

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présentée par :

Mlle. KHALIFA Nada Ghezlane

Mlle. BENBRAHIM Aya Ghazlen

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité

THEME

Valorisation du mucilage des graines d'anis vert (*Pimpinella anisum* L.)
dans un yaourt probiotique enrichi s en *Lactobacillus plantarum*

Soutenu publiquement le 07 Juillet 2026

Devant les membres du jury

M.BEKADA Ahmed MohamedAli	Professeur	Encadrant	Université de Tissemsilt
M. BEKADA Anes	Doctorant	Co-encadrant	Université de Saida
M. AIT SAADADjamel	Professeur	Président	Université de Mostaganem
M. AIT CHABANE Ouiza	MCA	Examinatrice	Université de Mostaganem

Thème réalisé au laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition – Université de Mostaganem

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Avant tout, nous remercions **Allah**, le tout puissant, de nous avoir donné la force, la patience et le courage nécessaire pour réaliser ce travail. C'est grâce à lui que nous avons pu surmonter les difficultés et aller jusqu'au bout de ce projet.

Nous remercions chaleureusement **Mrs. BEKADA AhmedMohamed Ali**, professeur à l'Université de Mostaganem, pour son encadrement, ses conseils et sa disponibilité. Son aide nous a beaucoup guidés et soutenus pendant tout le travail.

Nous adressons également nos remerciements à **Mrs. BEKADA Anas**, notre co-encadrant, pour sa patience, son suivi, son soutien, ses conseils précieux et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail.

Nos remerciements vont aussi à **Mrs AIT SADAA Djamel**, pour nous avoir accueillis dans son laboratoire et nous avoir permis de réaliser nos expériences dans des bonnes conditions .

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à Mrs **BEBOUZIANE Djilali**, responsable des laboratoires de la faculté des Science de la Nature et de la Vie Mostaganem, ainsi qu'à **Mrs SOUANE Abdelkader**, responsable de la répartition des produits, pour leur aide, leur disponibilité et leur contribution précieuse à la réalisation de ce travail.

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements à **Khawla**, doctorante au laboratoire, pour son soutien, sa patience et sa collaboration durant les travaux pratique.

Enfin, nous remercions **DAMENE Fatima**, technicienne du laboratoire, pour son aide, sa disponibilité et sa bonne humeur qui ont rendu notre travail plus agréable.

A toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire, nous adressons nos sincères remerciements.

Dédicaces

Avant toute chose, je remercie **Allah**, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la santé, la force et la patience nécessaires pour accomplir ce travail.

Du plus profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui me sont chères.

À mes chers parents, **KHALIFA Tadjedine** et **BENMESTOURA Fouzia**, qui ont toujours été mon refuge, ma force et ma plus grande source de motivation. Merci pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices, votre patience, vos encouragements et votre soutien constant tout au long de mon parcours. Aucun mot ne saurait exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance envers vous. Que Dieu vous protège et vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À mes chers frères, **Zaki et Afif**, pour leur affection, leurs conseils et leur soutien précieux qui ont toujours été une source de réconfort, merci d'avoir toujours été à mes côtés

À mes grands-parents, pour leur amour, leur sagesse et leurs bénédictions qui ont toujours éclairé mon chemin.

À mon binôme, **BENBRAHIM AyaGhozlen** avec qui j'ai partagé cette expérience universitaire. Je te remercie pour ton sérieux, ta patience et les efforts fournis tout au long de la réalisation de ce travail. Ce fut un plaisir de mener ce projet à tes côtés. Je te souhaite beaucoup de réussite, de bonheur et d'épanouissement dans la poursuite de tes projets.

Une pensée particulière à mon grand-père, **KHALIFA Abdelkader**, pour son affection, sa présence et son soutien inestimables.

À toute ma famille, pour son soutien, sa confiance et ses encouragements tout au long de ces années.

À mes chères cousines, **Nour, Hanaa, Serine, Jiji, Imane** et **Ismahane** pour leur affection, leur présence et les précieux moments partagés.

À mes chères amies, **Aicha, Wissal, Bouchra, WiametChaima**, pour leur amitié sincère, leur écoute, leurs encouragements et tous les merveilleux moments partagés ensemble. Votre présence a rendu mon parcours universitaire plus agréable et plus enrichissant

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et à la réussite de mon parcours universitaire, j'adresse mes plus sincères remerciements et ma profonde gratitude.

Dédicaces

Du plus profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui me sont chères. À mon cher père, **BENBRAHIM Bouabdellah**, et à ma chère mère, **MEDJBEUR Samira**, qui ont toujours été mon refuge, ma force et ma source d'inspiration.

Merci pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices, votre patience, vos encouragements et votre soutien constant tout au long de mon parcours. Aucun mot ne saurait exprimer toute ma gratitude et mon immense reconnaissance. Que Dieu vous protège et vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À mes chères sœurs, **Maram** et **Bouchra**, ainsi qu'à mon cher frère **Mohamed**, pour leur affection, leur présence réconfortante et leur soutien indéfectible. Merci d'avoir toujours cru en moi et d'avoir partagé avec moi les joies comme les difficultés. Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite que vous méritez.

À mes grands-parents, dont l'amour, la sagesse et les prières ont toujours illuminé mon chemin. Que Dieu vous préserve et vous accorde une vie remplie de santé et de sérénité.

À mon binôme, **Khalifa Nada Ghezlane**, avec qui j'ai partagé cette aventure universitaire. Merci pour ton sérieux, ta collaboration, ta patience et tous les efforts fournis pour mener à bien ce travail. Je te souhaite un avenir rempli de réussite et d'épanouissement.

À ma tante **MEEDJBEUR Nadia**, à son époux **NIATI Mohamed**, ainsi qu'à leurs enfants **Yassmine**, **Yacine** et **Yanis**, pour leur affection, leur bienveillance et leurs encouragements. Merci pour votre soutien et votre présence qui ont toujours été une source de réconfort.

À mes chères amies **Karima**, **Fatima** et **Wiam**, qui occupent une place particulière dans mon cœur. Merci pour votre amitié sincère, votre écoute, votre soutien et tous les merveilleux moments partagés ensemble. Votre présence a rendu mon parcours plus agréable et plus beau.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et à la réussite de mon parcours universitaire.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et à la réussite de mon parcours universitaire, j'adresse l'expression de ma profonde gratitude, de mon respect et de mon affection.

Résumé

L'objectif de cette étude était d'évaluer le potentiel prébiotique du mucilage extrait des graines d'anis vert (*Pimpinella anisum* L.) ainsi que son influence sur les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques d'un yaourt probiotique enrichi en *Lactobacillus plantarum*. Le mucilage a été extrait à partir des graines d'anis, avec un rendement d'extraction de 5,27 %, puis incorporé à différentes concentrations dans les formulations de yaourt. Les échantillons ont été conservés à 4 °C pendant 15 jours afin de suivre l'évolution du pH, de l'acidité titrable et de la viabilité des bactéries lactiques.

Les résultats ont montré que le mucilage d'anis présente une activité prébiotique comparable à celle de l'inuline de référence, avec des densités optiques atteignant des valeurs similaires à T24. Cette capacité à stimuler sélectivement la croissance de *Lactobacillus plantarum* confirme son potentiel prébiotique. Les populations bactériennes ont été maintenues au-dessus de 10⁶ UFC/mL tout au long des 15 jours de stockage, répondant ainsi aux critères requis pour les produits probiotiques.

Sur le plan physicochimique, une diminution progressive du pH a été observée dans les lots enrichis, atteignant des valeurs comprises entre 4,10 et 4,20 à J15, contre 4,50 pour le lot témoin. L'acidité titrable a augmenté progressivement, de 160 °D pour le lot témoin jusqu'à 220 °D pour les concentrations les plus élevées, traduisant une bonne stabilité du produit.

En conclusion, le mucilage extrait des graines d'anis vert constitue un ingrédient fonctionnel naturel prometteur, capable de soutenir la croissance des bactéries probiotiques et d'améliorer la qualité des yaourts enrichis, ouvrant ainsi des perspectives intéressantes pour le développement de produits laitiers synbiotiques.

Mots-clés : *Pimpinella anisum* L., mucilage, prébiotique, yaourt probiotique, *Lactobacillus plantarum*, qualité physicochimique, viabilité bactérienne.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the prebiotic potential of mucilage extracted from green anise (*Pimpinella anisum* L.) seeds and its influence on the physicochemical and microbiological characteristics of a probiotic yogurt enriched with *Lactobacillus plantarum*. The mucilage was extracted from anise seeds, with an extraction yield of 5.27%, and incorporated at different concentrations into yogurt formulations. The samples were stored at 4°C for 15 days in order to monitor changes in pH, titratable acidity, and the viability of lactic acid bacteria.

The results demonstrated that anise mucilage exhibits prebiotic activity comparable to that of the reference inulin, with optical density values reaching similar levels at T24. This ability to selectively stimulate the growth of *Lactobacillus plantarum* confirms its prebiotic potential. Bacterial populations were maintained above 10⁶ CFU/mL throughout the 15-day storage period, meeting the requirements for probiotic products.

From a physicochemical point of view, a progressive decrease in pH was observed in enriched formulations, reaching values between 4.10 and 4.20 at day 15, compared to 4.50 for the control. Titratable acidity increased progressively from 160 °D for the control to up to 220 °D at higher concentrations, reflecting good product stability.

In conclusion, mucilage extracted from green anise seeds represents a promising natural functional ingredient, capable of supporting probiotic bacterial growth and improving the quality of enriched yogurts, opening interesting perspectives for the development of synbiotic dairy products.

Keywords: *Pimpinella anisum* L., mucilage, prebiotic, probiotic yogurt, *Lactobacillus plantarum*, physicochemical quality, bacterial viability.

