Plate Count Agar.*

PDA : *Potato Dextrose Agar.*

PDB : *Potato Dextrose Broth.*

UHT : ultra haute température.

UV : ultra-violette.

YDC : *Yeast Dextrose Calcium.*

Table de matières

Liste de figures.....	vii
Liste des tableaux	x
Liste des abréviations.....	x
Introduction	1

Synthèse bibliographique

1 Microbiote cutané.....	3
1.1 Généralités.....	3
1.2 Microbiote cutané commensal.....	4
1.3 Microorganismes cutanés pathogènes	6
2 Crèmes hydratantes	7
2.1 Généralités.....	7
2.1.1 Formulation et composition des crèmes hydratantes	7
2.1.2 Impact des composés chimiques sur les choix des consommateurs.....	9
2.2 Crèmes hydratantes à la base de riz.....	10
2.3 Effet antimicrobien des crèmes hydratantes.....	12
3 Effet des probiotiques et des prébiotiques sur la production des ingrédients bioactifs	13
3.1 Généralités.....	13
3.1.1 Probiotiques.....	13
3.1.2 Prébiotiques	14
3.1.3 Synbiotique.....	16
3.2 Ingrédients bioactifs	16
3.2.1 Acide lactique.....	16
3.2.2 Bactériocines	17
3.2.3 Polysaccharides	17
3.2.4 Enzymes	18

3.2.5	Vitamines.....	18
3.2.6	Antioxydants	19
3.2.7	Facteurs de croissance	19
3.3	Effet de synbiotiques sur la production des ingrédients bioactifs	20

Matériel et méthodes

1	Fermentation spontanée de riz	21
1.1	Effet de la concentration initiale sur la qualité organoleptique de riz.....	21
1.2	Isolement des microorganismes endogènes du riz	21
1.3	Effet du rinçage sur la fermentation spontanée de riz	22
1.4	Effet de la fermentation contrôlée sur la texture du riz	22
2	Valorisation de l'eau de riz usée	23
2.1	Préparation et stérilisation des eaux de riz usées	23
2.2	Réhydratation et isolement des probiotiques.....	23
2.3	Inoculation des eaux de riz usées par les probiotiques.....	23
3	Etude de l'effet des prébiotiques sur la croissance des probiotiques.....	24
3.1	Préparation des extraits des prébiotiques	24
3.1.1	Préparation des extraits de graines de lin	24
3.1.2	Préparation des extraits de résidus alimentaires.....	24
3.2	Test de l'effet des extraits des prébiotiques sur la formation d'un biofilm des probiotiques	25
3.3	Criblage des prébiotiques sur la croissance des probiotiques	25
4	Etude de l'activité antimicrobienne des probiotiques sur l'eau de riz usée enrichi par les prébiotiques	27
5	Méthodes analytiques.....	27
5.1	Mesure de la biomasse	27
5.2	Révélation d'une formation d'un biofilm.....	27
6	Méthodes d'analyse et de visualisation des données	28

Résultats et discussion

1	Fermentation spontanée de riz	29
1.1	Effet de la concentration initiale sur la qualité organoleptique de riz.....	29
1.2	Isolement des microorganismes endogènes du riz	30
1.3	Effet du rinçage sur la fermentation spontanée de riz	32
1.3.1	Observation macroscopique	32
1.3.2	Effet du rinçage sur la flore endogène du riz	34
1.4	Effet de la fermentation contrôlée sur la texture du riz.....	37
1.5	Evaluation de la texture d'une crème à base de riz fermenté	38
2	Valorisation de l'eau de riz usée	39
2.1	Préparation et stérilisation des eaux de riz usées	39
2.2	Réhydratation et isolement des probiotiques.....	40
2.3	Inoculation des eaux de riz usées par les probiotiques.....	41
3	Etude de l'effet des prébiotiques sur la croissance des probiotiques.....	45
3.1	Préparation des extraits des prébiotiques	45
3.1.1	Préparation des extraits de graines de lin	45
3.1.2	Préparation des extraits de résidus alimentaires.....	46
3.2	Test de l'effet des extraits des prébiotiques sur la formation d'un biofilm des probiotiques	47
3.3	Test de l'effet des extraits des déchets alimentaires sur la croissance des probiotiques	48
3.4	Criblage des prébiotiques sur la croissance des probiotiques	50
4	Etude de l'activité antimicrobienne des probiotiques sur l'eau de riz usée enrichi par les prébiotiques	52
	Conclusion.....	54
	Références bibliographiques	56
	Annexes.....	I

Introduction

Introduction

Dans un contexte de recherche d'alternatives naturelles, durables et biologiquement actives, les produits fermentés suscitent un intérêt croissant dans le domaine cosmétique. La fermentation, en tant que procédé biotechnologique contrôlé impliquant des micro-organismes bénéfiques, permet la transformation de matières premières végétales en extraits riches en composés bioactifs aux propriétés antioxydantes, hydratantes, anti-inflammatoires ou apaisantes (**Perez-Rivero et Lopez-Gomez, 2023 ; Yang et al., 2025**). Parmi les substrats explorés, le riz et son eau occupent une place particulière en raison de leur usage traditionnel en soins de la peau en Asie, et de leur composition naturellement riche en amidon, vitamines du groupe B, minéraux et acides aminés (**Barsagade et al., 2020 ; Yang et al., 2025**).

L'introduction de micro-organismes probiotiques tels que *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* dans ces matrices permet non seulement d'augmenter la biodisponibilité des nutriments, mais aussi de générer de nouveaux métabolites fonctionnels présentant un intérêt cosmétique tel que les acides organiques, les peptides antimicrobiens, et les exopolysaccharides aux effets protecteurs et régénérateurs cutanés (**Dou et al., 2023**).

Cependant, la croissance et l'activité de ces souches probiotiques dans des substrats comme l'eau de riz dépendent de la disponibilité en nutriments assimilables. D'où l'intérêt d'ajouter des coproduits agroalimentaires qui peuvent jouer un rôle prébiotique (**Pop et al., 2021**). La valorisation de ces sous-produits, souvent considérés comme des déchets, s'inscrit dans une approche d'économie circulaire répondant à la fois aux enjeux environnementaux et à la demande en produits cosmétiques naturels, écoresponsables et efficaces.

Les extraits fermentés suscitent un intérêt croissant dans le domaine des soins de la peau. Cependant, peu d'études ont combiné la fermentation du riz avec l'utilisation de souches microbiennes endogènes pour améliorer la texture et la composition biochimique du riz à des fins cosmétiques. Par ailleurs, l'usage de l'eau de riz usée fermentée, enrichie en probiotiques et en sous-produits végétaux, reste peu exploré. Cette approche pourrait pourtant augmenter la teneur en molécules bioactives et renforcer l'activité antimicrobienne. Les travaux portant sur ces applications en cosmétique demeurent encore très limités.

Ce travail de recherche a pour objectif principal d'explorer le potentiel de la fermentation du riz et de son eau usée à des fins cosmétiques. Il s'agit, dans un premier temps, d'évaluer l'effet de la fermentation spontanée sur la texture du riz, puis d'améliorer cette texture par une fermentation contrôlée. Parallèlement, l'étude vise à analyser la croissance de souches probiotiques dans des milieux à base d'eau de riz usée enrichie en coproduits alimentaires sélectionnés, en vue de produire des extraits fermentés présentant un potentiel antimicrobien.

Ce mémoire est structuré en trois parties. La première est consacrée à une revue bibliographique, abordant les généralités sur le microbiote cutané, les crèmes hydratantes, ainsi que le rôle des probiotiques et prébiotiques dans la production de composés bioactifs d'intérêt cosmétique. La seconde partie présente le matériel et les méthodes expérimentales mises en œuvre au cours de ce travail. Enfin, la troisième partie est dédiée à la présentation des résultats obtenus, accompagnée de leur analyse et de leur discussion à la lumière des données de la littérature.

Synthèse bibliographique

1 Microbiote cutané

1.1 Généralités

La peau est constituée de trois couches principales : l'épiderme, le derme et l'hypoderme. L'épiderme, tissu épithélial externe, se divise en cinq couches. Ces couches sont disposées de l'extérieur vers l'intérieur, allant de la couche cornée jusqu'à la couche basale : la couche cornée (*stratum corneum*), la couche claire (*stratum lucidum*), la couche granuleuse (*stratum granulosum*), la couche épineuse (*stratum spinosum*) et la couche basale (*stratum basale*). Il joue un rôle clé dans la pigmentation cutanée, via les mélanocytes, ainsi que dans la kératinisation, grâce aux kératinocytes. Le derme, situé sous l'épiderme, est un tissu conjonctif subdivisé en deux couches : la couche papillaire, composée essentiellement de tissu conjonctif lâche, et la couche réticulaire, constituée de tissu conjonctif dense. Il contient des fibroblastes, impliqués dans la synthèse de collagène, d'élastine et de glycosaminoglycanes, ainsi que des follicules pileux, des terminaisons nerveuses, des vaisseaux sanguins, et des glandes sudoripares. Enfin, l'hypoderme, couche la plus profonde de la peau, est constitué de tissu adipeux et conjonctif organisés en lobules graisseux (**Michalak et al., 2021**).

La peau humaine, en tant que plus grand organe du corps, joue un rôle essentiel dans la protection contre les agressions extérieures. Elle constitue une barrière physique et immunologique contre les agents biologiques, chimiques et physiques, limitant ainsi les effets des blessures et des infections. Par ailleurs, elle contribue à la préservation des tissus internes tout en régulant les échanges indispensables au maintien de l'homéostasie (**Michalak et al., 2021**). En outre, la peau joue un rôle essentiel dans la thermorégulation, la prévention de la perte hydrique et la synthèse de la vitamine D (**Cheng et Hata, 2020**). Elle abrite également un microbiome cutané équilibré, un élément clé de son bon fonctionnement. Ce microbiome est composé d'une diversité de micro-organismes, incluant des bactéries, des champignons, des virus, des micro-organismes eucaryotes tels que les acariens, ainsi que des archées et des phages, ces micro-organismes interagissent de manière dynamique pour préserver l'intégrité et la santé cutanée (**Skowron et al., 2021**).

1.2 Microbiote cutané commensal

Dans un contexte cutané sain, les micro-organismes dominants sont principalement des bactéries, regroupées en quatre phyla majeurs : Actinobacteria (51,8 %), Firmicutes (24,4 %), Proteobacteria (16,5 %) et Bacteroidetes (6,3 %) (**Zhang et al., 2024**). Ces proportions évoluent tout au long de la vie humaine, de la naissance au vieillissement (**Figure 1**). Parmi les genres bactériens commensaux les plus courants figurent *Corynebacterium*, *Cutibacterium*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Streptococcus* et *Acinetobacter* (**Grice, 2015 ; Andersen, 2018 ; Cundell, 2018 ; Buerger, 2020**). En parallèle, le microbiote cutané comprend également des champignons appartenant aux phylums *Ascomycota* et *Basidiomycota*, dont le genre *Malassezia* est le plus représenté (**Li et al., 2018 ; Skowron et al., 2021**). De plus, les acariens du genre *Demodex*, notamment *Demodex folliculorum* et *Demodex brevis*, colonisent préférentiellement les zones cutanées riches en glandes sébacées (**Patra et al., 2016**). Bien que ces acariens soient généralement considérés comme des commensaux, mais leur prolifération excessive peut être associée à des affections cutanées telles que la rosacée (**Patra et al., 2016**). Par ailleurs, les phages représentent une autre composante essentielle du microbiome cutané. Bien que, leur biomasse dans les échantillons cutanés soit relativement faible, leur rôle dans la modulation de la composition et de la physiologie du microbiome cutané est de plus en plus étudié, bien que les données disponibles restent limitées (**Manrique et al., 2016**). Sachant que la diversité, l'abondance et la répartition de ces microorganismes à la surface de la peau sont modulées par divers facteurs intrinsèques et extrinsèques (**Boxberger et al., 2021 ; Skowron et al., 2021**).

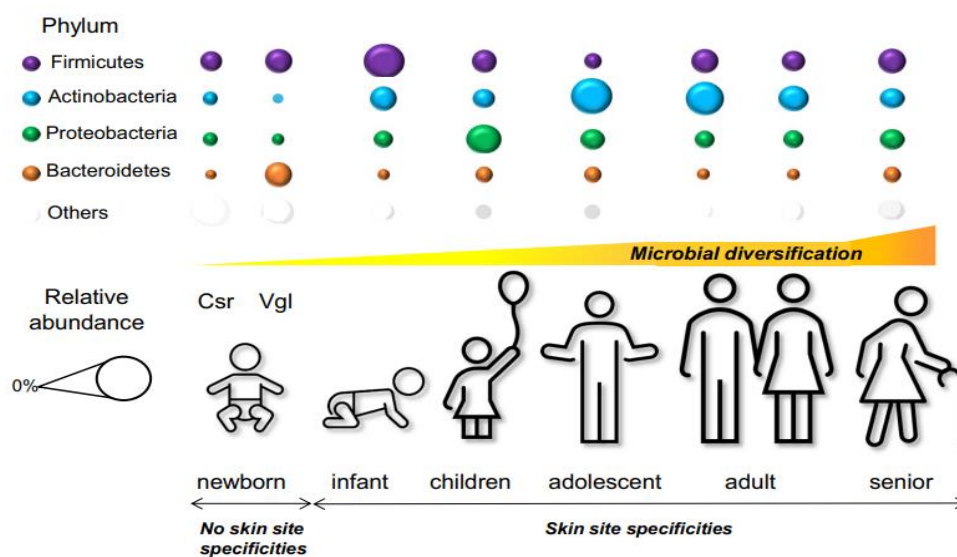


Figure 1 : Évolution du microbiote cutané chez les individus en bonne santé au fil des années (**Luna, 2020**).

La flore commensale cutanée regroupe l'ensemble des espèces bactériennes résidentes et dominantes, interagissant activement avec les cellules de la peau pour prévenir les infections et moduler la réponse immunitaire **(Eyerich et al., 2018)**. Ces interactions s'opèrent par divers mécanismes, notamment par la colonisation de la surface cutanée, limitant ainsi l'invasion des agents pathogènes opportunistes. Certaines souches de staphylocoques à coagulase négative ont la capacité d'inhiber *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) en produisant des peptides antimicrobiens **(Nakatsuji et al., 2017)**. *Staphylococcus epidermidis* (*S. epidermidis*), qui représente plus de 90 % du microbiote aérobie cutané, renforce également l'activité antimicrobienne en sécrétant des peptides antimicrobiens, en inhibant la formation de biofilms par *S. aureus* et en stimulant l'activité anti-inflammatoire par la production d'acide lipoteichoïque **(Prescott et al., 2017)**. Par ailleurs, *Cutibacterium acnes* (*C. acnes*) joue un rôle clé dans l'homéostasie cutanée en hydrolysant les lipides du sébum, ce qui libère des acides gras libres acidifiant la surface de la peau et empêchant ainsi la colonisation par des agents pathogènes externes **(Flowers et Grice, 2020)**. De plus, cette bactérie est capable de produire des thiopeptides aux propriétés antibiotiques contre les staphylocoques, en particulier au niveau des unités folliculaires des glandes sébacées **(Claesen et al., 2020)**.

Outre leur rôle compétitif, les bactéries commensales participent activement à la régulation de la différenciation épidermique par la production de divers métabolites. Parmi eux, les métabolites dérivés du tryptophane activent les récepteurs des hydrocarbures aromatiques, jouant un rôle central dans la modulation des réponses immunitaires, inflammatoires et métaboliques de la peau **(Yu et al., 2019 ; Uberoi et al., 2021)**. Par ailleurs, des études récentes ont mis en évidence un mécanisme de régulation bactérienne appelé *accessory gene regulator*, une voie de signalisation contrôlant les comportements des communautés bactériennes, en particulier ceux liés au *quorum sensing* de *S. aureus* **(Lin et al., 2025)**. Ce système joue un rôle déterminant dans l'adhésion bactérienne via la formation de biofilms et la régulation de l'expression des facteurs de virulence, influençant ainsi la capacité invasive de *S. aureus* **(Lin et al., 2025)**.

1.3 Microorganismes cutanés pathogènes

La majorité des maladies cutanées sont associées à un déséquilibre du microbiote cutané, induit par divers facteurs intrinsèques et extrinsèques, favorisant ainsi la transition des micro-organismes commensaux vers un état pathogène (Skowron et al., 2021). Par exemple, une augmentation de *S. epidermidis* joue un rôle clé dans la pathogenèse de la rosacée, en stimulant la prolifération des cellules mononucléaires du sang périphérique via ses antigènes, ce qui favorise l'inflammation (Two et al., 2015). De même, *C. acnes*, en situation de dysbiose microbienne, contribue à la survenue de l'acné vulgaire (Bolla et al., 2020). Par ailleurs, *S. aureus*, un micro-organisme pathogène opportuniste, est bien connu pour sa production des facteurs de virulence, notamment des toxines et des protéases telles que l'alpha-toxine (Zhang et al., 2024). Bien qu'il colonise normalement la peau de 10 à 20 % des individus en bonne santé, une prolifération excessive dans un contexte de dysbiose peut entraîner des infections cutanées, telles que la dermatite atopique, le psoriasis, et la dermatite du siège (Byrd et al., 2018 ; Brown et Horswill, 2020 ; Zhang et al., 2024).

Concernant le microbiote fongique, le genre *Malassezia*, une levure lipophile résidant principalement dans les zones riches en sébum (cuir chevelu, visage, dos et poitrine), fait partie de la flore cutanée normale (Grice et Dawson, 2017). Toutefois, dans certaines conditions, *Malassezia* peut adopter un comportement pathogène (Prohic et al., 2016). Son expansion excessive est impliquée dans la dermatite atopique et la dermatite séborrhéique, où elle active la réponse immunitaire via la production de protéines immunogènes, entraînant une inflammation exacerbée (Carmona-Cruz et al., 2022). Enfin, *Candida albicans* (*C. albicans*), une levure opportuniste, se distingue par sa capacité à adopter une forme filamenteuse, à former des biofilms et à produire des facteurs de virulence tels que des phospholipases et des protéases, contribuant ainsi à diverses infections cutanées (Lopes et Lionakis, 2022 ; Zhang et al., 2024).

2 Crèmes hydratantes

2.1 Généralités

Les cosmétiques regroupent l'ensemble des produits appliqués sur les parties externes du corps, formulés pour assurer des soins quotidiens en nettoyant, parfumant, protégeant et améliorant l'apparence de la peau (**Pérez-Rivero et López-Gómez, 2023**). Parmi les problématiques dermatologiques couramment traitées par ces produits, la sécheresse cutanée qui résulte de l'interaction de divers facteurs environnementaux et individuels, entraînant une altération de la fonction barrière cutanée et une perte excessive d'hydratation (**Mohiuddin, 2019**). Dans ce contexte, l'application des cosmétiques hydratants constitue une stratégie essentielle pour prévenir et traiter la sécheresse cutanée, y compris dans le cadre d'affections dermatologiques, telles que la dermatite atopique (**Giam et al., 2016**).

Ces produits jouent un rôle fondamental dans le maintien de l'hydratation, la restauration de la barrière cutanée et l'amélioration de l'état cutané (**Mawazi et al., 2022**). L'action principale des hydratants repose sur l'augmentation de la teneur en eau de la couche cornée, améliorant ainsi la souplesse de la peau. En complément, de leur fonction hydratante, ces produits possèdent des propriétés anti-inflammatoires, aidant à apaiser les irritations cutanées. Par ailleurs, certaines formulations modernes intègrent des ingrédients spécifiques dotés de propriétés antimicrobiennes, photoprotectrices, anti-âges et cicatrisantes, favorisant ainsi le confort cutané et une meilleure satisfaction psychologique (**Sethi et al., 2016**).

2.1.1 Formulation et composition des crèmes hydratantes

Les crèmes hydratantes sont formulées à partir d'une combinaison d'ingrédients actifs et d'excipients (**Tableau 1**), chacun ayant un rôle spécifique dans la stabilité et l'efficacité du produit (**Purnamawati et al., 2017**). Parmi ces composants, les agents hydratants occupent une place essentielle et se répartissent en trois catégories : les humectants, qui attirent l'eau de l'environnement ou des couches profondes de la peau afin d'augmenter l'hydratation de la couche cornée ; les occlusifs, qui limitent l'évaporation de l'eau en formant une barrière protectrice à la surface cutanée ; et les émollients, qui assouplissent et lissent la peau en restaurant les lipides de la couche cornée (**Purnamawati et al., 2017 ; Draelos, 2018 ; Mawazi et al., 2022**). En complément de ces agents, la formulation d'une crème hydratante nécessite l'ajout d'émulsifiants, qui stabilisent l'émulsion huile-eau ou eau-huile, ainsi que d'épaississants, qui influencent la viscosité et la texture du produit.

De plus, des conservateurs sont incorporés pour prévenir la contamination microbienne, tandis que des antioxydants protègent la formulation contre le stress oxydatif. Enfin, des parfums et colorants peuvent être ajoutés afin d'améliorer l'attrait sensoriel et esthétique du produit. (Lee et al., 2019 ; Barnes et al., 2021 ; Mawazi et al., 2022). Récemment, l'intégration des prébiotiques, probiotiques et postbiotiques dans les formulations cosmétiques est devenue de plus en plus populaire en raison de leurs divers effets bénéfiques scientifiquement prouvés sur la peau (da Silva Vale et al., 2023 ; Pérez-Rivero et López-Gómez, 2023).

Ces crèmes sont classées en deux types selon la structure de leur émulsion. Les crèmes huile-dans-eau sont constituées de petites gouttelettes d'huile dispersées dans une phase aqueuse continue. Elles sont considérées comme les plus hydratantes, car elles favorisent une absorption rapide et procurent une sensation légère sur la peau. À l'inverse, les crèmes eau-dans-huile sont composées de petites gouttelettes d'eau dispersées dans une phase huileuse continue. Grâce à leur structure, elles forment une barrière lipidique efficace qui réduit la perte en eau transépidermique, les rendant particulièrement adaptées aux peaux sèches ou aux conditions climatiques extrêmes. (Mohiuddin, 2019 ; Lalita et Shalini, 2020 ; Barnes et al., 2021).

Tableau 1 : Ingrédients courants des crèmes hydratantes (Mawazi et al., 2022).

Catégorie	Ingrédients
Émoullients	Émoullients gras (Octyl stéarate, huile de jojoba, propylène glycol, huile de ricin, glycéryl stéarate), émoullients secs (palmitate d'isopropyle, oléate de décyle, alcool isostéarylique), émoullients protecteurs (isostéarate d'isopropyle, dilinoléate de diisopropyle), émoullients astringents (octanoate d'octyle, cyclométhicone, myristate d'isopropyle, diméthicone).
Humectants	Acides alpha-hydroxylés (acide lactique, acide glycolique), glycérine (glycérol), acide pyrrolidone carboxylique de sodium, allantoïne, miel, panthénol, propylène glycol, butylène glycol, acide hyaluronique, lactate d'aluminium, lactate de sodium, urée, gélatine, sorbitol.

Tableau 1 : Ingrédients courants des crèmes hydratantes (Mawazi et al., 2022) (suite).