المخلص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الإمكانية البريبيوتكية للمخاط المستخرج من بذور اليانسون الأخضر و تأثيره على الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و الميكروبيولوجية لزبادي مدعم بالبكتيريا النافعة ثم استخراج المخاط من بذور اليانسون بمردود استخلاص بلغ 5,27% ثم إضافته بتركيزات مختلفة إلى تركيبات الزبادي . حفظت العينات عند درجة حرارة 4° درجة مئوية لمدة 15 يوماً و الحموضة القابلة للمعايرة ، و قابلية بقاء البكتيريا اللبنية . pH من أجل متابعة تطور الرقم الهيدروجيني

أظهرت النتائج أن مخاط اليانسون يمتلك نشاطاً بريبيوتيكياً مماثلاً لذلك المسجل مع الإينولين المرجعي عند وقت 24 ساعة، مع كثافات بصرية مماثلة . هذه القدرة على تحفيز نمو عند *Lactobacillus plantarum* بصورة انتقائية تؤكد إمكاناته البريبيوتكية . كما حافظت التركيبات المدعمة على أعداد بكتيرية تفوق 10^6 وحدة مكونة للمستعمرات/مل طوال فترة التخزين البالغة 15 يوماً، مستوفية بذلك المعايير المطلوبة للمنتجات البريبيوتكية.

على الصعيد الفيزيائي والكيميائي، لوحظ انخفاض تدريجي في الرقم الهيدروجيني في التركيبات المدعمة، إذ تراوحت قيمه بين 4,10 و 4,20 عند اليوم 15، مقارنةً بـ 4,50 للشاهد. كما ارتفعت الحموضة القابلة للمعايرة تدريجياً من 160 درجة دورنيك للشاهد إلى 220 درجة دورنيك عند التراكيز الأعلى، مما يعكس استقراراً جيداً للمنتج.

وخلاصة القول، يُمثل مخاط بذور اليانسون الأخضر مكوناً وظيفياً طبيعياً واعدًا، قادرًا على دعم نمو البكتيريا البريبيوتكية وتحسين جودة الزبادي المدعم، مما يفتح آفاقاً واعدة أمام تطوير منتجات ألبان سينيبيوتكية .

الكلمات المفتاحية: اليانسون الأخضر ، مخاط، بروبيوتيك، زبادي بروبيوتيك، فيزيائية، كيميائية، حيوية بكتيرية.

Listes des abréviations :

°C : Degré Celsius

°D : Degré Dornic

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle

P. anisum : *Pimpinella anisum* L. (Anis vert)

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

MHDP : méta-hydroxydiphényle.

MRS : Milieu MRS agar .

NaCl : Chlorure de sodium.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

OMS : Site officiel de l'Organisation mondiale de la Santé.

SM : Solution mère.

UFC/mL : Unités Formant Colonies par millilitre

USA : États-Unis.

USDA : Département de l'Agriculture des États-Unis.

UV : Ultraviolet

WHO : World Health Organization

Listes des figures

Figure 1 : Fleur d'anis (<i>Pimpinella anisum</i>) Terre Vivante (2020).....	6
Figure 2: Aspect externe des graines d'anis (<i>Pimpinella anisum</i> L.)(Monniaux, 2007)	7
Figure 3 : Composition chimique du mucilage (adapté de Mansuri et al., 2021).....	12
Figure 4 : Observation microscopique de <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus</i> (Gram positif)(Bondarev.gal, 2024).	22
Figure 5 : Micrographie de <i>Streptococcus thermophilus</i> dans un échantillon de yaourt (Science Photo Library,2018).....	23
Figure 6 : Diagramme général du procédé de fabrication du yaourt (Gouaich et Mekemeche, 2022).....	27
Figure 7 : Etapes d'extraction de mucilage des graines d'anis.....	32
Figure 8 : Développement de la coloration du radical DPPH lors de l'évaluation de l'activité antioxydante du mucilage de graines d'anis.	34
Figure 9 : Culot formé après la centrifugation de la souche probiotique	36
Figure 10 : Yaourts en cours de fermentation dans l'étuve	38
Figure 11 : Yaourts après 6h de Fermentation prêts à être stockés au réfrigérateur.....	38
Figure 12 : Evaluation du pH de yaourts.....	38
Figure 13 : Evaluation de l'acidité titrable du yaourt.....	39
Figure 14 : Préparation des dilutions décimales de yaourt.	40
Figure 15 : Incubation des boîtes de Pétri en anaérobiose	41
Figure 16 : Évaluation sensorielle des différents lots de yaourt enrichis en mucilage d'anis par un panel de dégustateurs.	42
Figure 17 : Le rendement d'extraction du mucilage des graines d'anis (<i>Pimpinella anisum</i>)	44
Figure 18 : Activité antioxydante du mucilage des grains d'anis évaluer par le test DPPH (<i>Pimpinella anisum</i>)	45
Figure 19 : Evaluation activité prébiotique du mucilage des grains d'anis sur la croissance de la souche <i>L.plantarum</i>	47
Figure 20 : Évolution des populations de <i>Streptococcus thermophilus</i> dans le yaourt réfrigéré à 4 °C pendant 15 jours	48
Figure 21 : Évolution des populations de <i>Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus</i> dans le yaourt réfrigéré à 4 °C pendant 15 jours.....	50
Figure 22 : Évolution des populations de <i>Lactobacillus plantarum</i> dans le yaourt réfrigéré à 4 °C pendant 15 jours	52
Figure 23 : Évolution du pH de 04 lots pendant 15 jours de stockage.	53
Figure 24 : Évolution d'acidité des 4 lots pendant 15 jours de stockage	54
Figure 25 : Évaluation sensorielle (cohésivité, adhésivité, goût acide, arrière-goût, odeur, couleur et acceptabilité globale) des yaourts probiotiques selon la concentration en mucilage de graines d'anis	57

Listes des tableaux

Tableau 1: Classification du <i>Pimpinella anisum</i> (Chevalier, 1943).....	6
Tableau 2 : Nutriments contenus dans les grains d’anis (U.S Department of Agriculture, Agriculture Research Service, 2024.)	8
Tableau 3 : Nomenclature pour les microorganismes probiotiques (World Gastroenterology Organisation, 2017)	28
Tableau 4 : Composition des lots expérimentaux de yaourt	35
Tableau 5 : Quantité de de mucilage ajoutée dans chaque lot.....	36

Tables des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Dédicaces	
Résumé	
Abstract	
الملخص	
Listes des abréviations	
Listes des figures	
Listes des tableaux	
Introduction.....	02

Partie 1 Synthèse bibliographique

Chapitre I Présentation de la plante (*Pimpinella anisum*)

1. Généralités	05
2. Utilisation	05
3. Habitat et description botanique	05
4. Taxonomie et classification	06
5. Origine, distribution géographique	06
6. Composition chimique	07
7. Utilisations En médecine traditionnelle	09
7.1. Usages en Algérie	09
8. Précaution.....	09

Chapitres II Les mucilages, et l'activité prébiotique

1. Les mucilages.....	12
1.1 Définition des mucilages	12
1. 2. Composition des mucilages	12
1.3. Les propriétés fonctionnelles	13
1.4. Applications alimentaires et pharmaceutique des mucilages	13
1.5 .Facteurs influençant les propriétés des mucilages	13
2. Les prébiotiques	14
2.1. Définition	14
2.2. Production des prébiotiques	14
2.3. Rôle des prébiotiques	14
2.4. Effets secondaires et tolérance des prébiotiques	15
2.5. Applications des prébiotiques dans l'alimentation humaine	15

2.6. Mécanisme d'action des prébiotique	16
3. Symbiotiques	16
3.1 Applications des symbiotiques dans les produits alimentaires	17

Chapitre III Les yaourts fonctionnels et les probiotiques

1. Généralité Le yaourt	19
1.1 Définition	19
1.2 Valeur nutritionnelle du yaourt	19
1.3 Les types du yaourt	20
2. Historique et origine du yaourt	21
2.1 Origine du yaourt (produit traditionnel)	21
3. Microbiologie du yaourt	21
3.1 Microorganismes spécifiques du yaourt	21
3.1.1 Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus	22
3.1.2 Streptococcus thermophilus	22
3.2 Relation symbiotique entre les bactéries du Yaourt	23
3.3 Activités technologiques des bactéries lactiques (Wang et al., 2024)	23
3.3.1 Activité acidifiante	24
3.3.2 Activité protéolytique	24
3.3.3 Production d'arômes	24
3.3.4 Amélioration de la texture	24
3.3.5 Activité antioxydante	25
4. Technologie de fabrication du yaourt	25
4.1 Préparation et standardisation du lait	25
4.2 Homogénéisation	25
4.3 Traitement thermique (pasteurisation)	25
4.4 Refroidissement et ensemencement (ajout des ferments)	26
4.5 Incubation (fermentation) –Etuvage	26
4.6 Refroidissement et Conservation	26
5. Probiotique dans le yaourt	28
5.1 Définition des probiotiques	28
5.2 Genres, espèces et souches de probiotiques	28
5.3 Mécanismes d'action des probiotiques	28
6. Effets du yaourt sur la santé	29