Catégorie	Ingrédients
Occlusifs	Hydrocarbures (Huile minérale, pétrolatum, triglycéride caprylique/caprique, paraffine, squalène), alcools gras (alcool stéarylique, alcool cétylique, lanoline), acides gras (acide stéarique, acide lanolinique). alcools polyhydriques (propylène glycol), cires végétales (candelilla, carnauba), phospholipides (lécithine), stérols (cholestérol), esters de cire (lanoline, cire d'abeille, stéarate de stéaryle).
Exfoliants	Acide lactique, urée, acide malique.
Épaississants	Carbomère, sorbitol, acide oléique, gomme xanthane, acide isostéarique, acide stéarique, glycéryl stéarate.
Tampons	NaOH, triéthanolamine, acide maléique, acide citrique.
Solvant	Eau
Conservateurs	Sorbate de potassium, huile de son de riz, phénoxyéthanol, propylparabène, méthylparabène, vitamine C (acide ascorbique).
Parfum	Parfum de noisette.
Colorants	Dioxyde de titane.
Émulsifiants	Alcool cétéarylique, monolaurate de sorbitane, alcool cétylique.

2.1.2 Impact des composés chimiques sur les choix des consommateurs

Le secteur de cosmétique connaît une croissance rapide, mais il fait face à des défis liés à l'origine et à l'impact de ses ingrédients ainsi qu'à ses méthodes de fabrication (Pérez-Rivero et López-Gómez, 2023). Certains conservateurs chimiques, tels que le triclosan et les parabènes, ont été interdits en raison de leurs effets délétères sur la santé humaine (Herman, 2019). Par ailleurs, plusieurs substances utilisées dans la formulation des crèmes, notamment l'hydroxytoluène butylé, la diazolidinylurée, le mercure, les huiles minérales, le polyéthylène glycol et les composés parfumés synthétiques, présentent des effets potentiellement toxiques, allergènes, génotoxiques et polluants (Alnuqaydan, 2024).

Actuellement, face à une prise de conscience accrue des impacts environnementaux et sanitaires des produits cosmétiques, les consommateurs favorisent de plus en plus des solutions naturelles, durables et respectueuses de l'environnement, ce qui s'accompagne d'une attention intensifiée à la composition des produits (**Ustymenko, 2023 ; Nhani et al., 2024**). Les produits formulés à partir d'ingrédients d'origine naturelle ou biologique suscitent un intérêt grandissant, répondant à un essor de la demande pour des formulations perçues comme plus saines et mieux tolérées par la peau (**Amberg et Fogarassy, 2019 ; Nguyen et al., 2020**).

Bien que le cosmétique en vente libre contienne depuis longtemps des ingrédients d'origine naturelle, l'évaluation rigoureuse de leur efficacité thérapeutique et de leurs effets biologiques sur la peau n'a débuté que récemment à travers des recherches scientifiques approfondies (**Nguyen et al., 2020**). Parallèlement, la fermentation émerge comme une technologie innovante en cosmétologie, permettant d'optimiser les performances des ingrédients cosmétiques, en améliorant la biodisponibilité des composés actifs et facilitant leur assimilation par la peau, tout en favorisant une approche plus respectueuse de l'environnement et répondre aux besoins des consommateurs (**Ahmad et al., 2020 ; Muniasamy et al., 2023 ; Pérez-Rivero et López-Gómez, 2023**).

2.2 Crèmes hydratantes à la base de riz

Le riz (*Oryza sativa*), deuxième céréale la plus cultivée au monde après le blé (**Ramos et al., 2023**), est un ingrédient prisé en cosmétique en raison de ses propriétés hydratantes et de son efficacité contre le vieillissement cutané (**Yang et al., 2025**). Sa richesse en composés bioactifs, lui confère un large éventail d'activités bénéfiques, telles que des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anti-pigmentation, en permettant l'amélioration de l'hydratation de la peau, et le renforcement de la barrière cutanée (**Marto et al., 2018 ; Abd Razak et al., 2019 ; Perez-Rivero et Lopez-Gomez, 2023 ; Ali et Hashim, 2024**). Il est également une excellente source de vitamines du groupe B, notamment la niacine (B3), essentielle pour maintenir une peau éclatante et en bonne santé (**Chaudhari et al., 2018 ; Zafar et Jianlong, 2023**).

Récemment, en réponse à une demande croissante de solutions durables et respectueuses de l'environnement, l'intégration du riz dans l'industrie cosmétique s'impose comme une approche efficace pour le développement de formulations innovantes (**Yang et al., 2025**).

À cet égard, les industries cosmétiques japonaises et sud-coréennes ont intégré l'eau de riz dans leurs formulations de soins du visage et ont recours à des procédés technologiques avancés afin d'optimiser son efficacité (**Barsagade et al., 2020**). Dans le cadre du développement biotechnologique, le riz fermenté émerge comme une source optimisée et riche en molécules bioactives (**Tableau 2**), où le processus de fermentation stimule la synthèse de nouveaux composés bioactifs, absents dans le riz brut, tout en augmentant la concentration des éléments déjà présents, améliorant ainsi ses propriétés bénéfiques pour la peau (**Sivamaruthi et al., 2018 ; Adebo et Gabriela Medina-Meza, 2020 ; Yang et al., 2025**).

Tableau 2 : Principaux Composés bioactifs issu de la fermentation du riz (**Yang et al., 2025**).

Catégorie de composés bioactifs	Composition générale (%)	Exemples de composés typiques
Acides aminés	10 - 30 %	Acide glutamique, lysine, glycine, sérine
Peptides	5 - 15 %	Glutathion, peptides de riz
Acides organiques	5 - 15 %	Acide lactique, acide citrique, acide malique
Polyphénols	1 - 5 %	Acide férulique, γ -oryzanol, acide phytique
Polysaccharides	15 - 30 %	Mannane, acide hyaluronique, β -glucanes
Vitamines et minéraux	1 - 5 %	Vitamine B, vitamine E, Magnésium, Phosphore, Sélénium, Zinc

Une étude a ainsi montré qu'un filtrat de riz brun fermenté avec *Saccharomyces cerevisiae* augmentait la production d'acide hyaluronique et stimulait la production de deux protéines clés pour l'hydratation de la peau, l'hyaluronane synthase 2 et l'aquaporine 3 (**Dai et al., 2024**). D'autres recherches ont mis en évidence l'efficacité d'une crème à base de riz brun germé pour améliorer l'hydratation de la peau, avec une excellente stabilité et une forte demande commerciale (**Jarupinthusophon et al., 2022**). Enfin, la montée en puissance des produits cosmétiques à base de riz, riches en composés phénoliques et acides aminés, illustre une tendance mondiale vers des soins de la peau plus durables et efficaces, faisant du riz fermenté un ingrédient clé pour l'avenir des formulations cosmétiques (**Jarupinthusophon et al., 2022 ; Yang et al., 2025**).

2.3 Effet antimicrobien des crèmes hydratantes

Les crèmes hydratantes, reconnues pour leur rôle essentiel dans le maintien de l'hydratation cutanée et la protection de la barrière cutanée, font l'objet d'un intérêt croissant en raison de l'intégration d'agents antimicrobiens visant à optimiser leur efficacité (**Sethi et al., 2016**). Tandis que les recherches actuelles se concentrent sur l'incorporation d'agents antimicrobiens naturels dans les formulations cosmétiques afin de renforcer leur protection contre les micro-organismes pathogènes (**Kočevár Glavač et Lunder, 2018**). Par ailleurs, les composés naturels tels que les polyphénols, les peptides, les huiles essentielles et les extraits de plantes, possèdent des propriétés antimicrobiennes, qui leur permettent de remplacer les agents synthétiques utilisés dans les cosmétiques, offrant ainsi des alternatives plus naturelles et potentiellement moins irritantes (**Ribeiro et al., 2015 ; Rybczyńska-Tkaczyk et al., 2023**). Par exemple, les extraits riches en composés phénoliques, ont montré une activité antimicrobienne en perturbant la structure des membranes cellulaires des micro-organismes, ce qui les rend efficaces contre des bactéries telles que *S. aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) (**Ribeiro et al., 2015**).

Dans ce contexte, la valorisation des résidus alimentaires, tels que les graines, marcs, écorces et feuilles, constitue une avancée majeure pour l'industrie cosmétique (**Silletta et al., 2024**). Des études ont mis en évidence l'efficacité antimicrobienne de divers extraits végétaux, notamment ceux issus des graines et de l'écorce de grenade ainsi que des graines de mangue, qui présentent une activité contre des agents pathogènes tels que *P. aeruginosa*, *Escherichia coli*, *S. aureus* et *C. albicans* (**El-Gied et al., 2015 ; Silletta et al., 2024**). De plus, l'extrait des feuilles de l'arbre de péqui (*Caryocar brasiliense Camb*) a révélé une activité antibactérienne significative contre plusieurs souches pathogènes, dont *S. aureus* et *P. aeruginosa* (**Ribeiro et al., 2015**).

Par ailleurs, l'incorporation de nanoparticules d'argent dans des crèmes hydratantes a également démontré des propriétés antimicrobiennes remarquables contre ces mêmes pathogènes (**Popova et al., 2022**). L'urée, un ingrédient naturel largement utilisé dans les formulations hydratantes, joue un rôle clé dans la régulation de la défense cutanée contre les micro-organismes. Elle contribue au maintien de l'intégrité de la barrière cutanée et stimule la production de peptides antimicrobiens, essentiels à la protection contre les infections, notamment dans des pathologies telles que la dermatite atopique (**Piquero-Casals et al., 2021**).

En outre, les crèmes hydratantes jouent un rôle crucial dans la prise en charge du psoriasis, une affection dans laquelle la rupture de la barrière cutanée favorise la colonisation par des micro-organismes pathogènes, en particulier *S. aureus*. L'application régulière de ces crèmes permet de restaurer l'intégrité de la barrière cutanée, de moduler la composition du microbiome cutané et de stimuler la production de peptides antimicrobiens. **(Piquero-Casals et al., 2021 ; Rajkumar et al., 2023)**. Enfin, une étude a révélé que l'utilisation d'un émollient pendant 84 jours entraînait une augmentation de la diversité bactérienne cutanée ainsi qu'une réduction de la présence de staphylocoques sur la peau lésée **(Rajkumar et al., 2023)**.

En combinant les propriétés des probiotiques et des prébiotiques, les synbiotiques favorisent la production d'une large gamme de composés bioactifs qui améliorent non seulement l'hydratation et l'élasticité de la peau, mais aussi ses défenses naturelles. Ces effets ouvrent ainsi des perspectives thérapeutiques prometteuses pour les soins dermatologiques. **(Markowiak et Śliżewska, 2017)**.

3 Effet des probiotiques et des prébiotiques sur la production des ingrédients bioactifs

3.1 Généralités

3.1.1 Probiotiques

Selon son étymologie grecque, le terme « probiotique » signifie « pour la vie », désignant ainsi toute substance ou micro-organisme favorisant la santé de l'hôte **(Zendeboodi et al., 2020)**. En 2001, l'Organisation mondiale de la santé et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture ont défini les probiotiques comme « des micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés en quantités adéquates, confèrent un bénéfice pour la santé de l'hôte » **(Markowiak et Śliżewska, 2018 ; Bustamante et al., 2020)**. Par ailleurs, Les probiotiques contribuent à la santé en inhibant la croissance des agents pathogènes, en maintenant l'équilibre du microbiote intestinal et en améliorant la digestion **(Sánchez et al., 2017 ; Markowiak et Śliżewska, 2018)**. De plus, ils peuvent exercer des effets bénéfiques sur d'autres systèmes corporels, notamment la peau, les voies respiratoires et le système urinaire **(Bustamante et al., 2020)**. Plus récemment, un probiotique a été défini comme « une cellule microbienne viable ou non viable (sous forme végétative ou sporulée, intacte ou lysée) présentant un potentiel bénéfique pour la santé de l'hôte » **(Zendeboodi et al., 2020)**.

Pour être considérés comme efficaces, les probiotiques doivent répondre à trois critères essentiels. En premier lieu, la souche utilisée doit être caractérisée génétiquement et phénotypiquement. De plus, le produit doit contenir lors de son utilisation, une quantité de micro-organismes vivants conforme aux niveaux ayant prouvé un effet bénéfique en clinique (soit moins de 500 UFC/g pour les produits cosmétiques oculaires et moins de 1000 UFC/g pour les autres cosmétiques). En dernier lieu, pour une utilisation humaine, la méthode d'administration, le dosage et la durée d'application doivent être validés par des études cliniques (Dou et al., 2023). En revanche les probiotiques sont largement distribués et regroupent une grande diversité d'espèces (Tableau 3), parmi lesquelles les *Lactobacillus* et les *Bifidobacterium* sont les plus courantes (Milani et al., 2017 ; Kerry et al., 2018).

Tableau 3 : Micro-organismes utilisés comme probiotiques (Kerry et al., 2018).

Genre de probiotique	Souches
<i>Lactobacillus</i>	<i>L. plantarum</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. crispatus</i> , <i>L. gasseri</i> , <i>L. reuteri</i> , <i>L. bulgaricus</i>
<i>Lactococcus</i>	<i>L. lactis</i> , <i>L. reuteri</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. curvatus</i> , <i>L. plantarum</i>
<i>Bifidobacterium</i>	<i>B. longum</i> , <i>B. catenulatum</i> , <i>B. breve</i> , <i>B. animalis</i> , <i>B. bifidum</i>
<i>Streptococcus</i>	<i>S. sanguis</i> , <i>S. oralis</i> , <i>S. mitis</i> , <i>S. thermophilus</i> , <i>S. salivarius</i>
<i>Bacillus</i>	<i>B. coagulans</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>B. laterosporus</i>
<i>Propionibacterium</i>	<i>P. jensenii</i> , <i>P. freudenreichii</i>
<i>Pediococcus</i>	<i>P. acidilactici</i> , <i>P. pentosaceus</i>
<i>Enterococcus</i>	<i>E. faecium</i>
<i>Bacteroides</i>	<i>B. uniformis</i>
<i>Saccharomyces</i>	<i>S. cerevisiae</i> , <i>S. boulardii</i>

3.1.2 Prébiotiques

L'approfondissement des recherches sur les probiotiques a conduit à l'émergence du concept de prébiotiques. Le préfixe *pré-* est issu du latin *prae*, signifiant « avant », et le terme « prébiotique » fait ainsi référence à une existence antérieure à la vie (Mackinlay, 2022). L'International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) définit les prébiotiques comme « un substrat utilisé de manière sélective par les micro-organismes de l'hôte, conférant un bénéfice pour la santé » (Gibson et al., 2017).

Bien que l'administration orale soit la plus courante, les prébiotiques peuvent également être appliqués localement sur d'autres zones du corps abritant des communautés microbiennes, telles que la peau et le tractus vaginal (**Gibson et al., 2017**). Les prébiotiques proviennent principalement de sources naturelles (**Tableau 4**), notamment les légumes, les fruits et les grains intégrés à l'alimentation quotidienne (**Kerry et al., 2018**). Ces substances, difficiles à digérer et à absorber par l'organisme, sont reconnues pour leurs effets bénéfiques sur la flore intestinale, en particulier en stimulant la croissance des bifidobactéries (**Ambrogi et al., 2021**).

Tableau 4 : Quelques prébiotiques et leurs sources naturelles (**Kerry et al., 2018**).

Prébiotiques	Source naturelle
Fructo-oligosaccharides	Oignon, Ail, Topinambour, Artichaut, Poireau, Asperge, Chicorée, Blé, Avoine
Inulin	Oignon, Ail, Topinambour, Artichaut, Gave, Banane, Bardane, Camas, Chicorée, Echinacée, Costus, Pissenlit, Aunée, Jicama, Arnica, Racine d'armoise, Igname sauvage, Yacón.
Isomalto-oligosaccharides	Miso, Saké, Sauce de soja, Miel.
Lactulose	Lait écrémé
Lactosucrose	Sucre du lait
Galacto-oligosaccharides	Lentille, Haricot de Lima, Haricot rouge, Pois chiche, Pois vert, Lait maternel.
Xylo-oligosaccharides	Fruits, Légumes, Pousse de bambou, Lait, Miel
Arabinoxylan	Son de graminées
Oligosaccharides d'arabinoxylane	Céréales

3.1.3 Synbiotique

Le terme « synbiotique » est issu du préfixe grec *syn*, signifiant « ensemble », et du suffixe *biotique*, qui fait référence à la vie (Swanson et al., 2020). Actuellement, un synbiotique désigne une combinaison de probiotiques et de prébiotiques visant à optimiser leurs effets bénéfiques sur la santé (Kerry et al., 2018). Selon ISAPP, un synbiotique est défini comme « un mélange comprenant des micro-organismes vivants et un ou plusieurs substrats utilisés de manière sélective par le microbiote de l'hôte, conférant un bénéfice pour sa santé ». Dans cette définition, le microbiote de l'hôte inclut à la fois des espèces autochtones, qui résident ou colonisent l'organisme, et des espèces allochtones, introduites de manière externe, telles que les probiotiques (Swanson et al., 2020). On distingue deux types de synbiotiques : les synbiotiques complémentaires et les synbiotiques synergiques. Les synbiotiques complémentaires associent un probiotique et un prébiotique procurant des bienfaits pour la santé, sans nécessiter une interaction fonctionnelle spécifique. En revanche, les synbiotiques synergiques comprennent un substrat spécifiquement utilisé par les micro-organismes co-administrés, maximisant ainsi l'efficacité de l'ensemble (Swanson et al., 2020).

3.2 Ingrédients bioactifs

Les métabolites bioactifs, tels que l'acide lactique, les bactériocines, les polysaccharides, ainsi que diverses enzymes et vitamines, constituent les principales molécules bioactives produites par les bactéries lactiques au cours de la fermentation. Chacun de ces composés contribue spécifiquement à la valorisation des produits alimentaires et à la santé humaine (Sørensen et al., 2022 ; Abdul Hakim et al., 2023). De plus, ils soutiennent la santé cutanée en renforçant l'hydratation de la peau, en retardant le processus de vieillissement, et en favorisant une apparence plus jeune et en bonne santé (Michalak et al., 2021).

3.2.1 Acide lactique

L'acide lactique, un acide organique appartenant à la famille des Alpha-Hydroxy-Acides, joue un rôle crucial dans la régulation du microbiote cutané et l'hydratation de la peau. Il maintient un pH acide, limitant ainsi la prolifération des micro-organismes pathogènes tout en favorisant la croissance des bactéries bénéfiques, telles que *Lactobacillus* (Lolou et Panayiotidis, 2019). Produit par ces bactéries, l'acide lactique existe sous plusieurs formes stéréoisomériques, dont le L (+) -acide lactique, qui est la forme biologiquement la plus active (Nawaz et al., 2017 ; Algiert-Zielińska et al., 2018).

Il contribue à la réduction de la perte insensible en eau à travers l'épiderme (*transepidermal water loss*), renforçant ainsi la barrière cutanée et améliorant l'hydratation, en particulier pour les peaux sèches (**Farage et al., 2017**). Grâce à ses multiples propriétés, l'acide lactique est largement utilisé en cosmétique pour ses effets hydratants, exfoliants, anti-âge et éclaircissants. Il agit notamment en inhibant la tyrosinase, une enzyme clé dans la production de mélanine (**Algieri-Zielińska et al., 2018 ; Rana et Thakur, 2025**).

3.2.2 Bactériocines

Les bactériocines sont des peptides antimicrobiens thermorésistants produits par des bactéries Gram-positives, Gram-négatives et certaines archées (**Hernández-González et al., 2021 ; Choi et al., 2023**). Ces molécules bioactives possèdent de puissantes propriétés antimicrobiennes, leur permettant d'inhiber un large éventail de micro-organismes, y compris les biofilms bactériens et les souches multirésistantes (**Hernández-González et al., 2021**). Les bactériocines sont classées en trois types : les lantibiotiques (classe I), qui contiennent de la lantionine (**Mokoena, 2017**) ; les non-lantibiotiques (classe II), qui perturbent les membranes cellulaires ; et les bactériocines de plus grande taille (classe III), telles que celles produites par *Lactobacillus helveticus* (**Abdul Hakim et al., 2023**). Leur mécanisme d'action repose principalement sur la formation de pores dans les membranes cellulaires, l'altération de leur intégrité ou l'interférence avec les processus de division cellulaire (**Lopetuso et al., 2019**). En outre, ces peptides peuvent également intervenir dans la signalisation cellulaire, renforçant ainsi les effets bénéfiques des bactéries productrices (**Wang et al., 2021**).

3.2.3 Polysaccharides

Les polysaccharides, présents chez les micro-organismes, les plantes et les animaux (**Yildiz et Karatas, 2018**), sont des biopolymères aux structures variées. Parmi eux, les exopolysaccharides (EPS) sont produits par les micro-organismes. Ces polymères, constitués de longues chaînes d'unités glucidiques, peuvent être des homopolysaccharides ou des hétéropolysaccharides, reliés par des liaisons α - ou β -glycosidiques (**Chugh et Kamal-Eldin, 2020**). Les polysaccharides offrent de multiples bienfaits, notamment des effets immunostimulants, hydratants, antioxydants et émulsifiants (**Indira et al., 2019 ; Pérez-Rivero et López-Gómez, 2023**). Certains, comme le pullulan, la gomme xanthane et le dextrane, sont utilisés en cosmétique pour leurs propriétés hydratantes et épaississantes, le pullulan étant particulièrement résistant aux variations de température et de pH (**Rana et Upadhyay, 2020**).

Par ailleurs, des polysaccharides dérivés des algues et des champignons, tels que l'hyaluronate de sodium et les bêta-glucanes, sont largement intégrés dans les soins de la peau en raison de leur capacité à maintenir l'hydratation et à renforcer les défenses naturelles de la peau contre les agressions environnementales (**Shahidi et Ambigaipalan, 2015**).

3.2.4 Enzymes

Les enzymes sont largement utilisées en cosmétique pour leurs effets hydratants, exfoliants et anti-âge. Elles favorisent l'élimination des cellules mortes de la peau, accélérant ainsi le renouvellement cellulaire, tout en contribuant à une peau plus lisse et lumineuse par l'élimination des impuretés et l'amélioration de la texture cutanée (**Ogawa et al., 2018 ; Michalak et al., 2021**). Parmi ces enzymes, les lysyl et prolyl hydroxylases, ainsi que les enzymes protéolytiques telles que la trypsine, la bromélaïne et la papaïne, jouent un rôle clé dans la régénération cutanée (**Pérez-Rivero et López-Gómez, 2023**). Certaines, comme la superoxyde dismutase, possèdent une activité antioxydante, neutralisant les radicaux libres et protégeant ainsi la peau des agressions environnementales (**Wang et al., 2018**). La trypsine contribue à l'élasticité cutanée en décomposant les liaisons peptidiques de l'élastine, ralentissant ainsi le vieillissement cutané (**He et al., 2024**). La bromélaïne, quant à elle, favorise l'exfoliation en éliminant les cellules mortes et en stimulant la régénération cellulaire (**He et al., 2024**), tandis que la papaïne réduit l'inflammation et élimine la kératine endommagée, améliorant ainsi la clarté et la douceur de la peau (**Trevisol et al., 2022**). En outre, certaines souches bactériennes, telles que *Streptococcus thermophilus* et *Streptococcus salivarius*, produisent des enzymes bénéfiques qui hydratent la peau, atténuent la sécheresse et ralentissent le vieillissement cutané (**Elmahdy et Maibach, 2017**).

3.2.5 Vitamines

Les vitamines sont des nutriments essentiels impliqués dans le métabolisme, la croissance, la réparation cellulaire et le bon fonctionnement du système immunitaire (**Indira et al., 2019**). Elles jouent un rôle fondamental dans la santé de la peau en favorisant la régénération cellulaire et en protégeant contre le vieillissement cutané. La vitamine A, notamment sous forme de rétinoïdes, régule la différenciation des kératinocytes et protège la peau contre le photovieillissement (**Khali et al., 2017 ; Michalak et al., 2021**). La vitamine C joue un rôle essentiel dans la synthèse du collagène et possède des propriétés éclaircissantes et photoprotectrices.

Par ailleurs, les vitamines du groupe B contribuent à la santé cutanée en participant au métabolisme cellulaire et en favorisant l'hydratation de la peau (**Dattola et al., 2020 ; Michalak et al., 2021**). La vitamine E, un antioxydant liposoluble, protège la peau contre le stress oxydatif, améliore son élasticité et joue un rôle clé dans la cicatrisation ainsi que dans le traitement des affections dermatologiques (**Lee et Han, 2018 ; Khadangi et Azzi, 2019**). Enfin, la vitamine K contribue à la cicatrisation des plaies en accélérant l'épithélialisation et en stimulant la production de collagène (**Nader et al., 2019**).

3.2.6 Antioxydants

Les antioxydants neutralisent les radicaux libres et réduisent le stress oxydatif, protégeant ainsi les cellules des altérations telles que la peroxydation des lipides, la dénaturation des protéines et les dommages à l'ADN (**Rani et al., 2021**). Ils exercent leur action par divers mécanismes, notamment la capture des radicaux libres, la réduction des ponts disulfure, la chélation des ions métalliques et l'activation des enzymes antioxydantes (**Gaisawat et al., 2019**). En cosmétique, les antioxydants sont utilisés comme conservateurs pour limiter l'oxydation des produits. Ils protègent également la peau contre les agressions extérieures, telles que les rayons UV et la pollution, tout en contribuant à la réduction de l'inflammation (**Choi et al., 2024**).

3.2.7 Facteurs de croissance

Les facteurs de croissance sont des protéines endogènes qui régulent la prolifération, la différenciation et le fonctionnement cellulaire. En synergie avec d'autres ingrédients bioactifs, ils restaurent l'intégrité cutanée et améliorent la santé de la peau. En particulier, les facteurs de croissance épidermiques jouent un rôle clé dans la synthèse du collagène, de l'élastine et de la matrice extracellulaire, contribuant ainsi à l'amélioration de l'élasticité et de l'hydratation de la peau, tout en réduisant l'apparition des rides et en ralentissant le vieillissement cutané. (**Eskens et Amin, 2021**). Par ailleurs, certains facteurs, tels que le facteur de croissance transformant bêta 1 et les interleukines (IL-1 et IL-10), participent à la modulation de la réponse immunitaire, à la réduction de l'inflammation et à la régénération tissulaire, favorisant ainsi la cicatrisation des plaies et l'amélioration de la texture cutanée (**Lolou et Panayiotidis, 2019**). Leur application en cosmétique a montré une efficacité notable dans le traitement des cicatrices, des vergetures et des signes de vieillissement, en stimulant la production de collagène et d'élastine (**Ogawa et al., 2018 ; Dou et al., 2023**).

3.3 Effet de synbiotiques sur la production des ingrédients bioactifs

Les synbiotiques, qui associent probiotiques et prébiotiques, jouent un rôle essentiel dans la production de molécules bioactives bénéfiques pour la santé de la peau. Les probiotiques tels que *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* et *Streptococcus* agissent en synergie avec des prébiotiques comme l'inuline, les fructo-oligosaccharides (FOS) et les galacto-oligosaccharides (GOS), qui servent de substrats nutritifs pour stimuler leur croissance (Markowiak et Śliżewska, 2017 ; Bustamante et al., 2020).

Parmi les combinaisons les plus répandues, l'association de bactéries du genre *Bifidobacterium* ou *Lactobacillus* avec des FOS est particulièrement populaire dans les formulations synbiotiques (Markowiak et Śliżewska, 2017). Cette interaction génère divers métabolites bioactifs, notamment des acides gras à chaîne courte, de l'acide lactique, ainsi que des bactériocines et des peptides antimicrobiens, qui contribuent à l'équilibre du microbiote cutané et à la protection contre les pathogènes, où les prébiotiques jouent un rôle clé en favorisant la production de ces molécules par les probiotiques (Hong et al., 2015 ; Chugh et Kamal-Eldin, 2020). Par exemple, certaines bactéries lactiques synthétisent plusieurs types de bactériocines, dont la nisine, reconnue pour son activité inhibitrice contre *S. aureus* (Chugh et Kamal-Eldin, 2020 ; Hernández-González et al., 2021).

De surcroît, les oligosaccharides favorisent la production d'acide hyaluronique, ce qui améliore l'hydratation et la souplesse de la peau. De plus, les GOS limitent la perte en eau et stimulent l'expression des protéines collagène de type I (Coll) et inhibiteur tissulaire des métalloprotéinases (TIMP-1), essentielles à la préservation du collagène (Lolou et Panayiotidis, 2019). En revanche, les probiotiques jouent un rôle clé dans l'équilibre du pH cutané, la synthèse du collagène et l'augmentation de la production d'acide hyaluronique, contribuant ainsi à renforcer l'élasticité et l'hydratation de la peau (Lee et al., 2018 ; Dou et al., 2023). Par exemple, *Lactobacillus plantarum* et *Bifidobacterium longum* ont notamment démontré des effets antioxydants, ralentissant le vieillissement cutané et favorisant la cicatrisation en stimulant la production de collagène (Hong et al., 2015 ; Lolou et Panayiotidis, 2019). En complément, les EPS produits par ces bactéries présentent des effets protecteurs contre les dommages oxydatifs et contribuent à ralentir les signes de vieillissement (Dou et al., 2023). Par ailleurs, certaines espèces des genres *Leuconostoc*, *Streptococcus* et *Lactobacillus* synthétisent des polysaccharides, tels que le dextrane, qui est utilisé comme agent hydratant et épaississant dans les formulations cosmétiques (Yildiz et Karatas, 2018).

Matériel et méthodes

Collection de la matière première

Le riz utilisé dans cette étude, est un riz blanc importé localement conditionné provient de supérette.

Lieu d'étude : L'étude a été réalisée au laboratoire pédagogique n°8 de Microbiologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Constantine 1 Frères Mentouri, située à Constantine, en Algérie.

Temps d'étude : L'étude a été conduite sur une période de quatre mois, allant de Février jusqu'au mois de Mai 2025.

Objectifs de l'étude

Les objectifs de ce travail sont :

- Etudier l'effet de la fermentation spontanée sur la texture du riz ;
- Améliorer la texture du riz fermenté par une fermentation contrôlée ;
- Améliorer l'activité antimicrobienne des probiotiques par la valorisation de l'eau de riz usée enrichie par des prébiotiques bon marché.

1 Fermentation spontanée de riz

1.1 Effet de la concentration initiale sur la qualité organoleptique de riz

Afin d'évaluer l'effet de la concentration sur la texture du produit fermenté, trois répétitions des solutions de riz de 5, 10 et 15 % (w/v) ont été préparées avec de l'eau minéralisée (**Annexe 1**). Ces solutions ont ensuite subi un traitement thermique au bain marie pendant 20 minutes. Les échantillons ont été transférés dans des bocaux stériles, puis incubés à température ambiante (environ 25 °C) pendant 30 jours (**Liu et al., 2020**). Des observations macroscopiques ont été réalisées chaque cinq jours, de J0 à J25. Le pH des différentes solutions fermentées a été mesuré à la fin de la fermentation.

1.2 Isolement des microorganismes endogènes du riz

Afin d'identifier les groupes microbiens fréquemment associés aux graines de riz cru, plusieurs ensemencements en surface en été réalisé : sur un milieu ordinaire gélose nutritive (GN), sur un milieu semi-sélectif *Potato Dextrose Agar* (PDA), sur des milieux sélectifs des phytopathogènes *Yeast Dextrose Calcium* (YDC) et du Levain (**Annexe 1**).

Pour mieux comprendre l'effet du traitement thermique et la fermentation sur les microorganismes, des grains de riz cuit et le riz fermenté (15% w/v) ont été ensemencés respectivement sur le milieu ordinaire GN. Les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 48 heures.

1.3 Effet du rinçage sur la fermentation spontanée de riz

Pour améliorer la texture du produit de fermentation obtenu à partir des résultats de la section 1.1, deux fermentations ont été réalisées à partir d'une solution de riz 15 % (w/v) :

- **Fermentation A** : riz non rincé avant cuisson.
- **Fermentation B** : riz rincé trois fois avant cuisson avec un rapport riz/eau de 1:2.

Les deux solutions ont subi un traitement thermique au bain-Marie pendant 20 minutes puis incubées à température ambiante pendant 28 jours. Un suivi du pH et des isollements microbiologiques sur milieu GN a été réalisé chaque semaine.

1.4 Effet de la fermentation contrôlée sur la texture du riz

Dans le but d'améliorer la texture du riz par fermentation contrôlée, une comparaison de différentes modalités de fermentation a été réalisée. Deux répétitions de solutions du riz à 15 % (w/v) ont été préparées conformément au protocole de fermentation B (section 1.3), puis soumises à cinq conditions d'inoculation microbienne distinctes :

- **Fermentation 1** : le riz a été inoculé par des colonies d'une souche bacillaire isolées du riz rincé cuit.
- **Fermentation 2** : le riz a été inoculé par des colonies d'une levure isolées du même riz.
- **Fermentation 3** : le riz a été inoculé par 5% (v/v) de la microflore issue de la fermentation spontanée de riz rincé au 14^{ème} jour.
- **Fermentation 4** : le riz a été inoculé par 5% (v/v) d'une cofermentation de l'eau de riz usée par des probiotiques commerciaux (bactéries lactiques et levures de boulangerie).
- **Fermentation 5** : le riz a été inoculé par 5% (v/v) d'un ratio de 1:1 composé d'une cofermentation de l'eau de riz usée par des probiotiques commerciaux et de microflore issue de la fermentation spontanée de riz rincé (14^{ème} jour).

Tous les échantillons ont été incubés à 37 °C pendant 7 jours. La texture finale du riz a été évaluée par observation visuelle, accompagnée d'une mesure du pH afin de comparer l'impact des différents inoculums.

A partir des résultats obtenus, une validation a été effectuée comme suit : Le riz a été inoculé avec 2,5 % (v/v) de la suspension de levure préalablement réhydratée dans l'eau de riz usée de ratio 1:1, puis incubé à 37 °C pendant 72 heures. À l'issue de cette incubation, les échantillons ont subi un traitement thermique au bain-Marie à 100 °C pendant une heure pour inactiver les formes végétatives. Le riz a ensuite été broyé afin d'obtenir une texture adaptée à la formulation de la crème.

2 Valorisation de l'eau de riz usée

A partir des résultats de la section 1.2 et afin de valoriser l'eau de riz usée pour améliorer la qualité antimicrobienne de la crème obtenue dans les sections précédentes :

2.1 Préparation et stérilisation des eaux de riz usées

L'eau de riz usée (eau du rinçage) a été récupérée, après un lavage trois fois successives selon différents ratios riz/eau (1:1, 1:2, 1:3 et 1:4) (w/v), selon la méthode de préparation des ratios décrite par **Nabayi et al. (2021)**, avec des modifications. Les différentes solutions obtenues ont ensuite été stérilisées par tyndallisation (30 minutes à 100 °C).

2.2 Réhydratation et isolement des probiotiques

Les probiotiques utilisés pour la fermentation ont été la levure de boulangerie commercialisée (*Saccharomyces cerevisiae*) et les bactéries lactiques d'un probiotique commercialisé sous forme lyophilisée (*Lactobacillus acidophilus* ; *Lactobacillus plantarum* ; *Bifidobacterium lactis* ; *Bifidobacterium breve*), où 0,5 g de levure est réhydratée dans 50 mL d'un bouillon *Potato Dextrose Broth* (PDB) modifié (**Annexe 1**), et une capsule de 0,3 g de probiotique est réhydratée dans 50 mL de lait UHT (**Annexe 1**), ensuite un ensemencement est effectué sur le milieu GN pour l'isolement de la levure et sur les milieux sélectifs *Man, Rogosa and Sharpe Agar* (MRS) et M17 (**Annexe 1**) pour les bactéries lactiques. Les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 48 heures.

2.3 Inoculation des eaux de riz usées par les probiotiques

Dans le but de connaître la capacité des probiotiques d'utiliser de l'amidon de l'eau de riz usée comme source de carbone. Deux répétitions de suspensions de 20 mL ont été préparées à partir de l'eau usée récupérée, et inoculées à partir des suspensions microbiennes réhydratée par un taux d'inoculum de 5% (v/v) (**Sood et al., 2011**) comme suit :

- **Fermentation par levures** : chaque ratio (1:1 ; 1:3 ; 1:4) d'eau de riz usée est inoculé par 5% (v/v) de la suspension réhydratée de levure en absence et en présence de 1% (w/v) de sucre.
- **Fermentation par bactéries lactiques** : chaque ratio (1:1 ; 1:3 ; 1:4) d'eau de riz usée est inoculé par 5% (v/v) de la suspension réhydratée de ces bactéries.
- **Cofermentation levures + bactéries lactiques** : chaque ratio (1:1 ; 1:3 ; 1:4) d'eau de riz usée est inoculé par 5% (v/v) d'un ratio de 1:1 (levure/bactéries lactiques) en absence et en présence de 1% (w/v) de sucre.

Toutes les suspensions ont été incubées à 37 °C pendant trois jours.

3 Etude de l'effet des prébiotiques sur la croissance des probiotiques

Pour améliorer la croissance et l'activité antimicrobienne des probiotiques (levure+ bactéries lactiques) sur l'eau de riz usée. Un enrichissement par des prébiotiques bon marché (graines de lin, écorces d'orange, de grenade, de carotte et de petits pois, tiges d'artichaut et lactosérum) était recommandé.

3.1 Préparation des extraits des prébiotiques

3.1.1 Préparation des extraits de graines de lin

Des solutions de graines de lin à des concentrations de 10 % (w/v) et 15 % (w/v) sont préparées en utilisant soit de l'eau minéralisée froide, soit de l'eau minéralisée bouillante (Şener, 2018), où les mélanges obtenus ont ensuite été soumis à deux protocoles de macération, l'un pendant 12 heures, l'autre pendant 72 heures, dans le but d'obtenir des extraits riches en composés potentiellement favorables à la croissance des probiotiques.

Afin d'évaluer la présence éventuelle de microorganismes contenus dans ces extraits, des échantillons ont été prélevés à partir des macérations de 12 heures (graines à 10 % dans l'eau froide et bouillante). Ces échantillons ont étéensemencés sur milieux PDA et *Plate Count Agar* (PCA), puis incubés à 37 °C pendant 48 heures.

3.1.2 Préparation des extraits de résidus alimentaires

15% (w/v) d'écorce de petits pois, d'orange, des tiges d'artichaut ont été obtenus par macération (72 heures à température ambiante) dans une eau minéralisée bouillante. Et un mélange synergique de 3 % (w/v) de chaque déchet alimentaire (écorce d'orange, petits pois, tige d'artichaut, grains de lin) + 3 % (v/v) de lactosérum issu du lait caillé, a été préparé.

3.2 Test de l'effet des extraits des prébiotiques sur la formation d'un biofilm des probiotiques

Afin d'évaluer l'effet de chaque extrait sur la formation d'un biofilm (levure ou bactéries lactiques) des probiotiques. 500 μ L des extraits de macération des résidus alimentaires préparés précédemment dans la section 3.1.2, ont été inoculés une fois avec des colonies d'une bactérie lactique et une fois avec des colonies d'une levure, puis incubés à 37 °C pendant 48 heures.

Concernant le mucilage de graines de lin, des concentrations de 10 % (w/v) et 15 % (w/v) sont préparées avec de l'eau minéralisée froide, puis soumises à un traitement thermique pendant 5 minutes afin de libérer le mucilage, puis des solutions ont été préparées comme suit :

- **Solution A** : 250 μ L de lait sont mélangés avec 200 μ L de la solution 10 % d'extrait de graines de lin après traitement thermique, puis inoculés avec une bactérie lactique *Lactococcus* préalablement isolée.
- **Solution B** : 250 μ L de lait sont mélangés avec une faible quantité de la solution 15 % d'extrait de graines de lin après traitement thermique, puis inoculés avec une bactérie lactique *Lactococcus* préalablement isolée.
- **Solution témoin (T)** : 500 μ L de lait sont inoculés avec une bactérie lactique *Lactococcus* sans ajout d'extrait de graines de lin.

Les échantillons sont incubés à 37 °C pendant 48 heures. Une fois l'incubation terminée, la formation du biofilm est évaluée par une coloration au cristal violet à 1% (w/v) (section 5.2).

3.3 Criblage des prébiotiques sur la croissance des probiotiques

Suite aux résultats de la section 3.1 et 3.2, un plan expérimental de Plackett-Burmen a été employé pour cribler l'effet de six variables indépendantes (prébiotiques) : écorces d'orange, écorces de grenade, écorces de carotte, tiges d'artichaut, mucilage de graines de lin et du lactosérum issu du lait caillé sur la croissance des probiotiques. Ce plan a permis d'évaluer l'impact individuel de chaque prébiotique en un nombre minimal d'expériences. Les six prébiotiques ont été ajoutés à la concentration optimale déterminée lors des tests préliminaires dans l'eau de riz ratio 1:1.

Le **tableau 5** présente la matrice expérimentale d'un plan de Plackett-Burmen utilisé pour cribler l'effet de six prébiotiques (variables) sur la croissance des probiotiques (réponse). Ce tableau est composé de 12 essais (lignes), soit un nombre de lignes supérieur au minimum requis pour $k+1$ essais (où k est le nombre de variables). Chaque colonne représente l'une de six variables codées ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$), chacune explorée à deux niveaux : un niveau bas -1 et un niveau haut +1. Ces niveaux correspondent aux présence/absence des prébiotiques.

Pour ce faire, deux répétitions d'un volume réactionnel de 20 mL d'eau de riz usée a été inoculé avec 5% (v/v) de chaque extrait pour un taux d'inoculum initial 10% (v/v) avec un ratio 1:1 levures : bactéries lactiques puis incubé à 37 °C pendant 72 heures.

La croissance microbienne a été évaluée par la mesure de la densité optique à 650 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, et par la mesure du pH final de la culture.

Tableau 5: Un plan d'expériences de type Plackett-Burman pour étudier le potentiel prébiotique des extraits des déchets alimentaires.

Expérience	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1	-1	+1	+1	-1	+1	-1
2	-1	-1	+1	+1	+1	-1
3	-1	+1	-1	-1	-1	+1
4	+1	+1	-1	+1	+1	-1
5	-1	-1	-1	-1	-1	-1
6	+1	-1	+1	-1	-1	-1
7	-1	-1	-1	+1	+1	+1
8	-1	+1	+1	+1	-1	+1
9	+1	-1	+1	+1	-1	+1
10	+1	+1	+1	-1	+1	+1
11	+1	-1	-1	-1	+1	+1
12	+1	+1	-1	+1	-1	-1

4 Etude de l'activité antimicrobienne des probiotiques sur l'eau de riz usée enrichi par les prébiotiques

Afin d'évaluer l'effet antimicrobien des probiotiques sur l'eau de riz enrichi par les prébiotiques, une série de manipulation a été effectuée comme suit : pour un volume de 20 mL d'eau de riz usée a été inoculé avec 1% sucre et un taux d'inoculum de probiotiques de 10% (1:1) (levure : bactéries lactiques) préalablement cultivées sur les milieux PDB modifié et lait UHT respectivement.

Test 1 : Témoin (sans prébiotique).

Test 2 : L'ajout de 5% d'un des prébiotiques : lactosérum, extrait de grenade ou mucilage des graines de lin

Test 3 : L'ajout de 10% des deux prébiotiques : lactosérum, extrait de grenade ou mucilage des grains de lin avec un ratio (1:1)

Test 4 : L'ajout de 15% des trois prébiotiques : lactosérum, extrait de grenade ou mucilage des graines de lin avec un ratio (1:1:1)

Toutes les cultures ont été incubées à 37 °C pendant cinq jours. L'activité antimicrobienne a ensuite été évaluée sur *S. aureus* en utilisant le milieu Mueller-Hinton, selon la méthode des puits en gélose. Des puits ont été réalisés dans les boîtes de Pétri contenant la gélose solidifiée, puis remplis avec des solutions fermentées préalablement préparées. Les boîtes ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 48 heures. La présence de zones d'inhibition a été observée afin d'évaluer l'effet antimicrobien des extraits.

5 Méthodes analytiques

5.1 Mesure de la biomasse

L'estimation de la biomasse a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis à une longueur d'onde de 600 nm (levure) (Sowbarnika et al., 2018) et 650 nm (bactérie lactique) (Rossi et al., 2021).

5.2 Révélation d'une formation d'un biofilm

La formation du biofilm a été révélée et quantifiée par la méthode de coloration au cristal violet. Pour ce faire, après une période d'incubation définie, les cultures ont été soigneusement rincées à trois reprises.

Une solution de cristal violet (1% w/v) a ensuite été ajoutée et laissée en contact avec les biofilms pendant 30 minutes à température ambiante. Après coloration, l'excès de colorant a été éliminé par plusieurs rinçages à l'eau distillée l'absorbance est mesurée à 570 nm (**Castro et al., 2022**).

6 Méthodes d'analyse et de visualisation des données

L'analyse des données statistique a été effectuée avec Minitab, et la visualisation des données par Origine avec Excel.

Résultats et discussion

1 Fermentation spontanée de riz

1.1 Effet de la concentration initiale sur la qualité organoleptique de riz

L'incubation des solutions de riz à 5, 10 et 15 % (w/v) pendant 25 jours a permis d'observer plusieurs changements progressifs (**Figure 2**). Dès le 10^{ème} jour, de petites bulles d'air ont commencé à apparaître à la surface des solutions qui est un signe évident du début de la fermentation et de la production de gaz par l'activité microbienne. Cette observation est en accord avec les résultats de **Du et al. (2024)**, qui ont démontré une production significative de gaz lors de la fermentation anaérobie de sous-produits du riz, confirmant le rôle des microorganismes dans ce processus. Ces bulles sont devenues de plus en plus nombreuses jusqu'au 15^{ème} jour, ce qui montre que les micro-organismes étaient en pleine activité. A partir du 20^{ème} jour, aucune modification visible ou significative n'a été observée, ce qui laisse penser que la fermentation avait atteint une certaine stabilité. Enfin, au 25^{ème} jour, on a observé une légère diminution du volume des bulles, surtout dans la solution à 5 %, ce qui pourrait indiquer que la fermentation commençait à ralentir, probablement à cause d'un manque de nutriments ou d'une accumulation de sous-produits gênants pour les micro-organismes (**Trchounian et Trchounian, 2019**). De plus les modifications observées montrent que la concentration 15% pourrait donner une bonne texture de crème.



Figure 2 : Suivi du changement du riz au fil du temps.

Après l'ouverture des bouchons de fermentation le 30^{ème} jour, une odeur acidulée a été constatée dans certains échantillons, et confirmée par la mesure du pH, la **figure 3** a montré que la concentration à 10 % (w/v) présente le pH le plus élevé ($\approx 5,2$), tandis que les concentrations à 5 % et 15 % (w/v) présentent des pH plus faibles $\approx 3,8$ et 4,7 respectivement. L'abaissement du pH observé au cours de la fermentation peut être attribué à la production d'acides organiques par les microorganismes impliqués. Ce phénomène est cohérent avec les résultats rapportés par **Liu et al. (2022)**, qui ont démontré la capacité de la flore fermentaire à générer des acides organiques lors de la fermentation spontanée de riz.