Partie 02 : Partie expérimentale

1. Objectifs	31
--------------------	----

1.2 Origine de la matière première.....	31
2.L'extraction des mucilages	31
3.Activité antioxydante	33
3.1. Préparation des solutions et test DPPH.....	33
4. Cinétique et activité prébiotique	34
4.1. Principe du test.....	34
4.2. Préparation des solutions de l'extrait de mucilage et d'inuline	34
4.3. Préparation de l'inoculum bactérien	35
4.5 . Inoculation de L plantarum et suivi de la croissance bactérienne.....	35
5.Protocole d'incorporation mucilages dans un yaourt probiotique	35
6.Les tests physico-chimiques et microbiologiques.....	37
6.1. Les tests physico-chimiques.....	37
6.1.1. pH.....	37
6.1.2. L'acidité titrable	39
7.Les analyses microbiologiques	40
7.1. Préparation des dilutions décimales de yaourts	40
7.2. Dénombrement des <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i>	40
7.3. Dénombrement de <i>Streptococcus thermophilus</i>	41
7.4. Dénombrement de <i>Lactobacillus plantarum</i>	41
8. Tests organoleptiques.....	42
Partie 3 Résultats et discussion	
1.Rendement de mucilage	44
2.Cinétique et activité prébiotiques.....	45
3.Activité antioxydante	47
4.Résultats des analyses microbiologiques	48
4.1. Résultats de l'évolution de <i>Streptococcus thermophilus</i>	48
4.2. Résultat de l'évolution de <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i>	50
4.3. Résultat de l'évolution de <i>Lactobacillus plantarum</i>	52
5.Résultats des analyses physicochimiques	53
5.1 pH.....	53
5.2. Acidité titrable.....	54
8. Qualité organoleptique du yaourt enrichi en mucilage.....	55
Conclusion	59
Références bibliographiques	61

Introduction

Introduction

Dans la nutrition et l'industrie alimentaire, les aliments fonctionnels prennent de plus en plus de place car ils apportent des bénéfices santé bien au-delà des calories de base. Les produits laitiers fermentés comme le yaourt sont parfaits pour ça : pleins de nutriments, tout le monde les aime, et ils peuvent transporter des microbes utiles (**Granato et al., 2010**).

La FAO/OMS définit les probiotiques comme des micro-organismes vivants qu'on donne en bonne dose pour aider la santé de celui qui les consomme (**FAO/OMS, 2002**). Ils maintiennent l'équilibre des intestins et boostent la santé globale, mais souvent la fabrication, le stockage ou l'acidité du milieu les affaiblit sérieusement (**Tripathi & Giri, 2014**).

C'est là qu'on couple probiotiques et prébiotiques pour faire des symbiotiques avec effet combiné. Les prébiotiques – des fibres que le corps ne digère pas – nourrissent juste les bonnes bactéries dans le ventre et les activent (**Roberfroid, 2007**).

Les mucilages végétaux, qui gonflent à l'eau et deviennent visqueux, épaississent, gélifient et stabilisent les aliments. Certains font même office de prébiotiques en aidant les probiotiques à pousser et à survivre plus longtemps (**Prajapati et al., 2013**). Les graines d'anis (*Pimpinella anisum* L.), avec leur anéthole et leur usage ancien en cuisine et médecine traditionnelle, en regorgent – un vrai potentiel pour texturer tout en ajoutant des effets bioactifs.

Mettre du mucilage d'anis dans un yaourt changerait sa tenue, son goût, ses propriétés physiques et chimiques, et garderait mieux les probiotiques en vie pour un vrai produit symbiotique.

Dans ce cadre, le présent travail expérimental vise à étudier l'effet de l'intégration des mucilages des graines d'anis dans des yaourts fonctionnels enrichis en probiotiques, afin d'évaluer leurs effets sur la viabilité des bactéries, les propriétés physico-chimiques et la qualité générale du produit.

Ce mémoire est structuré en trois parties complémentaires :

Une revue bibliographique présentant les concepts liés aux yaourts fonctionnels, aux probiotiques et prébiotiques, ainsi que les caractéristiques des mucilages des grains d'anis .

Une partie expérimentale, détaillant le matériel, les méthodes d'extraction et d'intégration, ainsi que les analyses effectuées.

Partie 1

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Présentation de la plante(*Pimpinella anisum*)

1. Généralités

L'anis vert, ou *Pimpinella anisum*, est une plante aromatique qui vient de la région méditerranéenne. On l'utilise depuis l'Antiquité-même à l'époque des pharaons pour ses super propriétés. Le genre *Pimpinella* compte une bonne centaine d'espèces dans le monde (environ 250) mais seule quelque une comme l'anisum, servent d'épice. Ce qu'on adore ce sont surtout ses graines au parfum ultra puissant, qu'on retrouve partout dans le domaine de l'alimentation et de la médecine (**Chevalier, 1943**).

2. Utilisation

Les graines d'anis vert sont utilisées depuis des millénaires aussi bien en alimentation qu'en médecine traditionnelle (**Sun et al., 2019**). Selon ces auteurs, les composés actifs de l'huile essentielle, notamment l'anéthol, confèrent à l'anis des propriétés antioxydantes, antibactériennes, antifongiques, anti-inflammatoires et antidiabétiques. Sur le plan thérapeutique, **Shojaii et Abdollahi Fard(2012)** rapportent que les fruits d'anis sont traditionnellement employés comme carminatif, expectorant et désinfectant en médecine iranienne, avec des effets antimicrobiens et relaxants musculaires également documentés. En cuisine, l'anis reste surtout valorisé pour son arôme caractéristique, qui entre dans la composition de nombreuses liqueurs anisées consommées en apéritif dans plusieurs pays méditerranéens (**Tepe et Tepe, 2015**).

3. Habitat et description botanique

Pimpinella anisum est une plante herbacée qui peut être annuelle ou parfois bisannuelle. Elle atteint généralement une hauteur comprise entre 50 et 80 cm et possède des tiges dressées et creuses. Ses feuilles, de couleur verte, sont disposées de façon alterné, avec un long pétiole et déversées en trois folioles. Les fleurs, petite blanche, sont regroupées en ombelles. Les fruits correspondent à des graines de couleur gris verdâtre, caractérisées par une odeur fortement aromatique, caractérisées par une odeur fortement aromatique (**Sun et al., 2019**).



Figure 1 : Fleur d'anis (*Pimpinella anisum*) Terre Vivante (2020)

4. Taxonomie et classification

Dans la classification systématique, l'anis vert (*Pimpinella anisum*) se classe dans le genre *Pimpinella* (famille des Apiacées), décrit par Linné dans *Species Plantarum* en 1753."

Tableau 1: Classification du *Pimpinella anisum*(Chevalier, 1943)

Royaume	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Apiale
Famille	Apiacées
Sous-famille	Apioideae
Genre	Pimpinella
Espèce	Pimpinella anisum

5. Origine, distribution géographique

L'anis vert (*Pimpinella anisum* L.) est une plante originaire de la région méditerranéenne orientale et du sud-ouest de l'Asie. Son centre d'origine se situe principalement en Turquie et au Moyen-Orient (**Kew Science, 2024**). Cette plante est connue et utilisée depuis l'Antiquité, notamment pour ses usages alimentaires et médicaux. Au fil du temps, sa culture s'est progressivement étendue à plusieurs régions du monde.

Grâce à ses nombreuses utilisations dans les domaines alimentaire, pharmaceutique et cosmétique, l'anis est aujourd'hui cultivé dans nombreux pays du monde. Ses graines sont largement utilisées comme épice et comme matière première dans la préparation de nombreuses formulations traditionnelles et industrielles (Soussi et *al.*, 2023).



Figure 2:Aspect externe des graines d'anis (*Pimpinella anisum* L.)(Monniaux, 2007)

6. Composition chimique

L'analyse de la composition photochimique des graines d'anis vert a été menée, et plusieurs études ont révélé la présence de composés bioactifs majeurs : les polyphénols, les flavonoïdes et les tanin.(Hemissi et Talhi, 2021).

Les graines de *Pimpinella anisum* L en g/100g se composent de : 17.60 protéines, 15.90 lipides, 50.02 glucides, 14.60 fibres, 0.646 Ca⁺⁺, 0.021 vitamine C, 311 unités internationales de vitamine A, 0.586 d'acides gras saturés et 9.99 d'acides gras insaturés (Charles, 2013 ; Kifouche etBelaidi,2023).

Tableau 2 : Nutriments contenus dans les grains d'anis (U.S Department of Agriculture, Agriculture Research Service, 2024.)

Nutriments	Quantité par portion
Protéines	17.60 g
Lipides	15.90 g
Glucides	50.90 g
Energie (en kCal)	337 kCal
Fibre alimentaires	14.6 g
Eau	9.54 g
Cholestérol	-
Sodium	16 mg
Fer	36.96 mg
Magnésium	170 mg
Zinc	5.30 mg
Vitamine C	21.0 mg
Vitamine E	-

7. Utilisations en médecine traditionnelle

Pimpinella anisum est une plante médicinale employée comme stimulant digestif, carminatif,

reconnue depuis l'Antiquité pour ses propriétés digestives, carminatives, antispasmodiques et galactogènes. Elle entre dans la composition de nombreux produits pharmaceutiques, sirops, pastilles, dentifrices, mais aussi dans les domaines de la parfumerie, de la liquoristerie et de l'alimentation. Dans les médecines traditionnelles, elle est utilisée pour soulager les troubles digestifs et respiratoires (**Chevalier, 1943 ; AlBalawi et al., 2023**)

7.1. Usages en Algérie

Usage interne : En Algérie, les graines d'anis sont principalement consommées en infusion pour faciliter la digestion et réduire les ballonnements. Elles sont également utilisées traditionnellement pour favoriser la lactation chez les femmes allaitantes (**Kifouche et Belaidi, 2023**).

Usage externe : L'huile essentielle d'anis est parfois employée en inhalation pour soulager les affections respiratoires. Les décoctions de graines sont également utilisées pour rafraîchir l'haleine et améliorer le confort buccal (**Albalawi et al., 2023**).

8. Précautions d'utilisation de l'anis

L'anis (*Pimpinella anisum* L.) est généralement bien toléré lorsqu'il est consommé aux doses habituellement utilisées en alimentation ou sous forme d'infusion. Cependant, comme toute plante médicinale, son usage doit rester modéré. Chez certaines personnes sensibles, notamment celles présentant une allergie aux plantes de la famille des Apiaceae, des réactions allergiques peuvent survenir. Par mesure de précaution, l'utilisation de préparations concentrées à base d'anis est déconseillée pendant la grossesse et l'allaitement sans avis médical. Il est également recommandé de respecter les doses préconisées afin d'éviter tout effet indésirable lié à une consommation excessive (**WHO, 2007 ; EMA, 2013**).

Intérêt nutritionnel et fonctionnel de *Pimpinella anisum* L

Pimpinella anisum L. est une plante largement reconnue pour sa richesse en composés bioactifs, ce qui lui confère un intérêt nutritionnel non négligeable. Les graines d'anis contiennent notamment des polyphénols, des flavonoïdes ainsi que des composés aromatiques comme l'anéthol, qui sont à l'origine de ses propriétés biologiques. Plusieurs travaux ont mis en évidence son activité antioxydante, liée à sa capacité à neutraliser les radicaux libres, ainsi que son effet antimicrobien vis-à-vis de certaines souches bactériennes (AlBalawi et al., 2023 ; Al-Wendawi et al., 2021).

Par ailleurs, la présence de polysaccharides, notamment sous forme de mucilage, confère à cette plante un intérêt particulier dans le domaine des aliments fonctionnels. Ces composés peuvent être utilisés comme substrats fermentescibles par certaines bactéries bénéfiques, contribuant ainsi à l'amélioration de l'équilibre du microbiote intestinal (Kassem et al., 2021).

Importance économique et valorisation de *Pimpinella anisum* L

Au-delà de ses propriétés biologiques, *Pimpinella anisum* L. présente également un intérêt économique notable. Cette plante est largement valorisée dans plusieurs secteurs, notamment l'agroalimentaire, la pharmacologie et la cosmétique. Les graines d'anis sont particulièrement exploitées pour l'extraction d'huiles essentielles riches en composés aromatiques, en particulier l'anéthol, responsable des caractéristiques organoleptiques typiques de cette plante (Sun et al., 2019).

Dans le domaine agroalimentaire, l'anis est couramment utilisé comme arôme naturel, mais aussi comme ingrédient fonctionnel dans la formulation de produits enrichis. L'intérêt croissant des consommateurs pour les aliments naturels et à valeur ajoutée a contribué à renforcer la demande pour cette plante (Soussi et al., 2023).

Par ailleurs, la valorisation de *Pimpinella anisum* L. s'inscrit dans une démarche de développement durable, visant à mieux exploiter les ressources végétales locales tout en répondant aux exigences actuelles en matière de qualité nutritionnelle et de sécurité alimentaire

Chapitres II

Les mucilages, et l'activité prébiotique

1. Les mucilages

1.1 Définition des mucilages

Le mucilage est une matière gluante présente dans diverses plantes, ainsi que chez certains micro-organismes tels que les algues et le phytoplancton. Il est essentiellement composé de polysaccharides, avec des quantités minimales de protéines, de minéraux, de graisses et d'acides uroniques.

En fonction de sa provenance, le mucilage peut présenter différentes formes. Le mucilage marin se manifeste principalement lors d'une multiplication massive des micro algues ou lorsqu'elles commencent à se décomposer. En revanche, le mucilage végétal est produit de manière naturelle par les plantes durant leur développement, ce qui facilite son extraction et permet d'en accumuler des volumes plus importants..(Gökşen et al., 2023).

1. 2. Composition des mucilages

Le mucilage est une matière polymérique sophistiquée, formée essentiellement de glucides hautement ramifiés, incluant l'arabinose, le D-galactose, le L-rhamnose, le D-xylose et l'acide glucuronique en diverses proportions (Sepulveda et al., 2007).

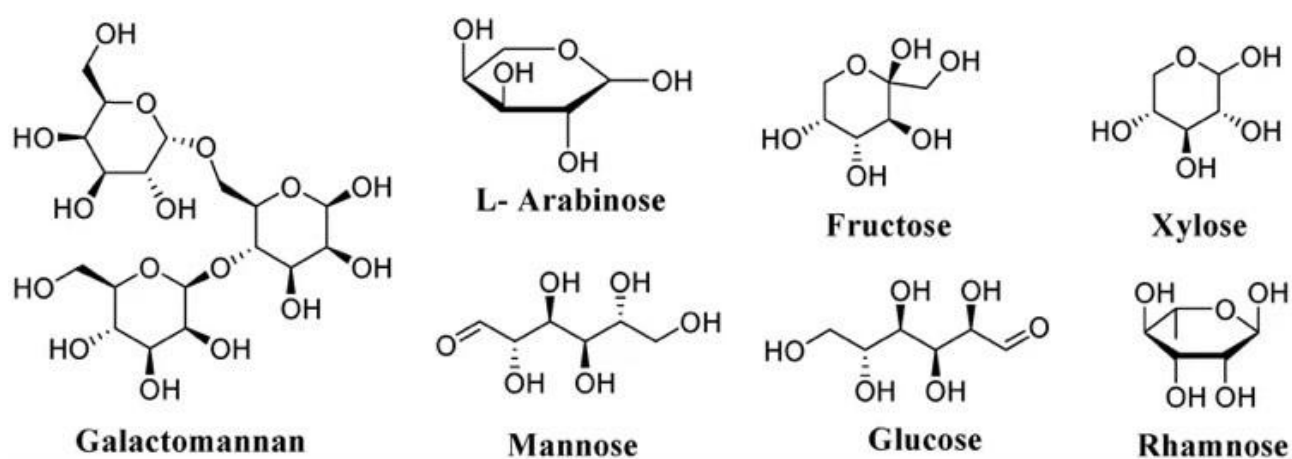


Figure 3 : Composition chimique du mucilage (adapté de Mansuri et al., 2021).

1.3. Les propriétés fonctionnelles

Les mucilages possèdent des propriétés thérapeutiques et fonctionnelles, principalement liées à leur capacité de rétention d'eau. Au contact de l'eau, ils gonflent et forment des solutions visqueuses ainsi que des gels (**Berkani et Rabie, 2015**). Ils possèdent aussi des propriétés intéressantes sur le plan technologique, comme une bonne capacité de rétention d'eau, un pouvoir gélifiant et des propriétés émulsifiantes. Ces caractéristiques expliquent leur utilisation dans l'industrie agroalimentaire comme agents épaississants, stabilisants et système d'encapsulation (**Mansuri et al., 2021**)

1.4. Applications alimentaires et pharmaceutique des mucilages

Les mucilages d'origine végétale sont largement utilisés dans différents domaines en raison de leurs propriétés fonctionnelles.

Dans l'industrie agroalimentaire, ils sont employés comme épaississants, stabilisants et émulsifiants naturels, grâce à leur capacité à retenir l'eau et à former des gels. Ces propriétés leur permettent d'améliorer la texture et la stabilité des produits alimentaires (**Mansuri et al., 2021**).

Par ailleurs, certains mucilages sont utilisés sous forme de films ou d'enrobages comestibles afin de protéger les aliments et de prolonger leur durée de conservation, ce qui témoigne de leur intérêt technologique (**Kassem et al., 2021**).

Dans le domaine pharmaceutique, les mucilages sont utilisés comme agents liants dans la formulation des comprimés et comme agents désintégrants, en raison de leur capacité d'hydratation et de gonflement (**Prajapati et al., 2013**)

1.5 .Facteurs influençant les propriétés des mucilages

Les propriétés des mucilages varient en fonction de leur origine végétale et de leur composition chimique. La structure des polysaccharides ainsi que leur masse moléculaire influencent directement leur capacité de rétention d'eau, leur viscosité et leur pouvoir stabilisant (**Mansuri et al., 2021**).

Les conditions d'extraction jouent également un rôle déterminant. Des paramètres tels que la température, le pH ou le solvant utilisé peuvent modifier la structure des polysaccharides et, par conséquent, leurs propriétés fonctionnelles. Une extraction mal contrôlée peut entraîner une dégradation du mucilage et altérer ses performances (**Oh & Kim, 2022**).

2. Les prébiotiques

2.1. Définition

Le concept de prébiotiques a été introduit en 1995 par Gibson et Roberfroid, qui les ont définis comme des composants alimentaires non digestibles capables de stimuler sélectivement la croissance et/ou l'activité de certaines bactéries bénéfiques du côlon, contribuant ainsi à l'amélioration de la santé de l'hôte (**Gibson & Roberfroid, 1995**).

Gibson et Probert, (2004) ont précisé leurs caractéristiques principales : ils doivent résister à la digestion dans l'estomac et l'intestin, être fermentés par le microbiote intestinal, et favoriser de manière sélective les bactéries bénéfiques (**Gibson et al., 2004**).

En 2016, l'ISAPP a proposé une définition plus simple : un prébiotique est un substrat utilisé par les micro-organismes de l'hôte et qui apporte un bénéfice pour la santé (**Yoo et al., 2024**).

2.2. Production des prébiotiques

Les prébiotiques ont un rôle essentiel dans la santé humaine et se retrouvent naturellement dans de nombreux aliments comme l'ail, l'oignon, les asperges, la chicorée, la banane, le blé, le soja, le miel, ainsi que dans certaines légumineuses. Ils sont également présents dans le lait humain et bovin, et plus récemment identifiés dans les algues et microalgues [36].

Cependant, leur teneur naturelle dans les aliments reste généralement faible. C'est pourquoi ils sont produits à grande échelle dans l'industrie (**Gibson et al., (017)**).