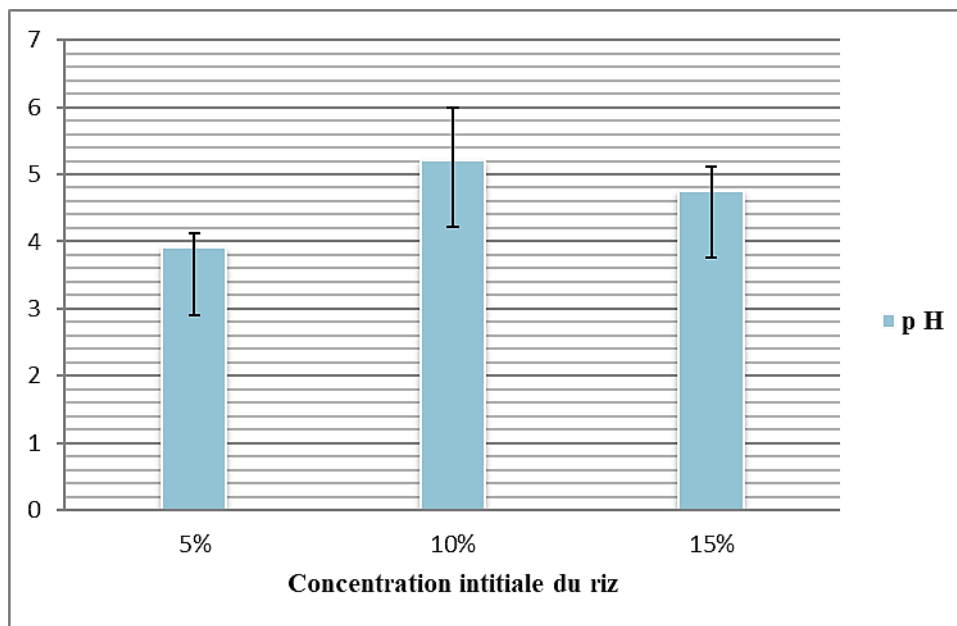


Figure 3 : Effet de la concentration initiale du riz sur le changement du pH.

1.2 Isolement des microorganismes endogènes du riz

Après incubation des grains du riz cru sur les milieux GN, PDA, YDC et Levain, 37 °C pendant 48 heures. Les résultats de l'observation macroscopique sont illustrés sur la **Figure 4** révèlent une croissance des levures sur le milieu GN. Cette croissance se manifeste par des colonies bien délimitées, de teinte beige à translucide, suggérant la présence de levures endogènes dans le riz. En revanche, aucune croissance visible n'a été observée sur le milieu semi sélectif PDA. De même, l'absence de développement microbien sur les milieux sélectifs YDC et levain, destiné à l'isolement des microorganismes phytopathogènes, suggère l'absence de ce type de flore dans l'échantillon analysé.

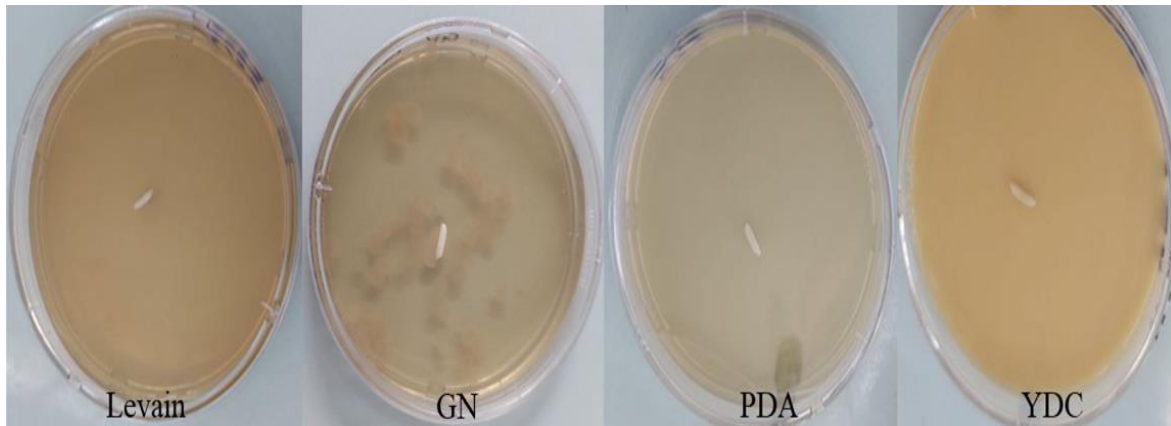


Figure 4 : Observation macroscopique post-incubation d'isolement des microorganismes.

Après une incubation de 48 heures à 37 °C des grains du riz fermenté, l'ensemencement en masse et en surface sur le milieu GN a révélé une charge microbienne élevée où dans les deux types d'isolement, un aspect dominant a été observé, caractérisé par des colonies opaques et irrégulières (**Figure 5**). Ce profil morphologique suggère que les micro-organismes isolés sont des aérobies-anaérobies facultatifs. Par ailleurs, l'observation microscopique après coloration de Gram a montré la présence de bacilles à Gram positif. Ces résultats orientent l'identification préliminaire des micro-organismes vers le genre *Bacillus*, connu pour son rôle fréquent dans la fermentation des aliments selon **Yoon et al. (2015)**.

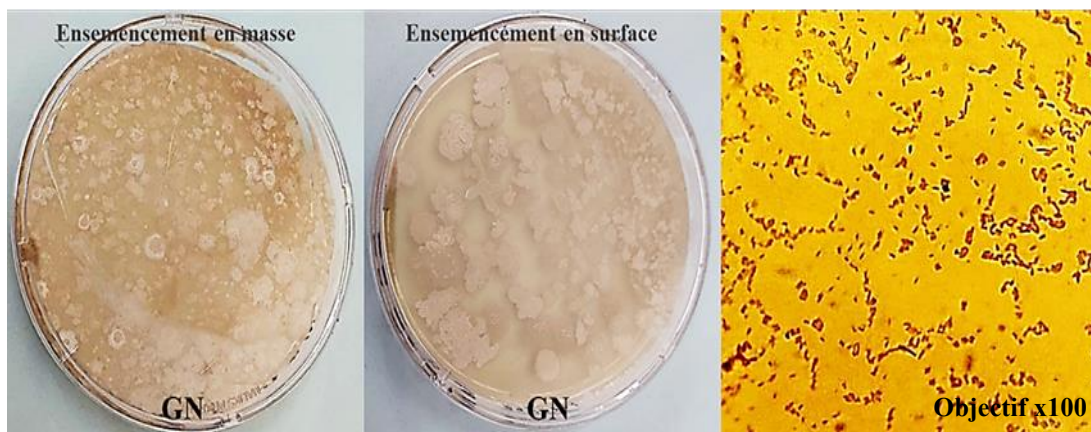


Figure 5 : Observation macroscopique et microscopiques des microorganismes de riz fermenté.

1.3 Effet du rinçage sur la fermentation spontanée de riz

1.3.1 Observation macroscopique

Au cours des 28 jours d'incubation, des observations hebdomadaires ont été réalisées sur des solutions de riz à 15 % (w/v), préparées à partir de riz rincé et non rincé, afin de suivre l'évolution de la fermentation spontanée (**Figure 6**). Dès le temps initial (T0), immédiatement après cuisson, une augmentation plus importante du volume des grains a été observée dans le cas du riz rincé, ce résultat suggère que le rinçage préalable améliore la texture du riz. Dès le 7^{ème} jour (T7), l'apparition de petites bulles à la surface des deux milieux a été constatée où elles ont été plus élevées dans le cas de riz non rincé, indiquant le début du processus de fermentation, probablement lié à l'activité microbienne endogène. Au fil du temps, les bulles de gaz sont restées visibles et ont augmenté en intensité, tandis qu'une diminution progressive du pH a été observée dans les deux milieux (**Figure 7**). Cette acidification, corrélée à l'activité microbienne, résulte de la production d'acides organiques par la flore fermentaire, ce qui témoigne de la poursuite du processus de fermentation. À partir du 28^{ème} jour (T28), l'absence de bulles dans les deux solutions a été constatée, ce qui suggère un arrêt du processus fermentaire, probablement en raison de l'épuisement des substrats ou de l'accumulation de métabolites inhibiteurs.

Sur le plan couleur, des différences chromatiques ont été notées entre les deux types de préparation, les grains de riz rincé ont conservé une teinte blanche uniforme, tandis que ceux du riz non rincé ont progressivement pris une coloration allant du blanc cassé au beige.

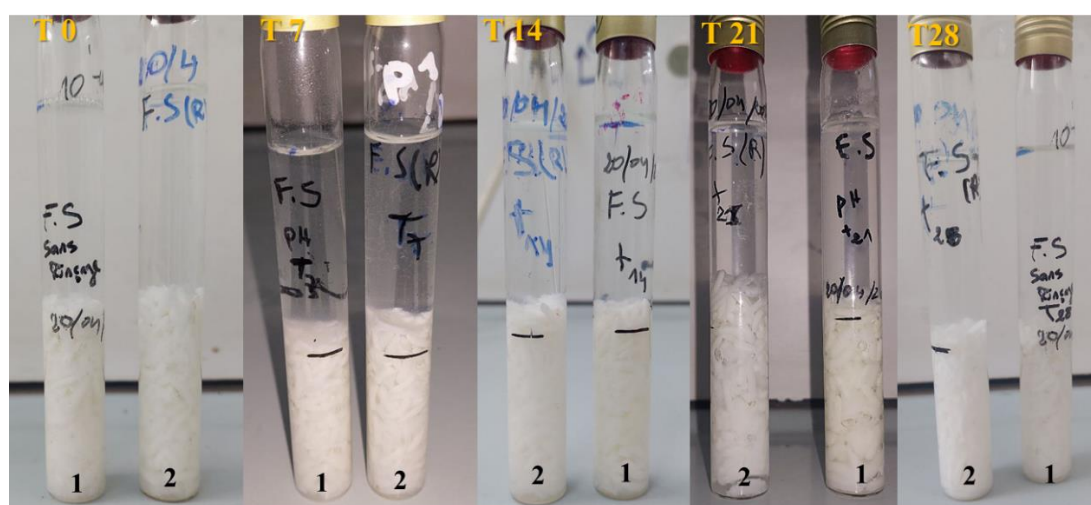


Figure 6 : Suivi des observations macroscopiques de la fermentation spontanée du riz rincé et non rincé (T=0-28j). 1 : fermentation du riz non rincé ; 2 : fermentation du riz rincé.

Les variations de pH présentées dans la **Figure 7** illustrent l'impact du rinçage du riz sur le pH initial ainsi que sur la cinétique de fermentation. Une élévation du pH initial a été observée dans l'échantillon rincé ($\approx 6,0$) par rapport à l'échantillon non rincé ($\approx 5,5$). Cette différence peut s'expliquer par l'élimination partielle de la microflore naturellement présente à la surface des grains, ainsi que de certains composés solubles acides. Durant la première phase de fermentation (T0–T7), une diminution rapide du pH est observée dans l'échantillon non rincé, indiquant une activité fermentaire plus précoce et plus intense. Cette acidification rapide pourrait être attribuée à une charge microbienne initiale plus élevée et à la dominance de micro-organismes acidogènes. Entre T7 et 14^{ème} jour (T14), une chute plus marquée du pH est enregistrée dans l'échantillon rincé, traduisant une activation différée mais significative de la flore fermentaire. Cette dynamique pourrait être liée à une période d'adaptation des micro-organismes résiduels ou à l'installation progressive d'une flore acidogène efficace. Enfin, entre T14 et T28, les deux échantillons présentent une baisse progressive du pH selon un rythme similaire, suggérant la stabilisation de la fermentation dans les deux milieux. Cela témoigne de l'établissement d'une communauté microbienne active et comparable, assurant la poursuite du processus fermentaire. Ces résultats indiquent que le rinçage, tout en modifiant le pH initial, ne compromet pas l'évolution globale de la fermentation. Au contraire, il pourrait permettre une obtention d'un produit plus stable et adapté à une application cosmétique.

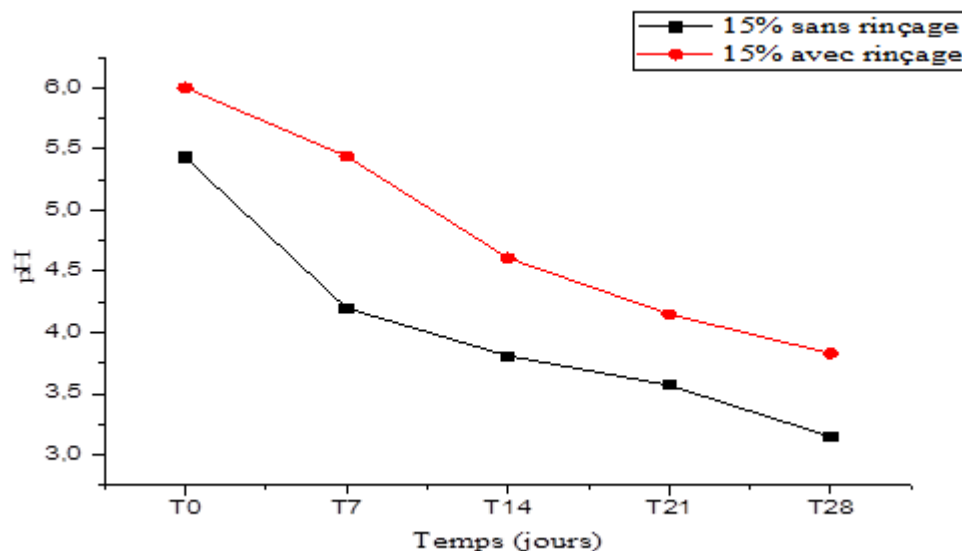


Figure 7 : Suivi du pH au fil de temps lors de fermentation spontanée de riz rincé et non rincé.

1.3.2 Effet du rinçage sur la flore endogène du riz

Après trois jours d'incubation à 37 °C, les isollements microbiens réalisés à partir des grains de riz issus des deux types de solutions (riz rincé et non rincé), durant les 28 jours de fermentation sur milieu GN (**Figure 8**), ont révélé à T0, une charge microbienne élevée dans la solution de riz non rincé. Cette flore était majoritairement constituée de bactéries en forme de bacilles. Cette dominance bacillaire s'est maintenue jusqu'au T7, suggérant une certaine stabilité de la communauté bactérienne dans ce milieu. Toutefois, au T14, une diminution significative de la population bacillaire a été observée, corrélée à une augmentation de la présence de levures, suggérant une inhibition compétitive exercée par ces dernières. Au 21^{ème} jour (T21), un renversement de la tendance a été observé, avec une reprise de la dominance bacillaire, indiquant la poursuite de la compétition microbienne au cours du processus fermentaire. Enfin, au T28, l'isolement microbien a révélé une prédominance des levures. Cette dominance pourrait être liée à leur tolérance accrue à l'acidification du milieu (**Figure 7**). En contrepartie, les bactéries en forme de bacilles pourraient être inhiber ou entrer en phase de sporulation en réponse à cette acidification, limitant ainsi leur croissance active. Cette dynamique favoriserait alors le développement des levures sur le milieu de culture.

En revanche, Dans la solution de riz rincé, les isollements réalisés à T0 ont révélé la co-présence de bacilles et de levures, où la présence de levure a été confirmée par une observation microscopique (**Figure 9**). Ce profil initial plus diversifié pourrait résulter de l'élimination partielle, lors du rinçage, de micro-organismes dominants, favorisant ainsi un environnement propice à la croissance conjointe des deux groupes. À T7, seules des colonies de bacilles ont été détectées, indiquant une possible régression temporaire des levures, probablement due à une compétition exercée par ces bactéries. À T14, une réduction notable des bacilles et une réapparition marquée des levures ont été marquées, renforçant la supposition d'une interaction compétitive modulant la dynamique microbienne au cours de la fermentation. À T21, une présence relativement équilibrée des deux groupes microbiens a été notée traduisant une possible stabilisation écologique entre bactéries et levures dans ce milieu fermenté. À T28, la co-présence de levures et de bactéries a été maintenue, avec une dominance notable des bacilles. Cette observation pourrait s'expliquer par le pH plus élevé du riz rincé (3,83) comparé à celui du riz non rincé (3,15).

Un environnement moins acide favorise le maintien de la viabilité des cellules bacillaire, ce qui leur permet de se multiplier activement sur le milieu de culture. Cette évolution reflète une compétition continue entre les communautés microbiennes, en réponse aux variations des paramètres physico-chimiques du milieu.

Plusieurs études récentes ont rapporté la présence de bactéries en forme de bacilles, notamment des espèces du genre *Bacillus*, suspecté dans notre étude, dans divers aliments fermentés, en particulier ceux à base de céréales, incluant le riz (**Liu et al., 2024 ; Sultana et al., 2024**). Ces bactéries sporulées sont connues pour leur capacité à former des endospores résistantes aux conditions environnementales défavorables, telles que des températures et des pressions élevées, leur permettant ainsi de survivre dans des ingrédients cuits (**Li et al., 2023**). Par ailleurs, une étude consacrée à la fermentation du riz a démontré la capacité d'une souche de *Bacillus* à fermenter ce substrat et à produire des acides organiques tels que l'acide lactique et l'acide shikimique (**Lee et al., 2016**). De plus, **Kouadio et al. (2016)** ont rapporté, dans une étude portant sur la fermentation de farine de riz, l'isolement simultané de souches de *Bacillus* sp. et de levures dès les premières heures de fermentation, soulignant la diversité microbienne impliquée dès les phases initiales du processus fermentaire. En outre, une autre étude portant sur la fermentation spontanée de riz bouilli a permis d'isoler des levures capables de provoquer une acidification modérée du milieu, confirmant leur rôle dans l'acidification et la structuration de la flore fermentaire (**Liu et al., 2020**).

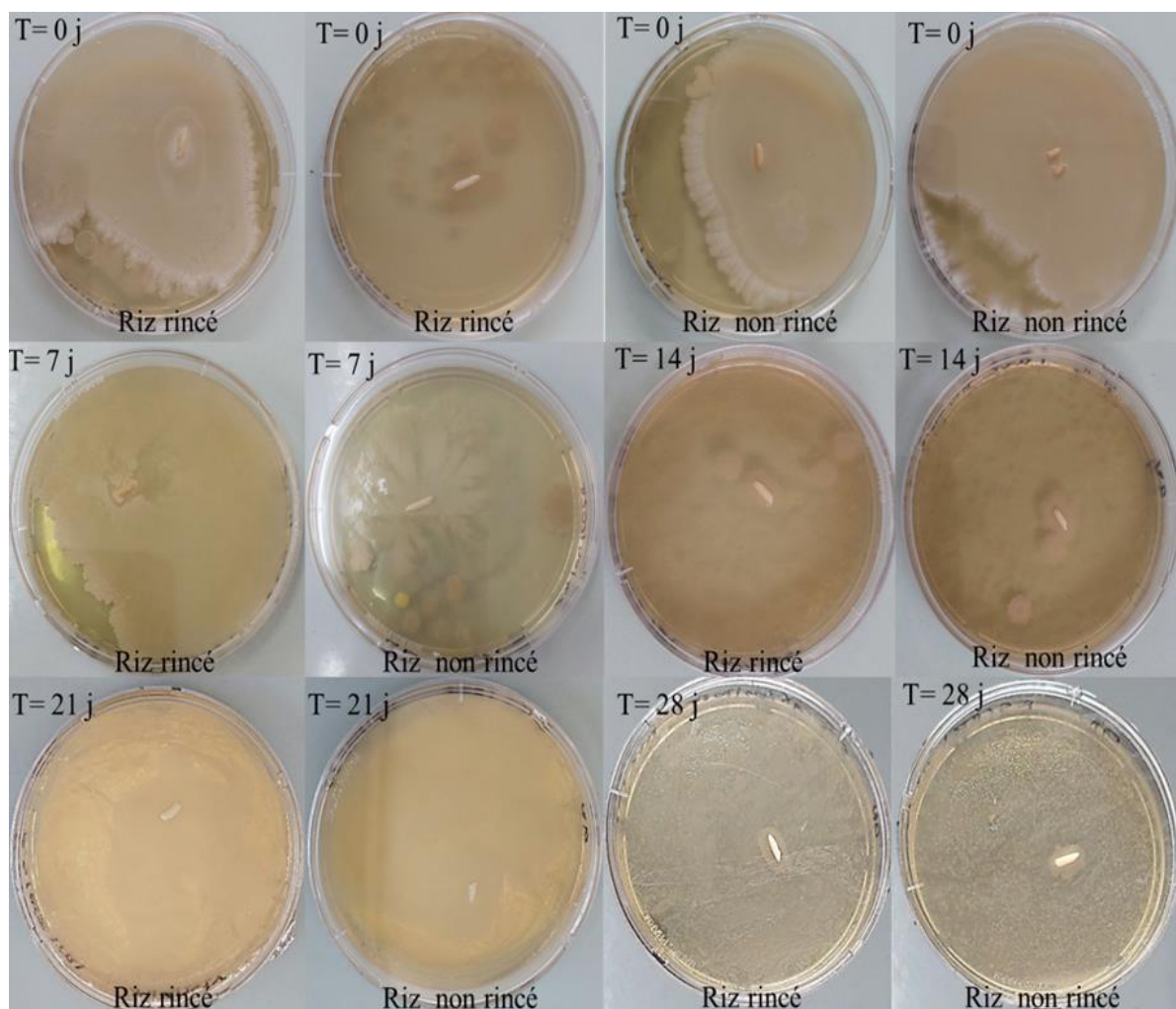


Figure 8 : Isolement de la flore responsable de la fermentation de riz sur milieu GN au fil du temps.

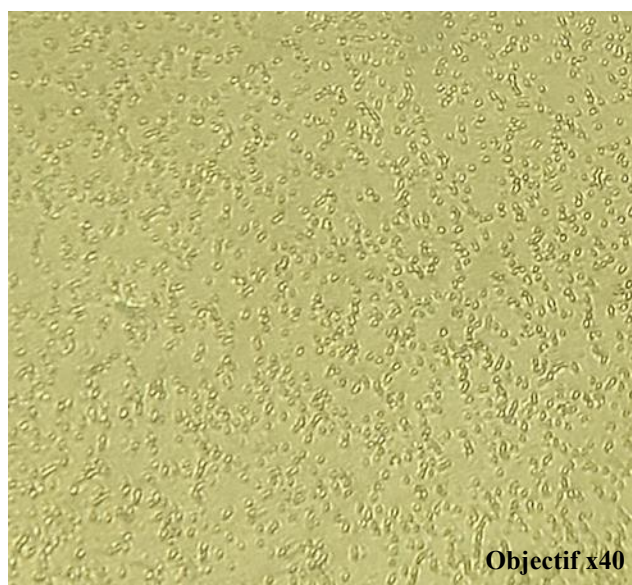


Figure 9 : Observation microscopique d'une levure isolée à partir du riz rincé.