2.3. Rôle des prébiotiques

Les prébiotiques jouent un rôle important dans les aliments fonctionnels, car ils contribuent à l'amélioration de la santé intestinale et du bien-être général. Lors de leur fermentation, ils produisent des acides gras à chaîne courte tels que l'acétate, le propionate et le butyrate. Ces composés permettent de réduire le pH intestinal, ce qui limite le développement des bactéries pathogènes et

favorise la croissance des bactéries bénéfiques. Par ailleurs, les prébiotiques améliorent l'absorption de certains minéraux et renforcent la barrière intestinale, réduisant ainsi le passage de substances nocives vers la circulation sanguine tout en soutenant le système immunitaire. Enfin, plusieurs études indiquent un effet positif sur le métabolisme, avec une réduction potentielle du risque d'obésité et de maladies cardiovasculaires (**Shahid et al., 2023**).

2.4.Effets secondaires et tolérance des prébiotiques

Les prébiotiques sont généralement considérés comme sûrs et ne provoquent pas d'effets secondaires graves. Ils ne sont pas digérés par les enzymes intestinales humaines et atteignent le côlon où ils sont fermentés par le microbiote.

Les effets indésirables sont principalement liés à cette fermentation et à leur effet osmotique, notamment :

- ballonnements
- gaz (flatulences)
- crampes abdominales
- diarrhée osmotique (dans certains cas)

La tolérance dépend aussi de plusieurs facteurs :

- la longueur de la chaîne : les chaînes courtes sont fermentées plus rapidement et peuvent entraîner plus d'effets secondaires, tandis que les chaînes longues sont mieux tolérées
- la dose administrée : les faibles doses (2,5 à 10 g/jour) peuvent provoquer des gaz et des ballonnements, alors que des doses élevées (40 à 50 g/jour) peuvent entraîner une diarrhée osmotique, malgré cela, une dose de 2,5 à 10 g/jour est généralement nécessaire pour obtenir un effet bénéfique, et aux doses recommandées les effets secondaires restent le plus souvent légers à modérés. (**Davani-Davari et al., 2019**).

2.5. Applications des prébiotiques dans l'alimentation humaine

L'utilisation des prébiotiques dans les aliments présente plusieurs intérêts, notamment pour améliorer la qualité globale des produits et leur valeur nutritionnelle.

Dans les produits de boulangerie et les céréales du petit-déjeuner, ils sont souvent utilisés comme alternative aux fibres classiques. Ils permettent de garder les produits plus frais, d'améliorer leur texture et de prolonger leur durée de conservation. Par exemple, ils aident à conserver le moelleux du pain et des gâteaux et évitent qu'ils ne se dessèchent trop vite. **(Franck et Coussement, 1997).**

2.6. Mécanisme d'action des prébiotique

Les prébiotiques exercent leur effet principalement par leur fermentation au niveau du côlon, où ils sont utilisés comme substrats par les bactéries bénéfiques. Cette fermentation conduit à la production d'acides gras à chaîne courte, tels que l'acétate, le propionate et le butyrate, qui jouent un rôle essentiel dans le maintien de la santé intestinale et la régulation du métabolisme **(Roberfroid et al., 2010 ; Xiong et al., 2022)**

Parmi les prébiotiques les plus utilisés figurent l'inuline, les fructo-oligosaccharides (FOS) et les galacto-oligosaccharides (GOS), qui sont largement incorporés dans les produits alimentaires en raison de leurs effets bénéfiques sur le microbiote intestinal **(Gibson et al., 2017).**

3. Symbiotiques

Les symbiotiques sont des produits qui associent des probiotiques et des prébiotiques dans une même formulation. Cette combinaison permet de bénéficier des effets des deux composants. En effet, les prébiotiques peuvent servir de substrat aux probiotiques, favorisant ainsi leur survie et leur activité dans le tractus intestinal.

Ils peuvent agir de manière indépendante, mais leur association est souvent utilisée pour améliorer l'efficacité globale du produit. Lorsqu'un effet synergique est recherché, celui-ci doit être démontré par des études spécifiques, notamment en mettant en évidence l'utilisation sélective du substrat et le bénéfice pour la santé **(Swanson et al., 2020).**

Ces associations peuvent donc avoir des effets complémentaires ou synergiques, ce qui explique leur intérêt croissant dans le développement des aliments fonctionnels et des compléments alimentaires **(WGO, 2008)**

3.1. Applications des symbiotiques dans les produits alimentaires

Les symbiotiques trouvent de nombreuses applications dans le domaine alimentaire, notamment dans les produits laitiers fermentés, les boissons fonctionnelles et certains produits enrichis. Leur incorporation permet non seulement d'améliorer la qualité nutritionnelle des aliments, mais également de renforcer leurs effets bénéfiques sur la santé digestive.

Dans les yaourts en particulier, l'association de probiotiques et de prébiotiques contribue à améliorer la stabilité des micro-organismes et à prolonger leur viabilité au cours du stockage, ce qui représente un avantage technologique et fonctionnel important (**Saritaş et al., 2024**).

Chapitre III

Les yaourts fonctionnels et les probiotiques

1. Généralité Le yaourt

1.1 Définition

le yaourt peut être considéré comme l'un des produits laitiers les plus importants en raison de sa richesse en composés bioactifs (**Sarıtaş et al., 2024**). IL est se définit comme étant le produit laitier formé par la fermentation lactique à travers deux espèces de bactéries : *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Cela se fait à partir du lait qui peut être pasteurisé, concentré, écrémé en partie ou encore enrichi avec l'extrait sec. Il faut noter que le produit devra être constitué de quantités suffisantes de bactéries vivantes pour lui conférer ces particularités (**Syndifrais,1997**)

Dans plusieurs pays, la législation exige que les bactéries contenues dans le yaourt demeurent vivantes jusqu'à la vente du produit. Cependant, quelques pays permettent une phase de chauffe pour allonger la durée de conservation, ce qui conduit à l'élimination des bactéries vivantes. Cette méthode, parfois acceptée, est souvent déconseillée car elle altère les caractéristiques sensorielles et fonctionnelles du yaourt (**FAO, 1995**).

1.2 Valeur nutritionnelle du yaourt

Le yaourt est un aliment apprécié pour sa valeur nutritionnelle et sa composition équilibrée. Il apporte plusieurs éléments nutritifs importants pour l'organisme.

- **Calcium** : le yaourt représente une bonne source de calcium, nécessaire à la solidité des os et des dents. Le yaourt aromatisé contient une teneur élevée en calcium, estimée à 129 mg/100 g.
- **Vitamines** : il apporte également différentes vitamines utiles au bon fonctionnement de l'organisme.
- **Équilibre nutritionnel** : le yaourt présente un bon équilibre entre les glucides, les protéines et les lipides, ce qui en fait un aliment intéressant sur le plan nutritionnel.

1.3 Les types du yaourt :

le yaourt peut être considéré comme l'un des produits laitiers les plus importants en raison de ses qualités nutritionnelles et de ses effets bénéfiques sur la santé, il existe sous différentes formes selon le procédé de fabrication, nature, brassé, aromatisé, etc. On distingue:

- **Nature ferme** : Ensemencé en pots, étuvé 3-5h pour texture gélifiée.^[12]
- **Brassé** : Fermenté en cuve, brassé pour onctuosité, aromatisé ou fruité
- **Autres** : Grec (égoutté), probiotique (ferments supplémentaires), allégé ou végétal (Béal et Helinck, 2019).

2. Historique et origine du yaourt

2.1 Origine du yaourt (produit traditionnel) :

Le yaourt est un aliment très ancien dont l'origine remonte à la domestication des animaux laitiers entre 10 000 et 5 000 av. J.-C. À cette époque, le lait se conservait difficilement. Les bergers du Moyen-Orient ont constaté que le transport du lait dans des outres fabriquées à partir d'intestins favorisait sa fermentation. Ce processus entraînait la coagulation et l'acidification du lait, ce qui améliorait sa conservation. Par la suite, le yaourt s'est diffusé dans de nombreuses régions du monde, où il a été nommé différemment selon les cultures, témoignant ainsi de son importance dans les pratiques alimentaires. Les écrits ayurvédiques indiens, datant d'environ 6000 av. J.-C., mentionnent déjà les bienfaits des produits laitiers fermentés sur la santé.

Le terme « yaourt » serait issu du mot turc « yog`urmak », qui signifie épaissir, coaguler ou cailler. Le yaourt est ainsi consommé depuis des millénaires et occupe une place importante dans l'alimentation humaine.(Fisberg & Machado, 2015).

2.2 Évolution de la consommation dans le monde :

La consommation de yaourt diffère d'un pays à l'autre, mais elle demeure généralement faible. Par exemple, aux États-Unis et au Brésil, seulement 6 % de la population en consomme chaque jour. Pourtant, cet aliment représente une source intéressante de protéines facilement assimilables, de calcium et de probiotiques, contribuant ainsi au maintien d'une bonne santé.(Fisberg & Machado, 2015).

3. Microbiologie du yaourt

3.1 Microorganismes spécifiques du yaourt

Les bactéries du yaourt, principalement *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, assurent la fermentation du lait en abaissant son pH, ce qui entraîne la coagulation des protéines et la formation du gel. Elles participent également au développement de la saveur et de la texture grâce à la production de composés aromatiques et de polysaccharides. Ces rôles sont bien documentés dans la littérature scientifique (FAO, 1995 ; Bouyedda et al., 2021).

3.1.1 *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*

Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus (anciennement *Lactobacillus bulgaricus*) est une bactérie présente dans plusieurs produits fermentés naturels. Il s'agit d'un bacille Gram positif, immobile et non sporulé. Elle est considérée comme acidophile, car elle se développe à un pH acide (environ 5,4 à 4,6), avec une température optimale comprise entre 43 et 46 °C. Cette bactérie est couramment utilisée avec *Streptococcus thermophilus* comme culture de démarrage dans la fabrication du yaourt (**Courtin et Rul, 2003**). Elle peut parfois être responsable de défauts dans certains produits, comme une coloration rosée dans le fromage (**Ride, 1983**).

Ces caractéristiques sont décrites dans la littérature scientifique (**Teixeira, 2014**)

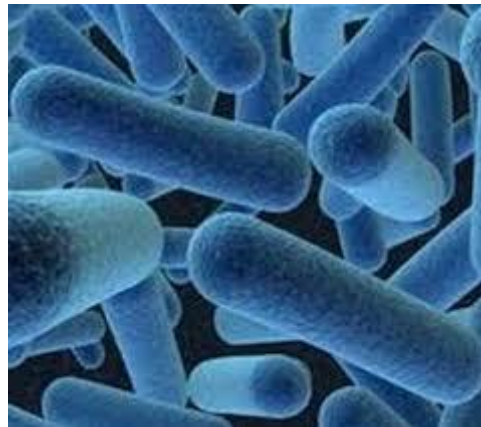


Figure 4 : Observation microscopique de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (Gram positif) **Bondarev.gal, 2024**).

3.1.2 *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus thermophilus est une bactérie Gram positive de forme sphérique à ovoïde, non mobile, d'environ 0,7 à 0,9 µm de diamètre, se présentant en paires ou en chaînes parfois longues. Sa température optimale de croissance est comprise entre 40 et 45 °C, avec une croissance possible entre 20–25 °C et un maximum proche de 47–50 °C.

Elle ne peut pas hydrolyser l'arginine et fermente un nombre limité de sucres, notamment le lactose, le glucose, le fructose et le saccharose. Elle n'utilise pas le galactose lors de la fermentation du lactose.

Cette bactérie est également sensible aux antibiotiques et aux agents désinfectants et possède une faible activité protéolytique. Elle se distingue des autres streptocoques par l'absence d'antigène spécifique de groupe.

3.2 Relation symbiotique entre les bactéries du Yaourt

Streptococcus thermophilus et *Lactobacillus bulgaricus* établissent une relation symbiotique étroite au cours de la fermentation du yaourt. Cette interaction repose sur des échanges métaboliques et nutritionnels qui stimulent leur croissance respective et optimisent leur développement conjoint. *S. thermophilus* favorise le démarrage de la fermentation en produisant certains composés, tandis que *L. bulgaricus* renforce l'acidification du milieu.

Cette coopération améliore l'efficacité globale de la fermentation et contribue à la transformation du lait en yaourt. Elle influence également les caractéristiques finales du produit, notamment la texture, la consistance du gel et le développement des arômes spécifiques du yaourt.(Siddiqi et al., 2024).



Figure 5 : Micrographie de *Streptococcus thermophilus* dans un échantillon de yaourt (Science Photo Library,2018).

3.3. Activités technologiques des bactéries lactiques (Wang et al., 2024)

Les bactéries lactiques (LAB) sont largement utilisées dans l'industrie alimentaire pour leur rôle sûr et ancien en fermentation. Elles contribuent à la conservation des aliments et améliorent leur qualité globale sur les plans technologique, nutritionnel, sensoriel et fonctionnel (Capozzi et al., 2017).

la compréhension de ces propriétés est essentielle pour optimiser les procédés de fabrication et assurer la satisfaction des consommateurs.

3.3.1 Activité acidifiante

L'activité acidifiante constitue l'une de leurs principales fonctions. La production d'acide lactique abaisse le pH, ce qui limite le développement des microorganismes indésirables et apporte une saveur caractéristique. Elle favorise aussi la coagulation de la caséine dans les produits laitiers et améliore la texture, la rétention d'eau et la stabilité de certains produits carné.

Cette acidification augmente également la disponibilité de certains composés bioactifs, améliore l'activité antioxydante et favorise l'absorption des minéraux. Dans certains cas, comme en vinification, elles transforment l'acide malique en acide lactique, ce qui adoucit le goût.

3.3.2 Activité protéolytique

Les bactéries lactiques possèdent une activité protéolytique importante. Grâce à leurs protéases, elles fragmentent les protéines en peptides et acides aminés plus assimilables. Cela affine la texture, intensifie les saveurs et facilite la digestion des produits laitiers, carnés ou panaires. Bonus inattendu : ces réactions génèrent des arômes variés et atténuent potentiellement les allergènes protéique.

3.3.3 Production d'arômes

elles participent à la formation de composés aromatiques , en métabolisant sucres, lipides et acides aminés, elles libèrent des aldéhydes, cétones et esters responsables des notes acidulées, beurrées ou fruitées si typiques du yaourt, des fromages et des pains au levain

3.3.4 Amélioration de la texture

Elles synthétisent des exopolysaccharides qui structurent les matrices alimentaires. Dans le yaourt, cela assure une onctuosité ferme sans synérèse ; dans le pain, ces polymères captent l'humidité, retardent l'amylolyse et préservent Les bactéries lactiques produisent des exopolysaccharides qui améliorent la structure des aliments, augmentent la viscosité et stabilisent les produits fermentés, donnant un moelleux durable.

3.3.5 Activité antioxydante

Ces bactéries valorisent les phénols endogènes et produisent des peptides bioactifs, renforçant ainsi la résistance à l'oxydation. Un atout précieux pour la stabilité nutritionnelle des aliments fermentés.

Elles contribuent à l'activité antioxydante des aliments en favorisant la libération de composés bioactifs et en limitant les réactions d'oxydation.

4. Technologie de fabrication du yaourt

La fabrication du yaourt se fait par fermentation du lait. Deux bactéries lactiques sont utilisées pour cette fermentation : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. Ces micro-organismes agissent en symbiose pour acidifier et coaguler le lait (FAO /OMS, 2003). Le processus industriel comprend plusieurs étapes successives :

4.1. Préparation et standardisation du lait

La fabrication débute par la réception du lait cru (entier ou écrémé), contrôlé pour température (2-4°C), pH et absence d'antibiotiques, suivi d'une filtration pour éliminer impuretés. La standardisation ajuste la matière grasse (par ajout de lait écrémé ou crème) et les matières solides (poudre de lait pour fermeté accrue) (Béal et Helinck, 2019).

4.2. Homogénéisation

Il est homogénéisé à 150-250 bars disperse les globules gras pour une texture lisse (Béal et Helinck, 2019),

Cette opération est importante car elle empêche la matière grasse de remonter pendant la fermentation. Elle permet aussi d'obtenir un yaourt plus épais et de réduire la séparation du sérum (synérèse) lors du stockage du yaourt (Beal et Sodini, 2003 ; Luquet et Corrieu, 2005).

4.3. Traitement thermique (pasteurisation)

Le lait est généralement pasteurisé à 90–95 °C pendant 3 à 5 minutes (ou soumis à une stérilisation UHT à 135–150 °C pendant 4 à 15 s), ce qui permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes tout en préservant au mieux sa valeur nutritionnelle. Une homogénéisation est souvent réalisée ensuite afin de prévenir la séparation de la crème (Béal et Helinck, 2019).

Ce traitement thermique poursuit deux objectifs principaux :

- la destruction des micro-organismes pathogènes et la réduction de la flore compétitrice
- la dénaturation des protéines du lactosérum, principalement la β -lactoglobuline, qui interagissent ensuite avec les micelles de caséine pour former un gel plus ferme et plus stable, limitant ainsi le phénomène de synérèse (Cheftel et al., 1984).

4.4. Refroidissement et ensemencement (ajout des ferments)

Après pasteurisation le lait est refroidi jusqu'à environ 45°C température optimale pour le développement des ferments lactique (Béal et Sodini, 2019) .

L'ensemencement consiste à ajouter au lait une culture de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subs.bulgaricus*, généralement sous forme lyophilisé ou en levain liquide. Le taux d'ensemencement industriel est compris entre 1,5 et 3 du volume de lait , un mélange homogène et assuré par brassage (Inoxpa,2014).

4.5. Incubation (fermentation) - Étuvage

Le lait ensemencé est conditionné en pots individuels (pour yaourt ferme) ou maintenu en cuve (pour yaourt brassé), puis placé en étuve à une température contrôlé autour de 42-45°C pendant l'incubation, d'une durée de 4 à 8 heures, les bactéries lactiques produisent de l'acide lactique à partir du lactose, entraînant une baisse progressive du pH jusqu'à atteindre environ 4,5 . A ce pH, les caséines coagulant et forment un gel tridimensionnel.

La relation symbiotique entre les deux ferments accélère le processus : *S. thermophilus* stimule *L. bulgaricus* par production de gaz carbonique, et *L. bulgaricus* libère des acides aminés essentiels à *S. thermophilus*.

La maturation se déroule à 42-45°C pendant 4-6 heures (ou 3-5h en étuve) jusqu'à pH 4,6, formant un gel par précipitation des caséines. Surveillance automatisée du pH assure uniformité (Béal et Helinck, 2019).