1.4 Effet de la fermentation contrôlée sur la texture du riz

Les observations macroscopiques réalisées après sept jours de fermentation à 37 °C (**Figure 11**) ont mis en évidence des variations notables dans l'aspect, le volume et la texture des grains de riz en fonction du type de fermentation appliqué. La fermentation réalisée avec les levures seules (Fermentation 2) a conduit à la meilleure modification de la texture, les grains ont fortement augmenté de volume, et présentaient une consistance très tendre et relâchée, ce qui pourrait s'expliquer par une dégradation efficace de l'amidon. En comparaison, la fermentation avec la souche bacillaire seule (Fermentation 1) a également montré une déstructuration des grains, mais de manière moins marquée, les grains devenant souples mais conservant une certaine fermeté par rapport à la texture de riz fermenté par la levure seulement. Les expériences de cofermentation ont donné des résultats plus contrastés où la fermentation avec la microflore issue de la fermentation spontanée de riz rincé au T14 (Fermentation 3) et la cofermentation entre les probiotiques (Fermentation 4) ont montré une légère augmentation de volume, mais les grains sont restés relativement durs. Ces résultats suggèrent une activité enzymatique limitée, possiblement liée à des interactions microbiennes défavorables (Fermentation 3), ou à un pH bas (**Figure 10**) qui inhibe certaines enzymes, ou encore à une faible activité amylolytique des probiotiques (Fermentation 4). Enfin, la fermentation complexe associant la microflore spontanée (T14) et les probiotiques (Fermentation 5) a montré une activité fermentaire importante, mais la texture obtenue est restée légèrement ferme, ce qui pourrait s'expliquer par une limitation de l'action enzymatique, probablement induite par l'abaissement du pH (**Figure 10**) ou par un phénomène de compétition microbienne.

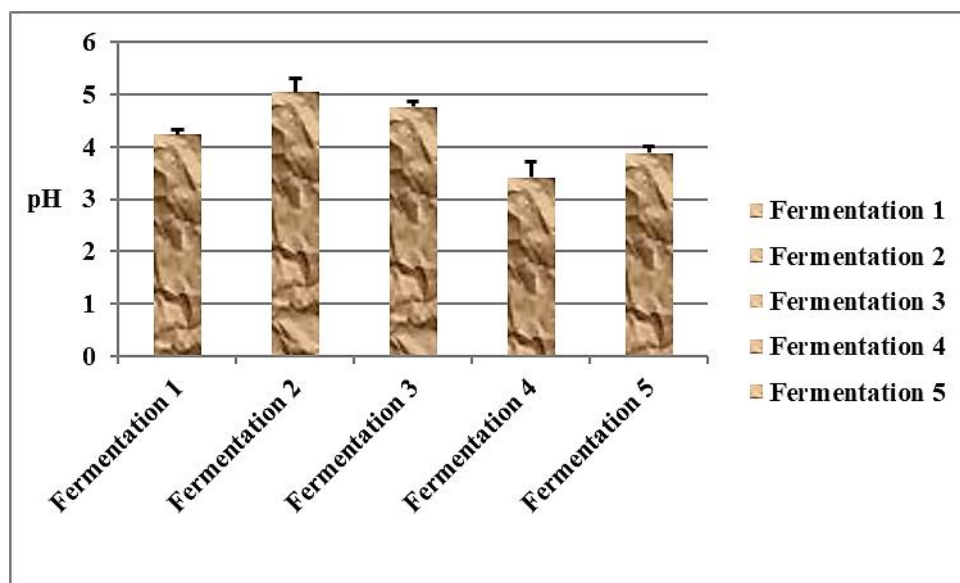


Figure 10 : Suivi du pH des différents types des fermentations.



Figure 11 : Observation macroscopique des différents types de fermentation de riz.

1.5 Evaluation de la texture d'une crème à base de riz fermenté

À l'issue d'une fermentation de cinq jours à 37 °C, les bocaux contenant les préparations de riz inoculées avec une souche de levure ont été récupérés pour une première évaluation macroscopique. Les grains du riz ont conservé une couleur globalement blanche, accompagnée d'une augmentation de volume, vraisemblablement liée à la production de gaz, indiquant une activité fermentaire effective. Après le traitement thermique, lors de l'ouverture des bocaux, un dégagement gazeux distinct a été perçu, confirmant la production de gaz au cours du processus de fermentation.

La mesure du pH a révélé une valeur de 5.40, compatible avec le pH physiologique de la peau, ce qui est favorable à une éventuelle application cosmétique. Sur le plan textural (**Figure 12**), les grains de riz présentaient une tendreté nettement améliorée. Le broyage a permis d'obtenir une texture homogène, fine et adaptée à une formulation de type crème.



Figure 12 : Texture du riz et de la crème de riz après fermentation.

2 Valorisation de l'eau de riz usée

2.1 Préparation et stérilisation des eaux de riz usées

Après la tyndallisation des eaux usées de riz, une décantation de l'amidon a été observée. Une diminution de la quantité d'amidon précipité a été constatée à mesure que le ratio de rinçage augmentait, qui pourrait être expliqué par la concentration de l'amidon qui diminuée avec l'augmentation de ratio de rinçage (**Figure 13**). Le phénomène de décantation pourrait être expliquer par l'effet de chauffage sur l'amidon, qui provoque le gonflement des granules d'amidon dans l'eau, augmentant ainsi sa densité et favorisant sa précipitation au fond des flacons (**Chen et al., 2019**). Par ailleurs, l'isolement microbiologique réalisé à partir des eaux de riz usées tyndallisées a révélé la présence de bacilles similaires à ceux isolés précédemment à partir du riz, après une incubation de 48 heures à 37 °C (**Figure 14**). Cela indique que cette bactérie présente une thermorésistance élevée, leur permettant de survivre au traitement thermique appliqué.



Figure 13 : L'effet de tyndallisation sur l'eau de riz usée.



Figure 14 : Isolement d'eau de riz usée sur GN.

2.2 Réhydratation et isolement des probiotiques

Après une incubation de 3 jours à 37 °C, la croissance de différents types de micro-organismes isolés a été observée sur les milieux de culture utilisés, indiquant une réactivation efficace des souches lyophilisées (**Figure 15**). Le milieu ordinaire GN, non sélectif et riche en nutriments, a permis une croissance abondante sous forme de nappe à partir de la culture de levure *Saccharomyces cerevisiae* préalablement réhydratée dans du PDB modifié. Sur le milieu MRS, des colonies opaques, blanches et bien définies ont été observées, caractéristiques des bactéries lactiques du genre *Lactobacillus*, isolées à partir de la suspension de réhydratation d'un probiotique commercialisé dans du lait UHT. Ce milieu est spécifiquement formulé pour promouvoir la croissance de ces bactéries acidophiles grâce à un pH ajusté, une richesse en nutriments, et la présence de composés sélectifs inhibant les microorganismes indésirables. Enfin, le milieu M17 a permis le développement de colonies plus petites, translucides et discrètes, suggérant la présence de bactéries du genre *Bifidobacterium*, également issues du probiotique réhydraté. Ce milieu, enrichi en caséine hydrolysée et en lactose, fournit les substrats essentiels au développement de ces bactéries lactiques.

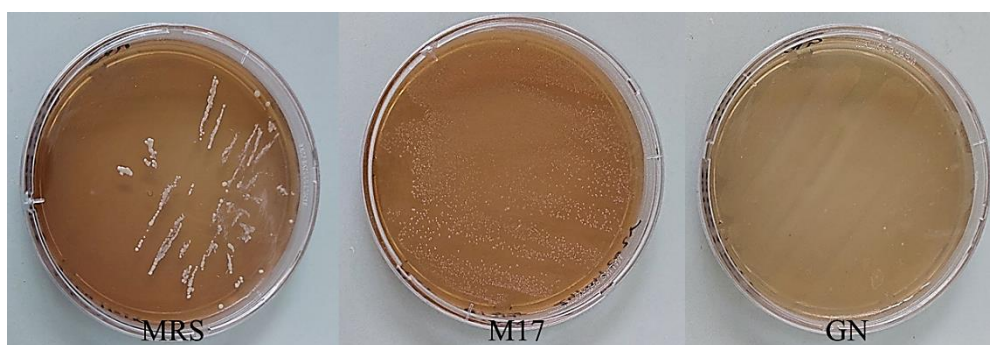


Figure 15 : Observation macroscopique des souches isolées à partir des probiotiques commercialisés sur les milieux MRS, M17 et GN.

2.3 Inoculation des eaux usées du riz par les probiotiques

Après trois jours d'incubation à 37 °C, l'observation des différentes solutions a révélé une précipitation visible de l'amidon (**Figure 20**), qui pourrait être due à l'abaissement de pH de milieu (**Figure 18**), dont le volume diminuait avec l'augmentation du ratio eau/riz. Cette diminution est probablement liée à une concentration plus faible en amidon dans les solutions diluées. Parallèlement, l'analyse du pH final (**Figure 18**) s'est révélée plus fiable que les mesures de densité optique (**Figure 16**) pour évaluer la croissance microbienne. En effet, la présence résiduelle d'amidon et du lait en suspension, a faussé les mesures optiques en augmentant artificiellement la turbidité (**Figure 16**).

Par ailleurs, Les bactéries lactiques ont induit une acidification marquée du milieu (pH entre 3,38 et 3,92) (**Figure 18**), indiquant une activité fermentaire effective, même lorsque la densité optique restait modeste (**Figure 16**). Cette acidification témoigne de leur capacité à se développer et métaboliser l'amidon pour produire des acides organiques. À l'inverse, les levures cultivées sans ajout de sucre ont maintenu un pH relativement élevé (jusqu'à 5,37) (**Figure 19**), traduisant une activité métabolique limitée. En présence de sucre, une légère diminution du pH a été observée, ce qui suggère que ces levures peuvent exploiter plus efficacement l'amidon comme source de carbone, à condition qu'un agent stimulant tel que le sucre soit disponible.

La co-fermentation entre bactéries lactiques et levures, particulièrement en présence de sucre, a permis d'atteindre les pH les plus acides (jusqu'à 3,21) (**Figure 18**), traduisant une synergie entre les deux types de micro-organismes. Cela suggère que le sucre serve de substrat facilement assimilable pour stimuler la croissance microbienne. Ainsi, malgré la variabilité observée dans les mesures de densité optique, le suivi du pH permet de conclure que la co-fermentation en présence de sucre favorise une activité fermentaire plus efficace.

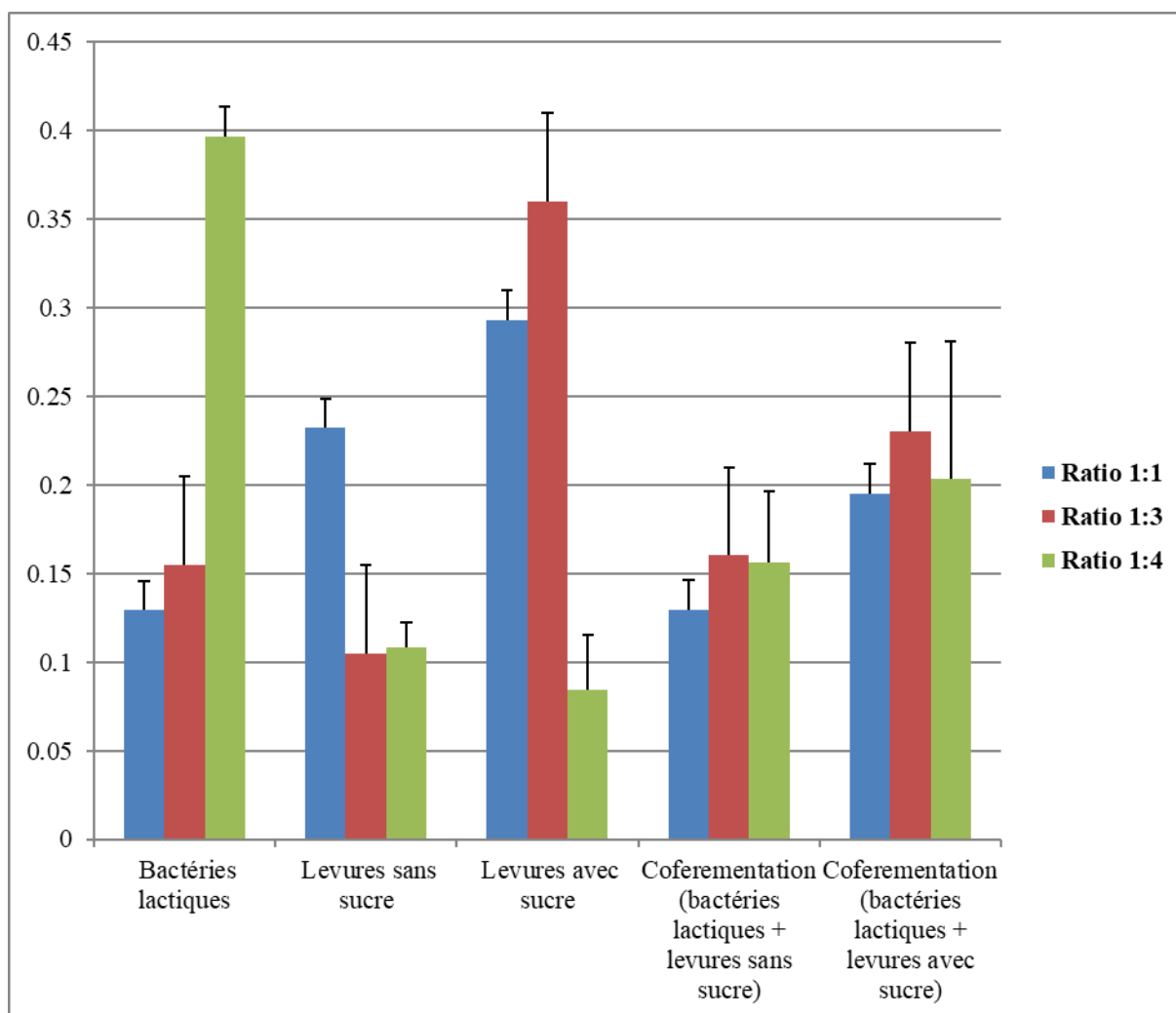


Figure 16 : Evaluation de la densité optique des différentes solutions en fonction des ratios.

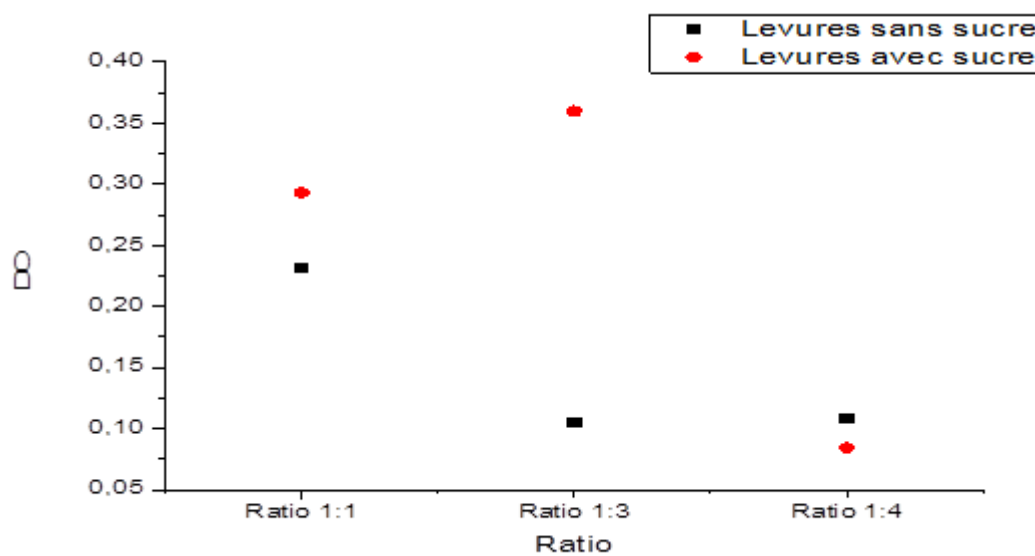


Figure 17 : Evaluation de la densité optique des levures avec/sans ajout du sucre en fonction des ratios.

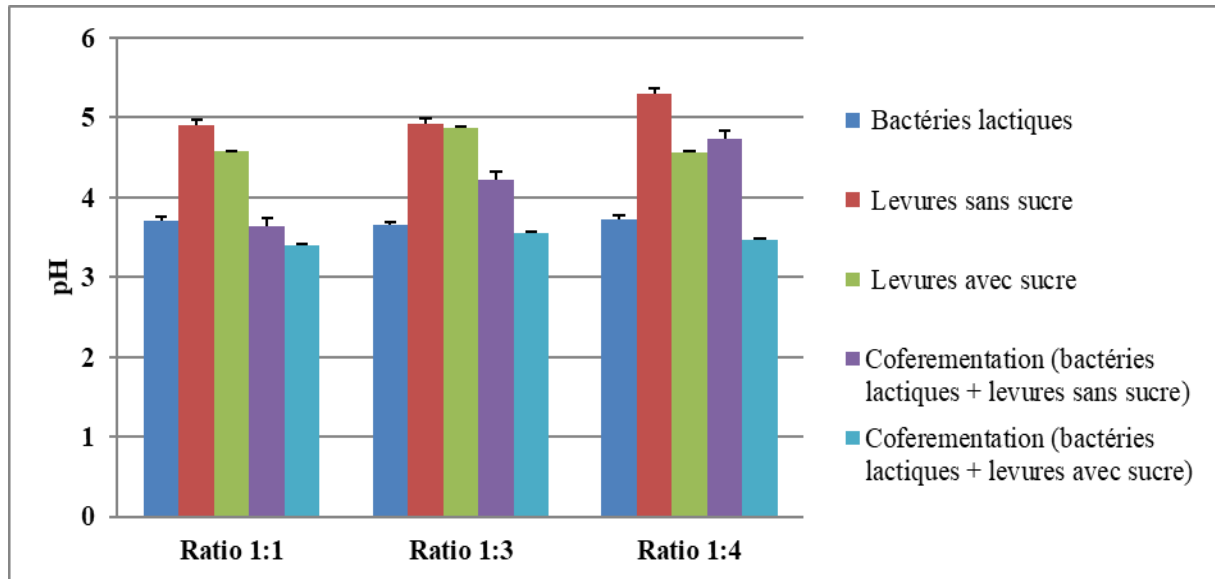


Figure 18 : Evaluation du pH des différentes solutions en fonction des ratios.

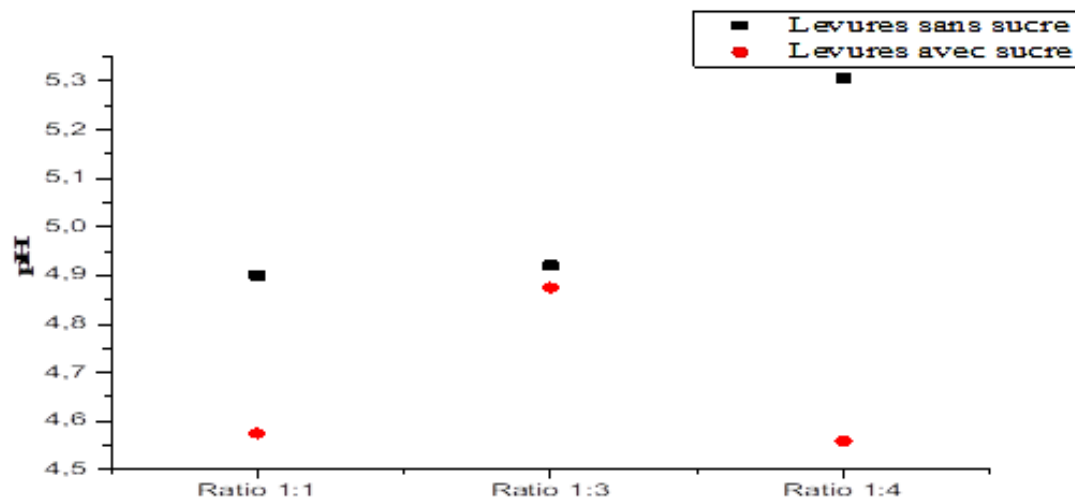


Figure 19 : Evaluation de pH des levures avec/sans ajout du sucre en fonction des ratios.



Figure 20 : Effet de la fermentation de l'eau de riz par les probiotiques. 1:1, 1:3 et 1:4 représentent les ratios de l'eau de riz utilisée. 1 : fermentation par les bactéries lactiques ; 2 : fermentation par levures en absence de sucre ; 3 : fermentation par levures en présence de sucre ; 4 : fermentation par levures et bactéries lactiques en absence de sucre ; 5 : fermentation par levures et bactéries lactiques en présence de sucre.

3 Etude de l'effet des prébiotiques sur la croissance des probiotiques

3.1 Préparation des extraits des prébiotiques

3.1.1 Préparation des extraits de graines de lin

Les résultats de la macération des graines de lin (**Figure 21**) à 10 % (w/v) pendant 12 heures ont révélé que l'utilisation d'eau bouillante favorisait une libération plus élevée de mucilage, ce qui a conduit à une solution plus visqueuse et plus foncée. En revanche, l'utilisation d'eau froide a produit une solution moins visqueuse et plus claire, indiquant une libération partielle des composés solubles. Ces observations sont en accord avec les données rapportées par **Tosif et al, (2021)**, qui souligne que la température d'extraction joue un rôle déterminant dans la solubilisation des fractions polysaccharidiques du mucilage.

Par ailleurs, la macération des graines de lin pendant 3 jours dans l'eau froide a induit une fermentation intense, caractérisée par une production importante de gaz, particulièrement observée à une concentration de 15 % (w/v). Cette augmentation du dégagement gazeux suggère une activité microbienne accrue favorisée par des conditions prolongées de macération.

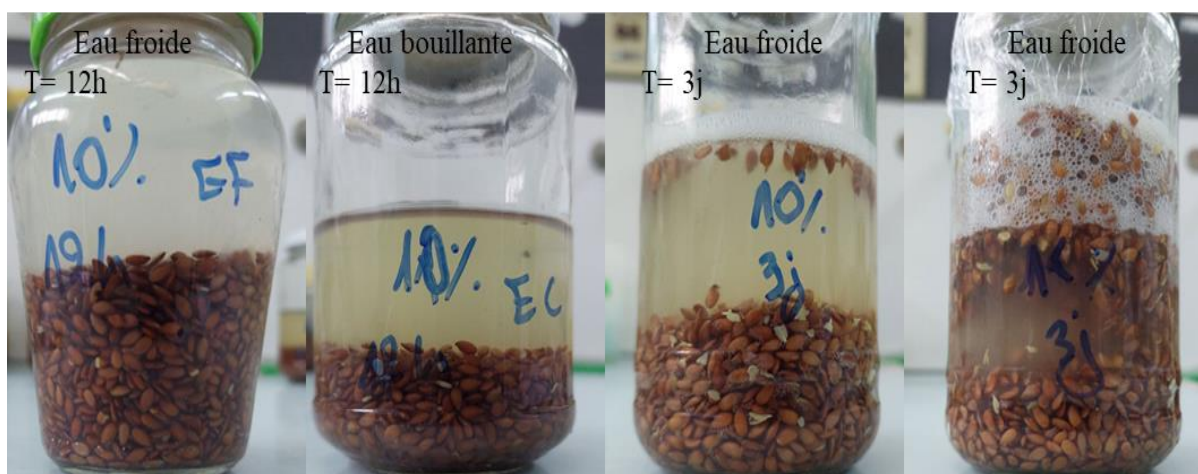


Figure 21 : Solutions de macération des graines de lin.