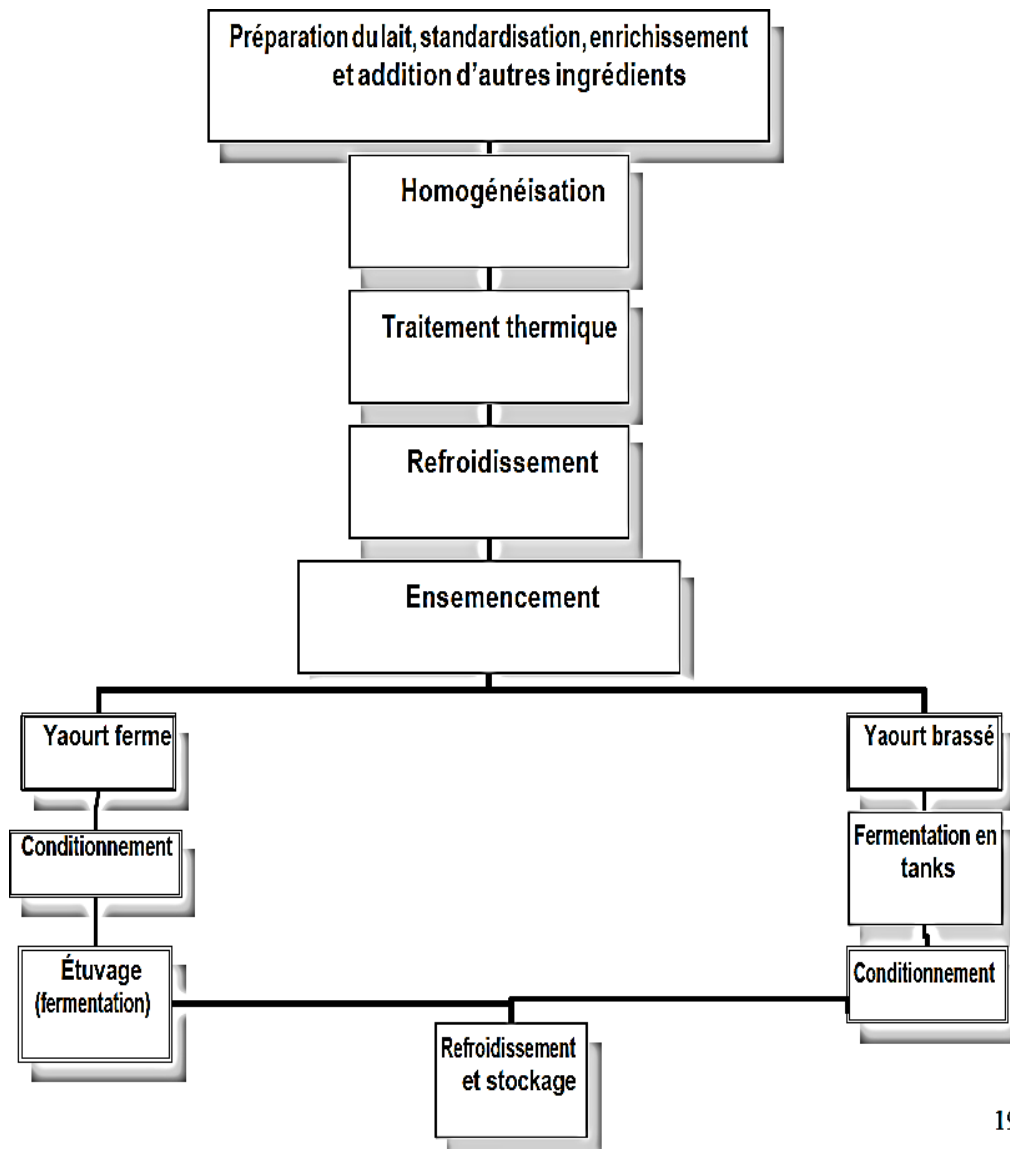
4.6. Refroidissement et Conservation

A la sortie de l'étuve, le yaourt est rapidement refroidi vers 4°C. Ce refroidissement a deux fonction :

- Stopper la fermentation pour éviter une post-acidification excessive, qui altérerait le goût et la texture.

- Permettre la maturation : le gel se stabilise, la viscosité augmente et les arômes continuent de se développer (INOXPA,2014).

Conservation en cuves réfrigérées avant conditionnement sous atmosphère contrôlée (Béal et Helinck, 2019).



19

Figure 6 : Diagramme général du procédé de fabrication du yaourt (Gouaich et Mekemeche, 2022)

5. Probiotiques dans le yaourt

5.1. Définition des probiotiques

Les probiotiques sont des micro-organismes vivants (surtout des bactéries, parfois des levures) qui peuvent être bénéfiques pour la santé quand ils sont consommés en quantité suffisante. On les trouve dans certains aliments fermentés comme le yaourt, ou sous forme de compléments alimentaires. Mais tous les produits dits “probiotiques” ne sont pas forcément efficaces ou prouvés scientifiquement (**National Institutes of Health [NIH], Office of Dietary Supplements, 2025**) .

5.2. Genres, espèces et souches de probiotiques

Une souche probiotique est définie par son genre, son espèce et parfois sa sous-espèce, avec un code qui permet de l’identifier précisément. Dans les articles scientifiques, on retrouve par exemple *Lactobacillus casei* DN-114 001 ou *Lactobacillus rhamnosus* GG.

Pour les noms commerciaux, il n’y a pas de règles fixes. Par contre, d’après la FAO et l’OMS, les souches doivent être enregistrées dans des registres officiels. Les centres qui les conservent peuvent aussi leur donner des noms supplémentaires. Le tableau 2 présente quelques exemples de souches utilisées dans le commerce ainsi que les noms commerciaux correspondants :

Tableau 3 : Nomenclature pour les microorganismes probiotiques (World Gastroenterology Organisation, 2017) .

Genre	Espèce	Sous-Espèce	Désignation de la souche	Désignation de la souche selon le registre international	Surnom de la souche	Nom du produit
Lactobacillus	rhamnosus	Sans	GG	ATTC 53103	LGG	Culturelle
Bifidobacterium	animalis	lactis	DN-173 010	CNCM I-2494	Bifidus regularis	Yogourt Activia
IBifidobacterium	longum	ongum	35624	NCIMB 41003	Bifantis	Align

5.3 Mécanismes d’action des probiotiques

Les prébiotiques favorisent les bonnes bactéries de l’intestin et réduisent les microbes qui peuvent être nocifs. Les probiotiques agissent en maintenant l’équilibre du microbiote et en aidant les défenses naturelles de la muqueuse intestinale.

Ils produisent aussi des substances comme les acides gras à chaîne courte et échangent des signaux avec les cellules du corps. Cela aide à bloquer les microbes pathogènes, renforcer la barrière intestinale et diminuer l'inflammation. Au final, ces effets contribuent surtout à réduire les diarrhées et leur gravité.

6. Effets du yaourt sur la santé

Le yaourt et les produits laitiers fermentés ont des effets positifs sur la santé. Ils aident à maintenir l'équilibre du microbiote intestinal et peuvent améliorer la digestion, surtout chez les personnes ayant une mauvaise tolérance au lactose.

Ils ont aussi un effet sur le système immunitaire en agissant sur certaines réponses de l'organisme. Plusieurs études parlent également de leur intérêt possible dans la santé générale et certaines maladies chroniques. Le yaourt est ainsi souvent étudié dans le cadre de certaines maladies chroniques et de leurs liens avec l'alimentation (Hadjimbei et al., 2022).

Partie 02 :
Partie expérimentale

1. Objectif

Ce travail vise à valoriser les mucilages extraits des graines d'anis (*Pimpinella anisum* L.) en étudiant leur potentiel prébiotique et leur utilisation comme additifs fonctionnels dans la fabrication de yaourts enrichis.

Pour atteindre cet objectif, l'étude sera réalisée en trois étapes principales :

- Extraire les mucilages à partir des graines d'anis en utilisant une méthode d'extraction adaptée et optimisée.
- Évaluer leur activité prébiotique en analysant leur effet sur la croissance et la multiplication de certaines souches probiotiques sélectionnées.
- Incorporer les mucilages extraits dans des yaourts fonctionnels, puis suivre leur évolution au cours du stockage sous réfrigération à 4 °C à travers des analyses physico-chimiques et microbiologiques.

1.2 Origine de la matière première

Les graines d'anis (*Pimpinella anisum*) ont été acquises sous forme de poudre auprès d'un herboriste spécialisé dans la commercialisation des plantes aromatiques et médicinales dans la ville de Mostaganem. Après acquisition, la poudre a été conditionnée dans des bocaux hermétiques en verre fumé, puis conservée à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité afin de préserver ses caractéristiques physico-chimiques ainsi que sa qualité microbiologique.

2. L'extraction des mucilages

L'extraction des mucilages a été réalisée par une méthode aqueuse simple et efficace, adaptée d'**Otálora et al., (2021)**.

Dans un premier temps, une quantité de graines d'anis (*Pimpinella anisum* L.) sous forme de poudre est mélangée à de l'eau distillée selon un ratio 1:10 (m/v). La suspension obtenue est ensuite chauffée à 40 °C sous agitation modérée afin de favoriser la solubilisation des composés mucilagineux.

L'extraction est effectuée en deux cycles successifs, chacun d'une durée de deux heures. Après chaque étape, le mélange est centrifugé à 20 000 g pendant 20 minutes à 4 °C, puis le surnageant est filtré afin de récupérer la fraction solubilisée riche en mucilages.

La précipitation des mucilages est ensuite réalisée par ajout de trois volumes d'éthanol au filtrat concentré (350 mL de filtrat pour 1050 mL d'éthanol). Le mélange est laissé au repos pendant 24 heures à 4 °C afin de permettre la formation du précipité.

Enfin, les mucilages précipités sont récupérés par centrifugation, puis séchés à l'étuve à 40–50 °C jusqu'à obtention d'un extrait sec.

1-Extraction



2- Filtration



3- Précipitation



4- Centrifugation



5- Séchage



6- Les muilages



Figure 7 : Etapes d'extraction de mucilage des graines d'anis

3. Activité antioxydante

3.1. Préparation des solutions et test DPPH

L'activité antioxydante de l'extrait mucilagineux a été évaluée selon la méthode du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), décrite initialement par **Brand-Williams et al., (1995)**. Cette méthode repose sur la mesure de l'absorbance au spectrophotomètre : une diminution de l'absorbance traduit une augmentation de l'activité antioxydante de l'échantillon testé.

La solution mère d'extrait a été préparée en dissolvant 10 mg d'extrait de mucilage dans 10 mL d'eau distillée. Parallèlement, la solution de DPPH a été obtenue en dissolvant 4 mg de DPPH dans 100 mL de méthanol ; cette solution a été conservée à l'abri de la lumière afin d'éviter sa dégradation photochimique.