L'ensemencement des solutions de macération sur les milieux PDA et PCA, suivi d'une incubation à 37 °C pendant 7 jours, a permis d'observer une croissance des levures (**Figure 22**). Deux types de colonies ont été détectés : des colonies blanches, crémeuses et brillantes et des colonies jaunes crémeuses. Il a été constaté que les colonies jaunes étaient absentes dans les échantillons soumis à une macération dans l'eau bouillante, suggérant une thermosensibilité de ces microorganismes. De plus, la croissance des levures était plus importante sur le milieu PCA que sur le milieu PDA.

Cette observation est en accord avec les résultats de **Ribeiro et al. (2025)**, qui ont montré que le milieu PDA, bien que traditionnellement utilisé pour la culture des champignons et levures, peut nécessiter une optimisation de sa composition pour favoriser la croissance de certains microorganismes. Cela indique que, selon la souche microbienne ciblée, le PDA peut présenter une composition nutritionnelle moins adaptée que d'autres milieux plus polyvalents comme le PCA.

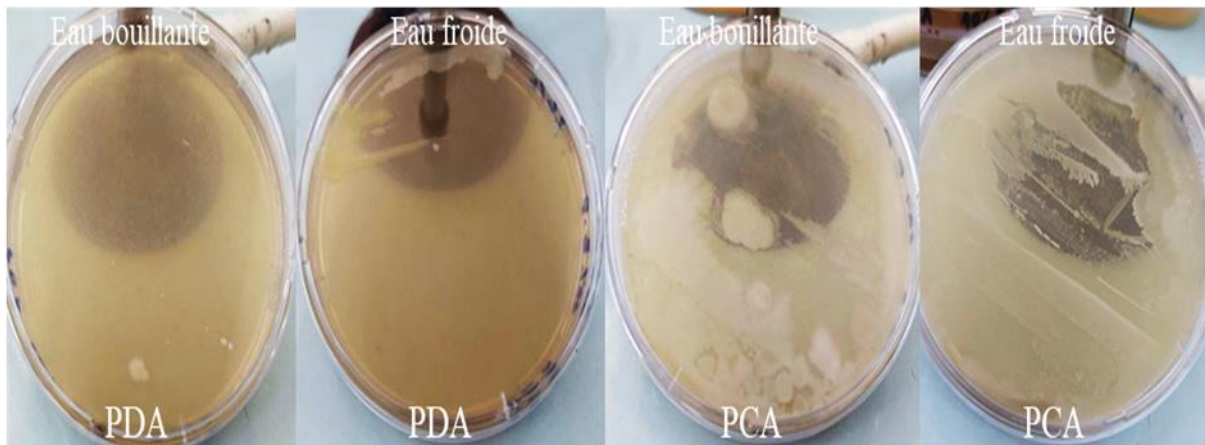


Figure 22 : Observation macroscopique d'isolement des microorganismes de graines de lin sur les milieux de cultures PDA et PCA.

3.1.2 Préparation des extraits de résidus alimentaires

Les résultats observés (**Figure 23**) après macération des déchets alimentaires sont comme suite :

- **Écorce de petits pois :** Une production de gaz a été observée après 12 heures, suivie d'une diminution après 24 heures puis d'une absence totale après 3 jours, ce qui suggère une interruption de la croissance microbienne due d'un facteur limitant.
- **Écorce d'orange :** La solution a présenté une coloration orange-jaune, indiquant la libération des molécules pigmentées, sans indice de croissance microbienne après 3 jours de macération.
- **Tige d'artichaut :** Une coloration verte foncée a été observée après 12 heures, suivie d'un éclaircissement progressif et d'une production de gaz au fil du temps, traduisant une dégradation microbienne des molécules pigmentées.
- **Macération du mélange des déchets (écorce de petites pois, tige d'artichaut, écorce d'orange, graines de lin, lactosérum) :** Une modification de la couleur a été constatée, indiquant une libération de composés bioactifs, sans indice de croissance microbienne.

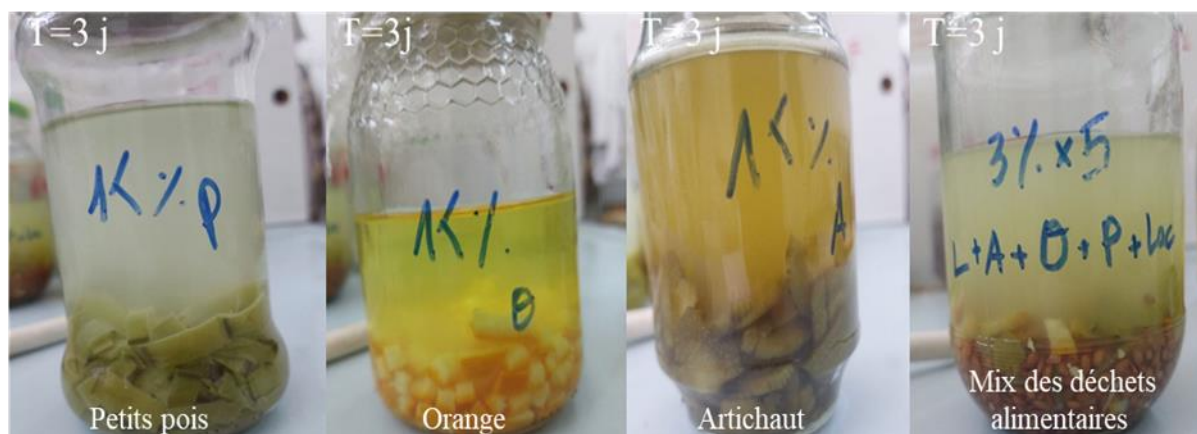


Figure 23 : Macération des déchets alimentaire.

3.2 Test de l'effet des extraits des prébiotiques sur la formation d'un biofilm des probiotiques

L'extraction du mucilage à partir des graines de lin soumis à un traitement thermique a révélé une concentration plus élevée de mucilage dans la solution à 15 % (w/v) (**Figure 24**), se traduisant par une solution semi-solide. À 10 % (w/v), la solution obtenue était moins visqueuse, indiquant une libération moins importante du mucilage. Ces observations sont en accord avec les travaux de **Troshchynska et al. (2022)**, qui ont montré que l'augmentation de la concentration en graines de lin favorise l'extraction de polysaccharides solubles, en particulier les arabinoxylanes et les rhamnogalacturonanes I, constituants majeurs du mucilage. Par ailleurs, selon ces auteurs, les propriétés viscoélastiques du mucilage sont principalement influencées par la présence d'arabinoxylanes ramifiés de haut poids moléculaire, ce qui pourrait expliquer l'augmentation de la viscosité observée à des concentrations plus élevées.

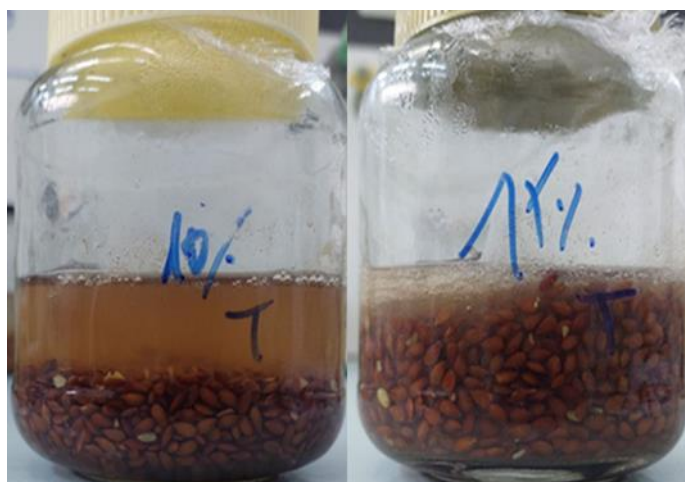


Figure 24 : Résultat du traitement thermique des graines de lin.

Après l'incubation, des suspensions préparées avec le mucilage pendant 7 jours, l'évaluation de la formation du biofilm (**Figure 25**) a montré que la densité optique (DO) mesurée à 570 nm était plus faible dans la solution A contenant un mucilage à 10 % (w/v) (0,185) par rapport au témoin (0,242), avec une réduction de 0,057. Cette diminution suggère une inhibition de la formation du biofilm par l'extrait de grains de lin. Toutefois, il est important de souligner que cette inhibition n'est probablement pas due à une activité antibactérienne directe. À l'inverse, la solution B contenant un mucilage à 15 % (w/v) a montré une augmentation de la DO à 0,284, soit une différence de +0,042 par rapport au témoin. Cette élévation indique une stimulation de la formation du biofilm, ce qui est cohérent avec les observations de **Kim et al. (2017)**, qui ont démontré que l'extrait brut de graines de lin stimule la croissance de bactéries lactiques isolées du kéfir.

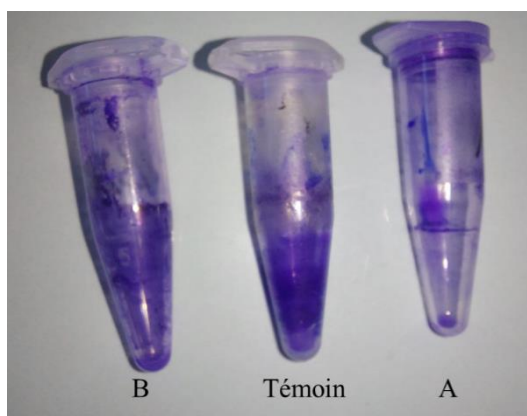


Figure 25 : Effet de mucilage sur la formation de biofilm. A : solution A ; B : solution B.

3.3 Test de l'effet des extraits des déchets alimentaires sur la croissance des probiotiques

Après une incubation de 7 jours, les résultats de la densité optique illustrés sur la **figure 26** indiquent que l'écorce d'orange stimule davantage la croissance de la levure (0,258) que celle de la bactérie lactique (0,194). De même, l'écorce de petits pois semble favoriser la levure (0,178) davantage que la bactérie lactique (0,164). En revanche, la tige d'artichaut a un effet plus bénéfique sur la croissance de la bactérie lactique (0,149) que sur celle de la levure (0,137). Enfin, le mix des prébiotiques (12% (w/v) d'un ratio de (1:1:1:1) des prébiotiques + 3% de lactosérum (v/v)) semble promouvoir le développement de la levure (0,206) plus efficacement que celui de la bactérie lactique (0,172).

Les résultats obtenus indiquent que certains sous-produits végétaux peuvent exercer un effet différencié sur la croissance des micro-organismes testés. L'effet stimulant de l'écorce d'orange sur les deux types de micro-organismes est corroboré par les travaux de **Ricci et al. (2019)**, qui ont démontré la capacité des bactéries lactiques à fermenter ce substrat pour produire de l'acide lactique. En parallèle, **Carota et al. (2020)** ont rapporté une forte teneur en glucides simples dans les extraits d'écorce d'orange facilement assimilables par les levures, expliquant la croissance accrue observée dans notre étude. L'écorce de petits pois a également montré un effet modérément favorable sur la croissance microbienne. Ces résultats sont en accord avec l'étude récente de **Kumari et al. (2024)**, qui a mis en évidence le potentiel prébiotique de ce sous-produit, notamment après modification enzymatique, le rendant comparable, voire supérieur, à l'inuline. En ce qui concerne la tige d'artichaut, d'autres travaux ont montré que les sous-produits d'artichaut présentent un effet prébiotique potentiel, notamment en faveur des bactéries lactiques (**Holgado et al., 2021**). Cependant, cette observation ne semble pas totalement en accord avec la densité optique mesurées ici. Une hypothèse explicative pourrait résider dans la capacité des souches de bactéries lactiques testées à former un biofilm, entraînant l'adhésion des cellules microbiennes aux parois des tubes d'Eppendorf, ce qui pourrait fausser l'évaluation de la croissance en réduisant la densité optique mesurée en phase liquide. Cette hypothèse est appuyée par l'observation macroscopique présentée à la **Figure 27**. Concernant le mélange de prébiotiques, les résultats montrent une croissance intermédiaire, inférieure à celle obtenue avec l'écorce d'orange seule. Cette synergie moins marquée pourrait résulter d'interactions négatives entre les composés. Pourtant, plusieurs travaux ont démontré que les protéines du lactosérum peuvent améliorer la survie des bactéries lactiques par effet protecteur (**Xie et al., 2023**), et que leur association avec des fibres comme l'inuline exerce un effet prébiotique synergique (**Ha et al., 2016**). Le manque d'effet marqué observé ici pourrait être lié à une composition sub-optimale du mélange ou à des effets d'inhibition croisée non explorés dans cette étude.

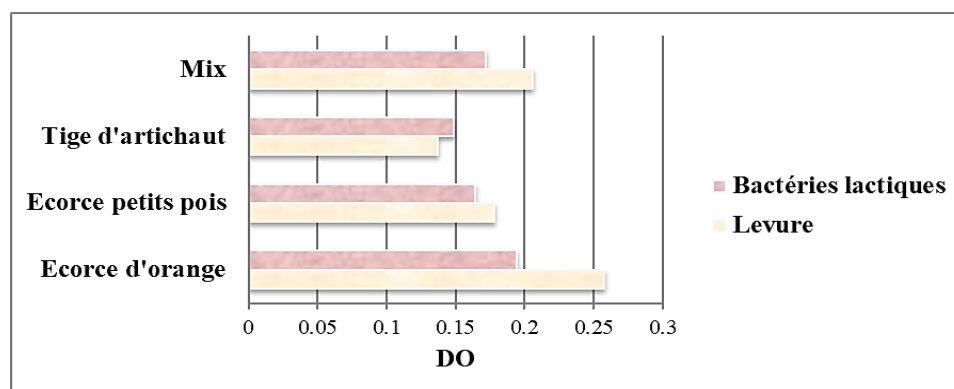


Figure 26 : Effet de différents substrats végétaux sur la croissance des bactéries lactiques et des levures

Après coloration au cristal violet, la formation d'anneaux a été observée (**Figure 27**) dans les échantillons contenant la tige d'artichaut associée aux bactéries lactiques ainsi que dans le mélange des déchets alimentaires associé aux levures. La formation du biofilm a été plus marquée dans l'échantillon contenant la tige d'artichaut et les bactéries lactiques, indiquant une croissance bactérienne, ce qui peut être lié à la composition chimique de l'artichaut favorisant le développement des bactéries lactiques.

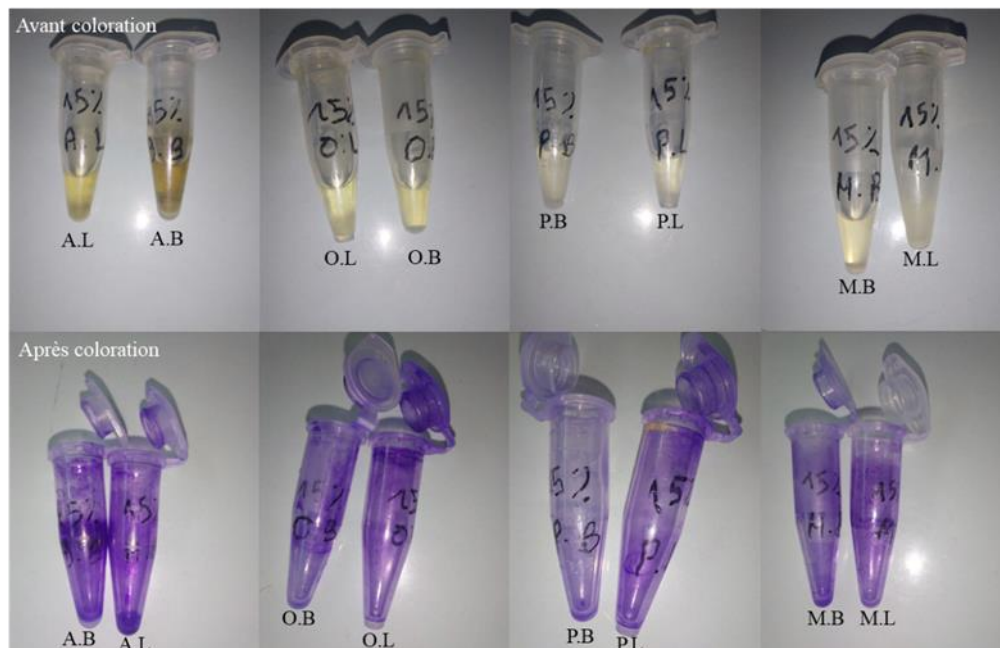


Figure 27 : Effet des déchets alimentaires sur la croissance des probiotiques. A : artichaut ; O : orange ; P : petits pois ; M : mix des déchets alimentaires ; L : levures ; B : bactéries lactiques.

3.4 Criblage des prébiotiques sur la croissance des probiotiques

Pour identifier le(s) facteur(s) le(s) plus influent(s) parmi les six variables étudiées (écorces d'orange, écorces de grenade, écorces de carotte, tiges d'artichaut, mucilage de graines de lin et lactosérum issu du lait caillé), nous avons mis en œuvre un plan de criblage de Plackett-Burman. Ce plan a été élaboré à partir des résultats préliminaires obtenus dans les sections 3.2 et 3.3.

Chaque variable a été évaluée à deux niveaux : +/- (présence ou absence). Le **tableau 6** a détaillé les 12 essais réalisés selon les combinaisons spécifiques définies par le plan de Plackett-Burman. Les résultats de ces manipulations ont révélé que la manipulation numéro 8 a généré la meilleure densité optique (0,503), indiquant ainsi une performance optimale pour cette combinaison particulière de facteurs. Le coefficient de regression de ce modèle est de 97,05%.

Le **tableau 7** présente les valeurs de probabilité (valeurs P) associées au modèle. Ces valeurs indiquent que les variables X_3 et X_6 sont significatives ($<0,05$), ce qui signifie qu'elles ont un impact notable sur la réponse mesurée. De plus, la variable X_4 est très significative, suggérant une influence particulièrement forte et statistiquement robuste sur le résultat.

Tableau 6 : Matrice expérimentale de Plackett-Brumen.

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y
3	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	0.054
8	2	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	0.296
11	3	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	0.080
5	4	1	1	1	1	-1	1	1	-1	0.153
12	5	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.069
1	6	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	0.085
9	7	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.414
7	8	1	1	-1	1	1	1	-1	1	0.503
4	9	1	1	1	-1	1	1	-1	1	0.457
6	10	1	1	1	1	1	-1	1	1	0.101
10	11	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	0.126
2	12	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.207

Tableau 7 : Analyse de régression des résultats.

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.21208	0.01204	17.62	0.000
X ₁	-0.04783	-0.02392	0.01204	-1.99	0.104
X ₂	-0.05817	-0.02908	0.01204	-2.42	0.060
X ₃	0.07450	0.03725	0.01204	3.09	0.027 *
X ₄	0.25250	0.12625	0.01204	10.49	0.000 **
X ₅	-0.04283	-0.02142	0.01204	-1.78	0.135
X ₆	0.13617	0.06808	0.01204	5.66	0.002 *

(*) : Significatif

(**) : Très significatif

4 Etude de l'activité antimicrobienne des probiotiques sur l'eau de riz usée enrichi par les prébiotiques

Après 48 heures d'incubation, les résultats des tests d'activité antimicrobienne (**Figure 28**) ont permis d'évaluer l'effet des différentes solutions fermentées en présence et en absence de différents prébiotiques sur la croissance microbienne. Dans les puits T (témoin, sans prébiotiques), L (lactosérum seul) et GL (graines de lin seules), une croissance visible de la souche bacillaire initialement présente dans l'eau de riz et résistante à la tyndallisation a été observée. La présence de colonies dans le puits témoin indique l'absence d'inhibition notable dans les conditions expérimentales, suggérant une tolérance de la souche bacillaire au stress fermentaire de base. Dans le puits L, une croissance bactérienne modérée a été constatée, laissant supposer une activité antimicrobienne faible du lactosérum. Par ailleurs, une croissance abondante a été notée dans le puits GL, ce qui pourrait être attribué à l'effet prébiotique du mucilage de lin, favorisant ainsi la prolifération de ces bacilles. À l'inverse, le puits G (grenade seule) ne présentait aucune croissance microbienne, révélant une activité antimicrobienne marquée. Ce résultat suggère que l'extrait de grenade possède un fort potentiel antimicrobien.

Concernant les combinaisons d'extraits, l'effet antimicrobien s'est révélé plus variable selon les associations. Ainsi, dans le puits 1 (mélange de trois prébiotiques : grenade, lactosérum et graines de lin), une croissance bactérienne a été observée malgré la présence de grenade, ce résultat suggère une possible atténuation de l'effet antimicrobien par des interactions antagonistes entre les composés bioactifs des différents extraits. En revanche, dans le puits 2 (graines de lin + grenade), aucune croissance de bacilles n'a été détectée, ce qui confirme l'effet inhibiteur dominant de l'extrait de grenade, capable de neutraliser le potentiel effet stimulant du lin. Par ailleurs, dans le puits 3 (lactosérum + graines de lin), une croissance bactérienne a été notée, indiquant une absence d'effet synergique et soulignant une efficacité antimicrobienne limitée de cette combinaison. Enfin, dans le puits 4 (grenade + lactosérum), une inhibition partielle a été constatée, ce qui laisse supposer que certaines interactions chimiques entre les composants du lactosérum et ceux de la grenade pourraient compromettre l'activité antimicrobienne, possiblement par complexation ou dégradation des composés actifs.

Une absence totale de croissance de *S. aureus*, un représentant typique de la flore pathogène cutanée, a été constatée dans l'ensemble des conditions testées. Il convient de souligner que, lors du repiquage sur milieu Chapman (**Figure 29**), seules des levures, initialement présentes en co-culture avec *S. aureus* et probablement d'origine cutanée, ont été isolées, sans aucune trace de *S. aureus*. Ce résultat empêche ainsi toute évaluation précise de l'effet antimicrobien des solutions fermentées sur *S. aureus*. En revanche, une activité antimicrobienne notable a été observée contre les levures cutanées, avec une efficacité plus marquée dans le cas des extraits utilisés individuellement par rapport aux combinaisons.

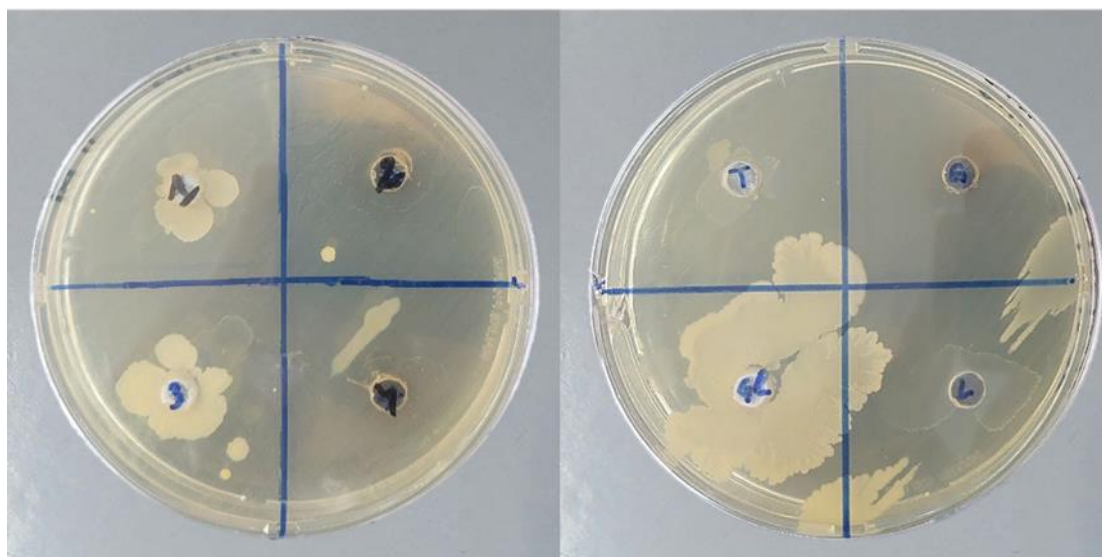


Figure 28 : Test de l'activité antimicrobienne sur milieu Mueller Hinton. T : extrait sans prébiotiques ; G : extrait avec grenade ; Gl : extrait avec graines de lin ; L : extrait avec lactosérum ; 1 : extrait avec grenade, graines de lin et lactosérum ; 2 : extrait avec grenade et graines de lin ; 3 : extrait avec graines de lin et lactosérum ; 4 : extrait avec grenade et lactosérum.

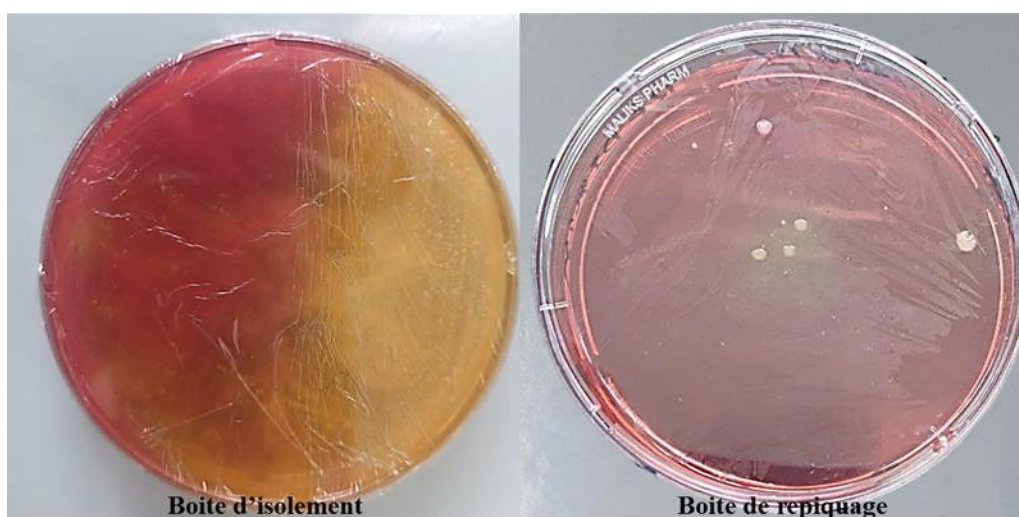


Figure 29 : Résultat de repiquage de *S. aureus* sur milieu Chapman.

Conclusion

Conclusion

Dans un contexte où l'industrie cosmétique cherche à développer des produits naturels, durables et biologiquement actifs, cette étude s'est inscrite dans une démarche de valorisation biotechnologique du riz et de son eau usée par fermentation. Ce travail de recherche avait pour objectif d'explorer le potentiel de la fermentation du riz et de son eau usée enrichie en coproduits alimentaires pour la production d'extraits dermo-actifs à activité antimicrobienne.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence plusieurs points clés. D'une part, la fermentation spontanée suivie d'une fermentation contrôlée du riz, utilisant une levure endogène isolée au cours de la fermentation spontanée, a permis une amélioration notable de sa texture, notamment après rinçage, ce qui représente un atout technologique pour son intégration dans des formulations cosmétiques telles que des crèmes ou des gels. D'autre part, les milieux à base d'eau de riz usée, enrichis en coproduits alimentaires (écorces de grenade, mucilage de graines de lin et lactosérum), ont permis une meilleure croissance de souches probiotiques (bactéries lactiques et *Saccharomyces cerevisiae*) en cofermentation. Cette croissance a été associée à la production d'extraits présentant une activité antimicrobienne significative contre une souche bacillaire résistante au traitement thermique, en particulier en présence de l'écorce de grenade, soulignant le potentiel fonctionnel de ces fermentats. Ces résultats confirment l'intérêt de valoriser des matières premières organiques, peu coûteuses et souvent sous-exploitées, dans une logique d'économie circulaire.

Cependant, certaines limites doivent être prises en considération. L'évaluation de l'activité biologique des extraits s'est limitée à des tests microbiens, sans validation sur des modèles cutanés *in vitro* ou *in vivo*. Par ailleurs, les composés bioactifs générés n'ont pas été identifiés ni quantifiés par des techniques analytiques avancées. De plus, l'impact de la fermentation sur la stabilité physico-chimique des extraits une fois incorporés dans des formulations cosmétiques reste à étudier.

Dans cette perspective, des travaux futurs devraient porter sur l'extraction des composés bioactifs sans compromettre la sécurité alimentaire, explorer de nouvelles synergies bioactives dans une perspective d'économie, la caractérisation chimique détaillée des extraits fermentés, ainsi que l'évaluation de leur biocompatibilité, de leur efficacité et leur innocuité sur des modèles cellulaires cutanés.

Il serait également pertinent d'examiner leur stabilité dans des formulations cosmétiques finies et d'étendre la recherche à d'autres souches probiotiques, notamment d'origine cutanée, afin de mieux cibler les effets selon les types de peau ou les déséquilibres du microbiote cutané.

En conclusion, ce travail ouvre des perspectives concrètes pour le développement de cosmétiques innovants, naturels et fonctionnels, tout en promouvant une valorisation raisonnée des coproduits alimentaires. Il s'inscrit ainsi dans les dynamiques actuelles de la biotechnologie verte, de la microbiologie appliquée et d'une cosmétique durable, répondant à la fois aux enjeux environnementaux et aux attentes des consommateurs.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abd Razak, D. L., Jamaluddin, A., Abd Rashid, N. Y., Abd Ghani, A., and Manan, M. A. (2019).** Assessment of fermented broken rice extracts for their potential as functional ingredients in cosmeceutical products. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 176-182.
- **Abdul Hakim, B. N., Xuan, N. J., and Oslan, S. N. H. (2023).** A comprehensive review of bioactive compounds from lactic acid bacteria: Potential functions as functional food in dietetics and the food industry. *Foods*, 12(15), 2850.
- **Adebo, O. A., and Gabriela Medina-Meza, I. (2020).** Impact of fermentation on the phenolic compounds and antioxidant activity of whole cereal grains: A mini review. *Molecules*, 25(4), 927.
- **Ahmad, A., Banat, F., and Taher, H. (2020).** A review on the lactic acid fermentation from low-cost renewable materials: Recent developments and challenges. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 101138.
- **Algiert-Zielińska, B., Mucha, P., and Rotsztein, H. (2019).** Lactic and lactobionic acids as typically moisturizing compounds. *International journal of dermatology*, 58(3), 374-379.
- **Ali, M. M., and Hashim, N. (2024).** Exploring nutritional composition, volatile compounds, health benefits, emerging processing technologies, and potential food products of glutinous rice: a review. *Rice Science*.
- **Alnuqaydan, A. M. (2024).** The dark side of beauty: an in-depth analysis of the health hazards and toxicological impact of synthetic cosmetics and personal care products. *Frontiers in Public Health*, 12, 1439027.
- **Amberg, N., and Fogarassy, C. (2019).** Green consumer behavior in the cosmetics market. *Resources*, 8(3), 137.
- **Ambrogi, V., Bottacini, F., O'Callaghan, J., Casey, E., Van Breen, J., Schoemaker, B., Cao, L., Kuipers, B., O'Connell Motherway, M., Schoterman, M., and van Sinderen, D. (2021).** Infant-associated bifidobacterial β -Galactosidases and their ability to synthesize galacto-oligosaccharides. *Frontiers in Microbiology*, 12, 662959.
- **Andersen, B.M. (2018).** Prevention and Control of Infections in Hospitals: Practice and Theory. *Springer Nature: Cham, Switzerland*, 337-437

- **Barnes, T. M., Mijaljica, D., Townley, J. P., Spada, F., and Harrison, I. P. (2021).** Vehicles for drug delivery and cosmetic moisturizers: Review and comparison. *Pharmaceutics*, 13(12), 2012.
- **Barsagade, P. D., Patil, P., and Umekar, M. J. (2020).** A formulation of face pack and hair products of rice water for the use of skin and hair problem. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 9(4), 683-694.
- **Bhawna Chugh, B., and Afaf Kamal-Eldin, A. (2020).** Bioactive compounds produced by probiotics in food products. *Current Opinion in Food Science*, 32, 76-82.
- **Bolla, B. S., Erdei, L., Urbán, E., Burián, K., Kemény, L., and Szabó, K. (2020).** Cutibacterium acnes regulates the epidermal barrier properties of HPV-KER human immortalized keratinocyte cultures. *Scientific reports*, 10(1), 12815.
- **Boxberger, M., Cenizo, V., Cassir, N., and La Scola, B. (2021).** Challenges in exploring and manipulating the human skin microbiome. *Microbiome*, 9, 1-14.
- **Brown, M. M., and Horswill, A. R. (2020).** *Staphylococcus epidermidis*—Skin friend or foe?. *PLoS pathogens*, 16(11), e1009026.
- **Buchbinder, L., Baris, Y., Alff, E., Reynolds, E., Dillon, E., Pessin, V., Pincus, L., and Strauss, A. (1951).** Studies to formulate new media for the standard plate count of dairy products. *Public Health Reports*, 66(11), 327-340.
- **Buerger, S. (2020).** The skin and oral microbiome: an examination of overlap and potential interactions between microbiome communities. *Skin microbiome handbook: from basic research to product development*, 45-57.
- **Bustamante, M., Oomah, B. D., Oliveira, W. P., Burgos-Díaz, C., Rubilar, M., and Shene, C. (2020).** Probiotics and prebiotics potential for the care of skin, female urogenital tract, and respiratory tract. *Folia microbiologica*, 65, 245-264.
- **Byrd, A. L., Belkaid, Y., and Segre, J. A. (2018).** The human skin microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, 16(3), 143-155.
- **Carmona-Cruz, S., Orozco-Covarrubias, L., and Sáez-de-Ocariz, M. (2022).** The human skin microbiome in selected cutaneous diseases. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 12, 834135.
- **Carota, E., Petruccioli, M., D'Annibale, A., Gallo, A. M., and Crognale, S. (2020).** Orange peel waste-based liquid medium for biodiesel production by oleaginous yeasts. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(10), 4617-4628.

- **Castro, J., Lima, Â., Sousa, L. G., Rosca, A. S., Muzny, C. A., and Cerca, N. (2022).** Crystal violet staining alone is not adequate to assess synergism or antagonism in multi-species biofilms of bacteria associated with bacterial vaginosis. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11,795-797.
- **Chapman, G. H. (1945).** The significance of sodium chloride in studies of staphylococci. *Journal of bacteriology*, 50(2), 201-203.
- **Chaudhari, P. R., Tamrakar, N., Singh, L., Tandon, A., and Sharma, D. (2018).** Rice nutritional and medicinal properties: A. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 150-156.
- **Chen, B., Hu, Z., Li, H., Li, Z., Li, Q., and Chen, Y. (2019).** Intact starch granules for pickering emulsion: exploring mechanism of cleaning with washing rice water and floury soup. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 561, 155-164.
- **Cheng, J., and Hata, T. (2020).** Dysbiosis of the skin microbiome in atopic dermatitis. *Skin Microbiome Handbook: From Basic Research to Product Development*, 185-201.
- **Choi, H. Y., Lee, Y. J., Kim, C. M., and Lee, Y. M. (2024).** Revolutionizing cosmetic ingredients: harnessing the power of antioxidants, probiotics, plant extracts, and peptides in personal and skin care products. *Cosmetics*, 11(5), 157.
- **Claesen, J., Spagnolo, J. B., Ramos, S. F., Kurita, K. L., Byrd, A. L., Aksenov, A. A., Melnik, A. V., Wong, W. R., Wang, S., Hernandez, R. D., Donia, M. S., Dorrestein, P. C., Kong, H. H., Segre, J. A., Linington, R. G., Fischbach, M. A., and Lemon, K. P. (2020).** A Cutibacterium acnes antibiotic modulates human skin microbiota composition in hair follicles. *Science translational medicine*, 12(570), eaay5445.
- **Cundell, A. M. (2018).** Microbial ecology of the human skin. *Microbial ecology*, 76(1), 113-120.
- **da Silva Vale, A., de Melo Pereira, G. V., de Oliveira, A. C., de Carvalho Neto, D. P., Herrmann, L. W., Karp, S. G., Soccol, V. T., and Soccol, C. R. (2023).** Production, formulation, and application of postbiotics in the treatment of skin conditions. *Fermentation*, 9(3), 264.
- **DAI, L., HUANG, C., YAN, H., WANG, Y., LU, Z., and WU, Y. (2024).** Study on the Anti-Lipogenesis Effect of Brown Rice Fermented by *Saccharomyces Cerevisiae*. *Journal of Cosmetic Science*, 75(3).

- **Dattola, A., Silvestri, M., Bennardo, L., Maria Passante, M., Elisabetta Scali, E., Cataldo Patruno, C., and Steven Paul Nisticò, S. P. (2020).** Role of Vitamins in Skin Health: a Systematic Review. *Curr Nutr Rep*, 9, 226-235.
- **de Man, J. D., Rogosa, D., and Sharpe, M. E. (1960).** A medium for the cultivation of lactobacilli. *Journal of applied microbiology*, 23(1), 130-135.
- **Dou, J., Feng, N., Guo, F., Chen, Z., Liang, J., Wang, T., Guo, X. and Xu, Z. (2023).** Applications of probiotic constituents in cosmetics. *Molecules*, 28(19), 6765.
- **Draelos, Z. D. (2018).** The science behind skin care: Moisturizers. *Journal of cosmetic dermatology*, 17(2), 138-144.
- **Du, Z., Nakagawa, A., Fang, J., Ridwan, R., Astuti, W. D., Sarwono, K. A., Sofyan, A., Widyastuti, Y., and Cai, Y. (2024).** Cleaner anaerobic fermentation and greenhouse gas reduction of crop straw. *Microbiology Spectrum*, 12(7), e00520-24.
- **El-Gied, A. A. A., Abdelkareem, A. M., and Hamedelnie, E. I. (2015).** Investigation of cream and ointment on antimicrobial activity of Mangifera indica extract. *Journal of advanced pharmaceutical technology & research*, 6(2), 53-57.
- **Eskens, O. and Amin, S. (2021).** Challenges and effective routes for formulating and delivery of epidermal growth factors in skin care. *Int J Cosmet Sci*, 43, 123-130.
- **Eyerich, S., Eyerich, K., Traidl-Hoffmann, C., and Biedermann, T. (2018).** Cutaneous barriers and skin immunity: differentiating a connected network. *Trends in immunology*, 39(4), 315-327.
- **Farage, M. A., Miller, K. W., and Maibach, H. I. (2017).** Textbook of Aging Skin (2e éd.). Berlin, Allemagne : Springer. 2222.
- **Flowers, L., and Grice, E. A. (2020).** The skin microbiota: balancing risk and reward. *Cell host & microbe*, 28(2), 190-200.
- **Gaisawat, M. B., Iskandar, M. M., MacPherson, C. W., Tompkins, T. A., and Kubow, S. (2019).** Probiotic supplementation is associated with increased antioxidant capacity and copper chelation in C. difficile-infected fecal water. *Nutrients*, 11(9), 2007.
- **Giam, Y. C., Hebert, A. A., Dizon, M. V., Van Bever, H., Tiongco-Recto, M., Kim, K. H., Soebono, H., Munasir, Z., Diana, I. A., and Luk, D. C. K. (2016).** A review on the role of moisturizers for atopic dermatitis. *Asia Pacific Allergy*, 6(2), 120-128.

- **Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K. and Reid, G. (2017).** Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 14(8), 491-502.
- **Grice, E. A. (2015).** The intersection of microbiome and host at the skin interface: genomic-and metagenomic-based insights. *Genome research*, 25(10), 1514-1520.
- **Grice, E. A., and Dawson, T. L. (2017).** Host–microbe interactions: Malassezia and human skin. *Current opinion in microbiology*, 40, 81-87.
- **Ha, H. K., Jeon, N. E., Kim, J. W., Han, K. S., Yun, S. S., Lee, M. R., and Lee, W. J. (2016).** Physicochemical characterization and potential prebiotic effect of whey protein isolate/inulin nano complex. *Korean journal for food science of animal resources*, 36(2), 267.
- **He, X., Gao, X., Guo, Y., and Xie, W. (2024).** Research progress on bioactive factors against skin aging. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(7), 3797.
- **Herman, A. (2019).** Antimicrobial ingredients as preservative booster and components of self-preserving cosmetic products. *Current microbiology*, 76(6), 744-754.
- **Hernández-González, J. C., Martínez-Tapia, A., Lazcano-Hernández, G., García-Pérez, B. E., and Castrejón-Jiménez, N. S. (2021).** Bacteriocins from lactic acid bacteria. A powerful alternative as antimicrobials, probiotics, and immunomodulators in veterinary medicine. *Animals*, 11(4), 979.
- **Holgado, F., Campos-Monfort, G., de las Heras, C., and Rupérez, P. (2021).** In vitro fermentability of globe artichoke by-product by *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum*. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 26, 100286.
- **Hong, K. B., Jeong, M., Han, K. S., Hwan Kim, J., Park, Y., and Suh, H. J. (2015).** Photoprotective effects of galacto-oligosaccharide and/or *Bifidobacterium longum* supplementation against skin damage induced by ultraviolet irradiation in hairless mice. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(8), 923-930.
- **Indira, M., Venkateswarulu, T. C., Abraham Peele, K., Nazneen Bobby, M., and Krupanidhi, S. (2019).** Bioactive molecules of probiotic bacteria and their mechanism of action: a review. *3 Biotech*, 9(8), 306.
- **Jarupinthusophon, S., Preechataninrat, P., and Anurukvorakun, O. (2022).** Development of liquid crystal cream containing germinated brown rice. *Applied Sciences*, 12(21), 11113.

- **Kerry, R. G., Patra, J. K., Gouda, S., Park, Y., Shin, H. S., and Das, G. (2018).** Benefaction of probiotics for human health: A review. *Journal of food and drug analysis*, 26(3), 927-939.
- **Khadangi, F., and Azzi, A. (2019).** Vitamin E—the next 100 years. *IUBMB life*, 71(4), 411-415.
- **Khalil, S., Bardawil, T., Stephan, C., Darwiche, N., Abbas, O., Kibbi, A. G., Nemer, G., and Kurban, M. (2017).** Retinoids: a journey from the molecular structures and mechanisms of action to clinical uses in dermatology and adverse effects. *Journal of Dermatological Treatment*, 28(8), 684-696.
- **Kim, D. H., Jeong, D., Oh, Y. T., Song, K. Y., Kim, H. S., Chon, J. W., Kim, H., and Seo, K. H. (2017).** Stimulating the growth of Kefir-isolated lactic acid bacteria using addition of crude flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Extract. *Journal of Dairy Science and Biotechnology*, 35(2), 93-97.
- **Kočevár Glavač, N., and Lunder, M. (2018).** Preservative efficacy of selected antimicrobials of natural origin in a cosmetic emulsion. *International journal of cosmetic science*, 40(3), 276-284.
- **Kouadio, N., Goualie, B., Ouattara, H., Kra, S., and Niamke, S. (2016).** Microorganisms associated with traditional plantain-based food “dockounou” during spontaneous fermentation. *Food and Environment Safety Journal*, 13(3).
- **Kumari, T., Das, A. J., Das, A. B., Reddy, C. K., and Deka, S. C. (2024).** Prebiotic activity of enzymatically modified pea peel dietary fiber: An in vitro study. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 32, 100452
- **Lalita, C., and Shalini, G. (2020).** Creams: A review on classification, preparation methods, evaluation and its applications. *JDDT*, 10, 281-289.
- **Lee, C., Bajor, J., Moaddel, T., Subramanian, V., Lee, J. M., Marrero, D., Rocha, S., and Tharp, M. D. (2019).** Principles of moisturizer product design. *Journal of drugs in dermatology: JDD*, 18(1s), s89-s95.
- **Lee, D. E., Lee, S., Jang, E. S., Shin, H. W., Moon, B. S., and Lee, C. H. (2016).** Metabolomic Profiles of *Aspergillus oryzae* and *Bacillus amyloliquefaciens* During Rice *Koji* Fermentation. *Molecules*, 21(6), 773.
- **Lee, G. Y., and Han, S. N. (2018).** The role of vitamin E in immunity. *Nutrients*, 10(11), 1614.

- **Lee, J., Suk, J., and Kang, S. (2018).** Effect of *Lactobacillus rhamnosus* KCTC 5033 on the Appearance of Facial Skin due to the Ingestion of Probiotics and Paraprobiotics. *J. Investig. Cosmetol*, 14, 287-296.
- **Li, H., Goh, B. N., Teh, W. K., Jiang, Z., Goh, J. P. Z., Goh, A., Wu, G., Hoon, S. S., Raida, M., Camattari, A., Yang, L., O'Donoghue, A. J., and Dawson Jr, T. L. (2018).** Skin commensal *Malassezia globosa* secreted protease attenuates *Staphylococcus aureus* biofilm formation. *Journal of Investigative Dermatology*, 138(5), 1137-1145.
- **Li, Z., Zheng, M., Zheng, J., and Gänzle, M. G. (2023).** *Bacillus* species in food fermentations: An underappreciated group of organisms for safe use in food fermentations. *Current Opinion in Food Science*, 50, 101007.
- **Lin, Z., Chen, L., Qi, C., and Wang, G. (2025).** Skin microecology and skin barrier repair, wound healing and appendage regeneration. *Regenesi Repair Rehabilitation*.
- **Liu, N., Miao, S., and Qin, L. (2020).** Screening and application of lactic acid bacteria and yeasts with l-lactic acid-producing and antioxidant capacity in traditional fermented rice acid. *Food Science & Nutrition*, 8(11), 6095-6111.
- **Liu, N., Qin, L., Pan, J., and Miao, S. (2022).** Characteristics of traditional Chinese acidic rice soup (rice-acid) prepared with different fermentation methods. *Food Science and Human Wellness*, 11(2), 277-288.
- **Liu, S., Zhao, L., Li, M., Zhu, Y., Liang, D., Ma, Y., Sun, L., Zhao, G. and Tu, Q. (2024).** Probiotic *Bacillus* as fermentation agents: Status, potential insights, and future perspectives. *Food Chemistry: X*, 101465.
- **Lolou, V., and Panayiotidis, M. I. (2019).** Functional role of probiotics and prebiotics on skin health and disease. *Fermentation*, 5(2), 41.
- **Lopes, J. P., and Lionakis, M. S. (2022).** Pathogenesis and virulence of *Candida albicans*. *Virulence*, 13(1), 89-121.
- **Lopetuso, L. R., Giorgio, M. E., Saviano, A., Scaldaferri, F., Gasbarrini, A., and Cammarota, G. (2019).** Bacteriocins and bacteriophages: therapeutic weapons for gastrointestinal diseases?. *International journal of molecular sciences*, 20(1), 183.
- **Luna, P. C. (2020).** Skin microbiome as years go by. *American journal of clinical dermatology*, 21(1), 12-17.
- **Mackinlay, A. (2022).** Biochemical Terminology: Derivations and Definitions of the Universal Language of Biology. Xlibris Corporation.

- **Manrique, P., Bolduc, B., Walk, S. T., van der Oost, J., de Vos, W. M., and Young, M. J. (2016).** Healthy human gut phageome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(37), 10400-10405.
- **Markowiak, P., and Śliżewska, K. (2017).** Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 9(9), 1021.
- **Marto, J., Neves, Â., Gonçalves, L. M., Pinto, P., Almeida, C., and Simões, S. (2018).** Rice water: A traditional ingredient with anti-aging efficacy. *Cosmetics*, 5(2), 26.
- **Mawazi, S. M., Ann, J., Othman, N., Khan, J., Alolayan, S. O., Al thagfan, S. S., and Kaleemullah, M. (2022).** A review of moisturizers; history, preparation, characterization and applications. *Cosmetics*, 9(3), 61.
- **Michalak, M., Pierzak, M., Kręcis, B., and Suliga, E. (2021).** Bioactive compounds for skin health: A review. *Nutrients*, 13(1), 203.
- **Milani, C., Duranti, S., Bottacini, F., Casey, E., Turrone, F., Mahony, J., Belzer, C., Delgado Palacio, S., Arboleja Montes, S., Mancabelli, L., Lugli, G.A., Rodriguez, J.M., Bode, L., de Vos, W., Gueimonde, M., Margolles, A., van Sinderen, D., and Ventura, M. (2017).** The first microbial colonizers of the human gut: composition, activities, and health implications of the infant gut microbiota. *Microbiology and molecular biology reviews*, 81(4), 10-1128.
- **Mohiuddin, A. K. (2019).** Skin care creams: formulation and use. *Dermatol Clin Res*, 5(1), 238-271.
- **Mokoena, M. P. (2017).** Lactic acid bacteria and their bacteriocins: classification, biosynthesis and applications against uropathogens: a mini-review. *Molecules*, 22(8), 1255.
- **Mueller, J. H., and Hinton, J. (1941).** A protein-free medium for primary isolation of the Gonococcus and Meningococcus. *Proceedings of the society for Experimental Biology and Medicine*, 48(1), 330-333.
- **Muniasamy, R., Venkatachalam, P., Rangarajan, V., Samal, S., and Rathnasamy, S. (2023).** A comprehensive perspective on sustainable bioprocessing through extractive fermentation: Challenges and prospects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(3), 715-737.
- **Nabayi, A., Sung, C. T. B., Zuan, A. T. K., Paing, T. N., and Akhir, N. I. M. (2021).** Chemical and microbial characterization of washed rice water waste to assess its potential as plant fertilizer and for increasing soil health. *Agronomy*, 11(12), 2391.

- Nakatsuji, T., Chen, T. H., Narala, S., Chun, K. A., Two, A. M., Yun, T., Shafiq, F., Kotol, P. F., Bouslimani, A., Melnik, A. V., Latif, H., Kim, J. N., Lockhart, A., Artis, K., David, G., Taylor, P., Streib, J., Dorrestein, P. C., Grier, A., Gill, S. R., Zengler, K., Hata, T. R., Leung, D. Y. M., and Gallo, R. L. (2017). Antimicrobials from human skin commensal bacteria protect against *Staphylococcus aureus* and are deficient in atopic dermatitis. *Science translational medicine*, 9(378), eaah4680.
- Nawaz, A., Mechal, Q., Francis, N., Tahir, A., Mukhtar, H., and Ul Haq, I. (2017). Lactic Acid Production using Food Waste. *International Journal Of Engineering Research & Technology (Ijert)*, 6(5), 1044 - 1055.
- Nguyen, J. K., Masub, N., and Jagdeo, J. (2020). Bioactive ingredients in Korean cosmeceuticals: Trends and research evidence. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(7), 1555-1569.
- Nhani, G. B. B., Di Filippo, L. D., de Paula, G. A., Mantovanelli, V. R., da Fonseca, P. P., Tashiro, F. M., Monteiro, D. C., Fonseca-Santos, B., Duarte, J. L., and Chorilli, M. (2024). High-tech sustainable beauty: Exploring nanotechnology for the development of cosmetics using plant and animal by-products. *Cosmetics*, 11(4), 112.
- Ogawa, Y., Kinoshita, M., Shimada, S., and Kawamura, T. (2018). Zinc and skin disorders. *Nutrients*, 10(2), 199.
- Patra, V., Byrne, S. N., and Wolf, P. (2016). The skin microbiome: is it affected by UV-induced immune suppression?. *Frontiers in microbiology*, 7, 1235.
- Pazyar, N., Houshmand, G., Yaghoobi, R., Hemmati, A. A., Zeineli, Z., and Ghorbanzadeh, B. (2019). Wound healing effects of topical Vitamin K: A randomized controlled trial. *Indian J Pharmacol*, 51, 88-2.
- Pérez-Rivero, C., and López-Gómez, J. P. (2023). Unlocking the potential of fermentation in cosmetics: A review. *Fermentation*, 9(5), 463.
- Piquero-Casals, J., Morgado-Carrasco, D., Granger, C., Trullàs, C., Jesús-Silva, A., and Krutmann, J. (2021). Urea in dermatology: a review of its emollient, moisturizing, keratolytic, skin barrier enhancing and antimicrobial properties. *Dermatology and therapy*, 1-11.
- Pop, C., Suharoschi, R., and Pop, O. L. (2021). Dietary fiber and prebiotic compounds in fruits and vegetables food waste. *Sustainability*, 13(13), 7219.

- **Popova, T. P., Ignatov, I., Petrova, T. E., Kaleva, M. D., Huether, F., and Karadzhov, S. D. (2022).** Antimicrobial activity in vitro of cream from plant extracts and nanosilver, and clinical research in vivo on veterinary clinical cases. *Cosmetics*, 9(6), 122.
- **Prescott, S. L., Larcombe, D. L., Logan, A. C., West, C., Burks, W., Caraballo, L., Levin, M., Van Etten, E., Horwitz, P., Kozyrskyj, A., and Campbell, D. E. (2017).** The skin microbiome: impact of modern environments on skin ecology, barrier integrity, and systemic immune programming. *World Allergy Organization Journal*, 10, 1-16.
- **Purnamawati, S., Indrastuti, N., Danarti, R., and Saefudin, T. (2017).** The role of moisturizers in addressing various kinds of dermatitis: a review. *Clinical medicine & research*, 15(3-4), 75-87.
- **Rajkumar, J., Chandan, N., Lio, P., and Shi, V. (2023).** The skin barrier and moisturization: function, disruption, and mechanisms of repair. *Skin Pharmacology and Physiology*, 36(4), 174-185.
- **Ramos, M., Laveriano, E., San Sebastián, L., Perez, M., Jiménez, A., Lamuela-Raventos, R. M., Garrigós, M. C., and Vallverdú-Queralt, A. (2023).** Rice straw as a valuable source of cellulose and polyphenols: Applications in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 131, 14-27.
- **Rana, A.K., and Thakur, V.K. (2025).** Advances and new horizons in metabolic engineering of heterotrophic bacteria and cyanobacteria for enhanced lactic acid production. *Bioresource Technology*, 419, 131951.
- **Rana, S., and Upadhyay, L. S. B. (2020).** Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *International journal of biological macromolecules*, 157, 577-583.
- **Rani, A., Saini, K. C., Bast, F., Mehariya, S., Bhatia, S. K., Lavecchia, R., and Zuorro, A. (2021).** Microorganisms: A Potential Source of Bioactive Molecules for Antioxidant Applications. *Molecules*, 26(4), 1142.
- **Ribeiro, A. S., Estanqueiro, M., Oliveira, M. B., and Sousa Lobo, J. M. (2015).** Main benefits and applicability of plant extracts in skin care products. *Cosmetics*, 2(2), 48-65.
- **Ribeiro, E. C., Araújo, E. K. N., Penha, M. S. C., Nascimento, A. S. D., da Silva, D. F., and Miranda, R. D. C. M. D. (2025).** Optimisation of Potato Dextrose Agar Culture Medium for Actinobacteria Growth. *Microorganisms*, 13(3), 654.

- Ricci, A., Diaz, A. B., Caro, I., Bernini, V., Galaverna, G., Lazzi, C., and Blandino, A. (2019). Orange peels: from by-product to resource through lactic acid fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(15), 6761-6767.
- Rossi, E., Ali, A., Efendi, R., Restuhadi, F., Zalfiatri, Y., Sofyan, Y., Aritonang, S.N., and Purwati, E. (2021). Characterization of bacteriocin produced by lactic acid bacteria isolated from solid waste of soymilk production. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 709(1), 012020.
- Rybczyńska-Tkaczyk, K., Grenda, A., Jakubczyk, A., Kiersnowska, K., and Bik-Malodzińska, M. (2023). Natural compounds with antimicrobial properties in cosmetics. *Pathogens*, 12(2), 320.
- Sánchez, B., Delgado, S., Blanco-Míguez, A., Lourenço, A., Gueimonde, M., and Margolles, A. (2017). Probiotics, gut microbiota, and their influence on host health and disease. *Molecular nutrition & food research*, 61(1), 1600240.
- Şener, H. (2018). Effect of temperature and duration of maceration on colour and sensory properties of red wine: A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(2), 1-8.
- Sethi, A., Kaur, T., Malhotra, S. K., and Gambhir, M. L. (2016). Moisturizers: the slippery road. *Indian journal of dermatology*, 61(3), 279-287.
- Shahidi, F., and Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of functional foods*, 18, 820-897.
- Silletta, A., Mancuso, A., d'Avanzo, N., Cristiano, M. C., and Paolino, D. (2024). Antimicrobial Compounds from Food Waste in Cosmetics. *Cosmetics*, 11(5), 151.
- Sivamaruthi, B., Kesika, P., and Chaiyasut, C. (2018). A comprehensive review on functional properties of fermented rice bran. *Pharmacognosy Reviews*, 12(24), 218-224.
- Skowron, K., Bauza-Kaszewska, J., Kraszewska, Z., Wiktorczyk-Kapischke, N., Grudlewska-Buda, K., Kwiecińska-Piróg, J., Walecka-Zacharska, E., Radtke, L., and Gospodarek-Komkowska, E. (2021). Human skin microbiome: impact of intrinsic and extrinsic factors on skin microbiota. *Microorganisms*, 9(3), 543.
- Sood, S., Singhal, R., Bhat, S., and Kumar, A. (2011). Inoculum Preparation in: Moo-Young, M. *Comprehensive Biotechnology*. Newnes : Elsevier, 151-164.
- Sørensen, H. M., Rochfort, K. D., Maye, S., MacLeod, G., Brabazon, D., Loscher, C., and Freeland, B. (2022). Exopolysaccharides of lactic acid bacteria: production, purification and health benefits towards functional food. *Nutrients*, 14(14), 2938.

- **Sowbarnika, R., Anhuradha, S., and Preetha, B. (2018).** Enhanced antimicrobial effect of yeast mediated silver nanoparticles synthesized from baker's yeast. *International Journal of nanoscience and nanotechnology*, 14(1), 33-42.
- **Sultana, M. S., Khatun, M., and Rahman, A. (2024).** Antimicrobial Activities and Probiotic Properties of *Bacillus* sp. Strains Isolated from Fermented Cooked Rice. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 52(3), 288-297.
- **Swanson, K. S., Gibson, G. R., Hutkins, R., Reimer, R. A., Reid, G., Verbeke, K., Scott, K. P., Holscher, H. D., Azad, M. B., Delzenne, N. M., and Sanders, M. E. (2020).** The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17(11), 687-701.
- **Terzaghi, B. E., and Sandine, W. (1975).** Improved medium for lactic streptococci and their bacteriophages. *Applied microbiology*, 29(6), 807-813.
- **Tosif, M. M., Najda, A., Bains, A., Kaushik, R., Dhull, S. B., Chawla, P., and Walasek-Janusz, M. (2021).** A comprehensive review on plant-derived mucilage: characterization, functional properties, applications, and its utilization for nanocarrier fabrication. *Polymers*, 13(7), 1066.
- **Trchounian, A., and Trchounian, K. (2019).** Fermentation revisited: how do microorganisms survive under energy-limited conditions?. *Trends in Biochemical Sciences*, 44(5), 391-400.
- **Trevisol, T. C., Henriques, R. O., Cesca, K., Souza, A. J. A., and Furigo Jr, A. (2022).** In vitro effect on the proteolytic activity of papain with proteins of the skin as substrate. *International Journal of Cosmetic Science*, 44(5), 542-554.
- **Troshchynska, Y., Bleha, R., Synytsya, A., and Štětina, J. (2022).** Chemical composition and rheological properties of seed mucilages of various yellow-and brown-seeded flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. *Polymers*, 14(10), 2040.
- **Two, A. M., Wu, W., Gallo, R. L., and Hata, T. R. (2015).** Rosacea: part I. Introduction, categorization, histology, pathogenesis, and risk factors. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 72(5), 749-758.
- **Uberoi, A., Bartow-McKenney, C., Zheng, Q., Flowers, L., Campbell, A., Knight, S. A., Mauldin, E., Sutter, T. R., and Grice, E. A. (2021).** Commensal microbiota regulates skin barrier function and repair via signaling through the aryl hydrocarbon receptor. *Cell host & microbe*, 29(8), 1235-1248.

- **Ustymenko, R. (2023).** Trends and innovations in cosmetic marketing. *Economics & Education*, 8(3), 12-17.
- **Wang, Y., Branicky, R., Noë, A., and Hekimi, S. (2018).** Superoxide dismutases: Dual roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling. *Journal of Cell Biology*, 217(6), 1915-1928.
- **Wang, Y., Wu, J., Lv, M., Shao, Z., Hungwe, M., Wang, J., and Geng, W. (2021).** Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 9, 612285.
- **Wilson, E.E., Zeitoun, F.M., and Fredrickson, D.L. (1967).** Bacterial phloem canker, a new disease of Persian walnut trees. *Phytopathology*, 57, 618-621.
- **Xie, H., Liao, Y., Woo, M. W., Xiong, H., and Zhao, Q. (2023).** Whey protein hydrolysates as prebiotic and protective agent regulate growth and survival of *Lactobacillus rhamnosus* CICC22152 during spray/freeze-drying, storage and gastrointestinal digestion. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(3), 1237-1246.
- **Yang, F., Hu, Y., Wu, M., Guo, M., and Wang, H. (2025).** Biologically Active Components and Skincare Benefits of Rice Fermentation Products: A Review. *Cosmetics*, 12(1), 29.
- **Yildiz, H., and Karatas, N. (2018).** Microbial exopolysaccharides: Resources and bioactive properties. *Process Biochemistry*, 72, 41-46.
- **Yoon, H. J., Lee, K. A., Lee, J. H., Jin, H. J., Kim, H. J., Kim, K. T., and Paik, H. D. (2015).** Effect of fermentation by *Bacillus subtilis* on antioxidant and cytotoxic activities of black rice bran. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 612-618.
- **Yu, J., Luo, Y., Zhu, Z., Zhou, Y., Sun, L., Gao, J., Sun, J., Wang, G., Yao, X., and Li, W. (2019).** A tryptophan metabolite of the skin microbiota attenuates inflammation in patients with atopic dermatitis through the aryl hydrocarbon receptor. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 143(6), 2108-2119.
- **Zafar, S., and Jianlong, X. (2023).** Recent advances to enhance nutritional quality of rice. *Rice Science*, 30(6), 523-536.
- **Zendeboodi, F., Khorshidian, N., Mortazavian, A. M., and da Cruz, A. G. (2020).** Probiotic: conceptualization from a new approach. *Current Opinion in Food Science*, 32, 103-123.

- **Zhang, X. E., Zheng, P., Ye, S. Z., Ma, X., Liu, E., Pang, Y. B., He, Q. Y., Zhang, Y. X., Li, W. Q., Zeng, J. H., and Guo, J. (2024).** Microbiome: role in inflammatory skin diseases. *Journal of Inflammation Research*, 1057-1082.

Annexes

Annexes

Annexe 01 : Composition des milieux de culture

Gélose nutritive (GN)

Peptone.....	5 g
Extrait de viande	3 g
Agar.....	15 g
Eau distillée.....	1 L
pH	$7 \pm 0,2$ à 25°C
Autoclavage	121°C / 15 min

Potato Dextrose Agar (PDA)

Pomme de terre	200 g
Glucose	20 g
Agar	20 g
Eau distillée	1 L
Autoclavage	121°C / 15 min

Sabouraud

Peptone de caséine.....	5 g
Peptone de viande.....	5 g
Dextrose.....	40 g
Agar.....	15 g
Eau distillée	1 L
pH	$5,6 \pm 0,2$ à 25°C
Autoclavage	121°C / 15 min

Potato Dextrose Broth (PDB) modifié

Saccharose..... 10 g
Pomme de terre.....200 g
Eau distillée.....1L
Autoclavage121 °C / 15 min

Yeast Dextrose Calcium carbonate (YDC) (Wilson et al., 1967)

Extrait de levure.....10 g
Glucose.....20 g
Carbonate de calcium.....20 g
Agar.....15 g
Eau distillée.....1L
Autoclavage121 °C / 15 min

Levain

Extrait de levure.....2 g
Bactopeptone.....5 g
Saccharose.....50 g
Chlorure de sodium.....5 g
Agar bactériologique.....20 g
Eau distillée.....1L
pH.....7,2
Autoclavage121 °C / 15 min

Man, Rogosa and Sharpe Agar (MRS) (de Man et al., 1960)

Peptone.....	10 g
Extrait de viande.....	10 g
Extrait de levure.....	5 g
Glucose.....	20 g
Citrate triammonique	2 g
Acétate de sodium.....	5 g
K ₂ HPO ₄	2 g
MgSO ₄ ·7H ₂ O.....	0,2 g
MnSO ₄ ·4H ₂ O.....	0,05 g
Tween 80.....	1 mL
Agar.....	15 g
Eau distillée.....	1 L
pH.....	6,2 ± 0,2
Autoclavage.....	120 °C / 15 min

M17 (Terzaghi et Sandine, 1975)

Phytone peptone.....	5 g
Polypeptone.....	5 g
Extrait de viande.....	5 g
Extrait de levure.....	2,5 g
Lactose.....	5 g
Acide ascorbique.....	0,5 g
Disodium-β-glycérophosphate.....	19 g
1M MgSO ₄ ·7H ₂ O.....	1m L
Agar.....	10 g
Eau distillée.....	1 L
pH.....	7,15 ± 0,05
Autoclavage.....	121 °C / 15 min

Mueller-Hinton (Mueller et Hinton, 1941)

Peptone17,5 g
Extrait de viande2 g
Amidon1,5 g
Agar17 g
Eau distillée.....1 L
pH7,3 ± 0,2
Autoclavage.....121°C/ 15 min

Chapman (Chapman, 1945)

Peptones10 g
Extrait de viande de bœuf1 g
D-mannitol10 g
Chlorure de sodium75 g
Rouge de phénol0,025 g
Agar15 g
Eau distillée.....1 L
pH7,4 ± 0,2
Autoclavage.....121°C/ 15 min

PCA (Buchbinder et *al.*, 1951)

Peptone de caséine.....5 g
Extrait de levure2,5 g
Glucose1 g
Agar15 g
Eau distillée.....1 L
pH7,0 ± 0,2
Autoclavage.....121°C/ 15 min

Lait UHT

Glucides.....	4,5 g
Dont sucres.....	4,5 g
Proteines.....	3 g
Sel.....	0,1 g
Calcium.....	120 mg
Lipides.....	1,5 g
Dont acides gras saturés.....	1g

L'eau minéralisée

Calcium.....	80 mg/l
Magnesium.....	14 mg/l
Potassium.....	1 mg/l
Sodium.....	30 mg/l
Chlorures.....	50 mg/l
Sulfates.....	75 mg/l
Bicarbonates.....	214 mg/l
Nitrites.....	0 mg/l
Nitrates.....	5,10 mg/l
Residus sec à 180° C.....	360 mg/l
pH.....	6, 92

Annexe 02 : Matériel et réactifs chimiques

1. Matériel

Balance Adventurer™ OHAUS

Plafond maximum.....510g.

Minimum.....0.01g.

Jenway™ Spectrophotomètre UV/Visible 6305

Agitateur magnétique chauffant IKAMAG® RCT

Temperature50-300°C.

Vitesse..... 0-1100rpm.

Etuve bactériologique memmert de 37°C

Agitateur magnétique chauffant IKA® RCT basic

Température..... ambiante-340°C.

Vitesse50-1700 tr/min.

Le pH-mètre de paillasse PH211R, HANNA®

Bain marie MEMMERT basic 10L

Température..... +5°C à $\geq 95^{\circ}\text{C}$ (position ébullition).

Agitateur vortex

Vitesse.....0 à 2500tr/min.

2. Réactifs chimiques

- Bleu de méthylène.
- Violet de gentiane.
- Lugol.
- Fuchsine.
- Solution d'éthanol-acétone (75:25).
- Cristal violet à 1% (W/V).
- Glycérol stérile.
- Saccharose.

Année universitaire : 2024-2025	Présenté par : MESSAADI Meriem Houria MALKI Yara
Suivi de la fermentation spontanée du riz et valorisation de son eau usée pour la croissance des probiotiques	
Mémoire pour l’obtention du diplôme de Master en Microbiologie appliquée	
<p>Résumé</p> <p>Dans un contexte de transition vers des produits cosmétiques plus naturels, durables et efficaces, la fermentation de matières premières végétales suscite un intérêt croissant. Ce travail visait à valoriser le riz et son eau usée, enrichi en coproduits alimentaires, comme substrats de fermentation pour une application cosmétique à potentiel antimicrobien. Deux approches ont été explorées : en premier lieu, une fermentation spontanée suivie d’une fermentation contrôlée du riz par une levure endogène, pour améliorer sa texture et son aptitude à une application topique ; en deuxième lieu, une co-fermentation de milieux à base d’eau de riz usée, enrichis en écorce de grenade, en mucilage de graines de lin et en lactosérum, avec des probiotiques (<i>Lactobacillus acidophilus</i> ; <i>Lactobacillus plantarum</i> ; <i>Bifidobacterium lactis</i> ; <i>Bifidobacterium breve</i> ; <i>Saccharomyces cerevisiae</i>). Les résultats ont montré que la fermentation contrôlée améliore sensiblement la texture du riz, et que les synbiotiques développés dans l’eau de riz usée améliorent l’activité antibactérienne contre des bacilles résistantes au traitement thermique, surtout en présence d’écorce de grenade. Ces travaux démontrent le potentiel des matrices fermentées de riz comme ingrédients cosmétiques fonctionnels et illustrent l’intérêt de la valorisation des sous-produits alimentaires dans une logique d’économie circulaire. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour évaluer la stabilité physico-chimique, caractériser les composés bioactifs générés et valider leur efficacité sur des modèles cutanés.</p>	
<p>Mots- clés : riz, fermentation spontanée, fermentation contrôlée, eau de riz usée, activité anti-bactérienne, probiotiques.</p>	
<p>Laboratoires de recherche : laboratoire pédagogique n°8 de Microbiologie (U Constantine 1 Frères Mentouri).</p>	
<p>Président du jury : Dr ARABET Dallel (MC(A) - U Constantine1 Frères Mentouri).</p> <p>Encadrant : Dr DERABLI Bisma (MC(B) - U Constantine1 Frères Mentouri).</p> <p>Examineur(s) : Dr BOUFERCHA Oumeima (MC(B) - U Constantine1 Frères Mentouri).</p>	