Pour réaliser les dilutions, dix tubes ont été préparés. Dans chaque tube, 1 mL d'eau distillée a été introduit. La solution mère a ensuite été ajoutée à raison de 1 mL dans le premier tube, puis des dilutions successives de tube en tube ont été effectuées afin d'obtenir une gamme décroissante de concentrations. Un tube témoin contenant uniquement du méthanol a également été préparé ; ce dernier a servi de blanc pour le zérotagage du spectrophotomètre.

Pour la réaction, 2 mL de solution de DPPH ont été ajoutés dans chaque tube. L'ensemble a été laissé à incuber 30 minutes à température ambiante, à l'abri de la lumière, afin de permettre la réaction entre le radical DPPH et les composés antioxydants de l'extrait. Après incubation, l'absorbance de chaque tube a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 517 nm.

Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH a été calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = \frac{A_{\text{contrôle}} - A_{\text{échantillon}}}{A_{\text{contrôle}}} \times 100$$

où $A_{\text{contrôle}}$ représente l'absorbance du tube contrôle négatif (DPPH sans extrait) et $A_{\text{échantillon}}$ l'absorbance du tube contenant l'extrait à la concentration testée.

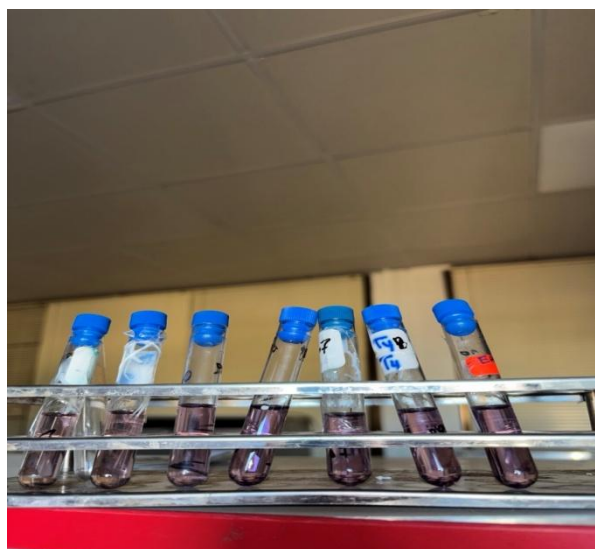


Figure 8:Développement de la coloration du radical DPPH lors de l'évaluation de l'activité antioxydante du mucilage de graines d'anis

4. Cinétique et activité prébiotique

4.1. Principe du test

Ce test vise à évaluer la capacité de l'extrait à servir de substrat prébiotique pour la bactérie probiotique *Lactobacillus plantarum*. L'activité prébiotique est estimée indirectement par la mesure de la croissance bactérienne dans les conditions ci après::

- **Glucose (bouillon MRS)** : (substrat facilement métabolisable)
- **Inuline** : prébiotique de référence (contrôle positif)
- **Extrait testé** : potentiel prébiotique
- **Milieu sans source de carbone** : contrôle négatif

4.2. Préparation des solutions de l'extrait de mucilage et d'inuline

La solution mère de l'extrait a été préparée en pesant 20 mg d'extrait, dissous dans 10 ml d'eau distillée stérile afin d'obtenir une concentration de 2mg/mL. La stérilisation de la solution a été réalisée par filtration stérilisante à 0,22 μ m afin de préserver l'intégrité des composés bioactifs. Parallèlement, une solution d'inuline (prébiotique de référence) a été préparée à la même concentration que l'extrait 2mg/mL.

4.3. Préparation de l'inoculum bactérien

Une colonie fraîche de *Lactobacillus plantarum* a été inoculée dans 5 mL de bouillon MRS complet, puis incubée à 37 °C pendant 4 h afin d'obtenir une culture en phase exponentielle.

Après incubation, la suspension bactérienne a été ajustée à une densité optique $DO_{600} = 0,1$, en utilisant un milieu MRS dépourvu de source de carbone fermentescible (MRS sans glucose). La $DO=0,1$ correspond généralement à une standardisation de l'inoculum ($10^7 - 10^8$ UFC/mL)

4.4. Inoculation de *L. plantarum* et suivi de la croissance bactérienne

Les essais expérimentaux ont été réalisés dans des tubes contenant 1,8 mL de milieu test (bouillon MRS), additionné de 0,1 mL de solutions d'extrait et 0,1 mL d'inoculum bactérien, pour volume finale de 2 mL. Trois autres tubes de bouillon MRS (test avec l'inuline et tests avec et sans glucose) ont été également préparés et inoculés dans les mêmes conditions. Chaque essai a été préparé en triplicat.

Les tubes ont été incubés à 37°C pendant 24h. Le suivi de la croissance bactérienne a été effectué par mesure de la densité optique à 600nm (**DO600**) aux temps T0, T6, T12, T18 et T24 à l'aide d'un spectrophotomètre.

5. Protocole d'incorporation mucilages dans un yaourt probiotique

L'objectif de cette expérience est d'évaluer l'effet de l'ajout de probiotique et de mucilages, seuls ou combinés à différentes concentrations, sur la croissance des ferments lactiques (*Lb.bulgaricus*, *St.thermophilus*) et du probiotique (*Lb.plantarum*), l'acidification (pH) et la texture du yaourt. Quatre lots expérimentaux ont été constitués, comprenant un témoin, des lots avec mucilage à faible, moyenne et forte concentration. La composition de chaque lot est indiquée dans le (**Tableau 5**) ci-dessous :

Tableau 4 : Composition des lots expérimentaux de yaourt

Lot	Composition
1	Témoin sans ajout
2	Mucilage – faible concentration
3	Mucilage – moyenne concentration
4	Mucilage – forte concentration

La souche probiotique (*L.plantarum*) a été réactivée en introduisant une colonie isolée sur boîte gélosée dans un bouillon MRS stérile, incubé à 37 °C pendant 18 à 24 heures. La culture a été ensuite centrifugée à 3000 g pendant 10 minutes, suivie d'un rinçage avec une solution stérile de NaCl à 0,85%, puis resuspendue dans un volume identique de NaCl pour obtenir la suspension cellulaire finale.



Figure 9: Culot formé après la centrifugation de la souche probiotique

- Pour assurer la pasteurisation, le lait a été maintenu à 90 °C pendant 10 minutes, puis refroidi à 42 °C. Il a ensuite été distribué dans quatre bécjers stériles, contenant chacun 100 mL de lait.
- **Préparation des solutions de mucilage**

Des solutions de mucilage de 10, 20 et 40 mg/mL ont été préparées à partir d'une solution mère obtenue par dissolution de 1 g de mucilage dans 100 mL d'eau distillée préchauffée à environ 60 °C. Après homogénéisation, les solutions ont été stérilisées par microfiltration avant utilisation (Tableau 5).

Tableau 5 : Teneurs en mucilage des différents lots expérimentaux

Lot	Composition
1	Aucun (témoin)
2	10 mL mucilage
3	20 mL mucilage
4	40 mL mucilage

Chaque lot a ensuite étéensemencé avec 2 % (v/v) de ferment lactique commercial (2 mL) et



1 % (v/v) de suspension probiotique (1 mL). Les préparations ont été incubées à 42 °C



pendant 6 heures, jusqu'à l'obtention d'un pH d'environ 4,5. Les yaourts obtenus ont ensuite été conservés à 4 °C pendant une période de 15 jours.

6. Les tests physico-chimiques et microbiologiques

Les tests physico-chimiques et microbiologiques ont été effectués à J0, J5, J10 et J15 de stockage.

6.1. Les tests physico-chimiques

6.1.1. pH

➤ Mode opératoire

Le pH des différents échantillons de yaourt a été mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre équipé d'une électrode de pH préalablement étalonnée avec des solutions tampons de pH 4,0 et 7,0. L'électrode a été immergée dans chaque échantillon jusqu'à stabilisation de la valeur affichée (AOAC, 2019).



Figure 10 : Yaourts en cours de fermentation dans l'étuve



Figure 11 : Yaourts après 6h de Fermentation prêts à être stockés au réfrigérateur

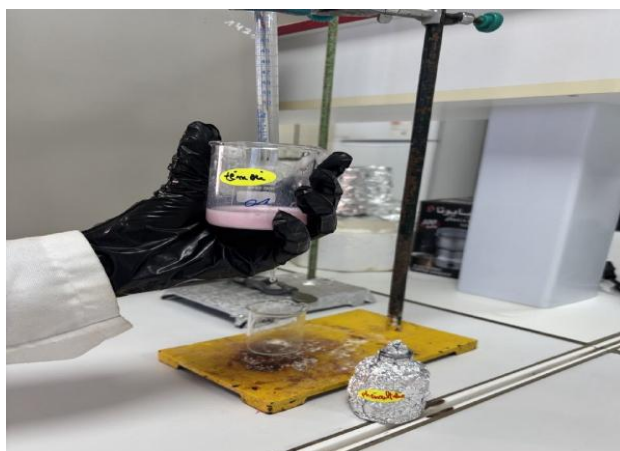


Figure 12 : Evaluation du pH de yaourts

6.1.2. L'acidité titrable

- **Principe**

Cette méthode repose sur la détermination de l'acidité des aliments par titrage à l'aide d'une solution alcaline de NaOH, en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré (Guiraud, 2003).

- **Mode opératoire**

L'acidité titrable du yaourt a été déterminée en prélevant 10 mL de chaque échantillon. Quelques gouttes de phénolphtaléine à 1 % ont été ajoutées comme indicateur coloré, puis le mélange a été titré à l'aide d'une solution de NaOH à 0,1 N jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante sous agitation continue (Guiraud, 2003). L'acidité titrable a été exprimée en degré Dornic

(°D) selon la méthode décrite par (Amiot *et al.* ..2002).

$$\text{Acidité titrable} = V (\text{NaOH}) \times 10$$

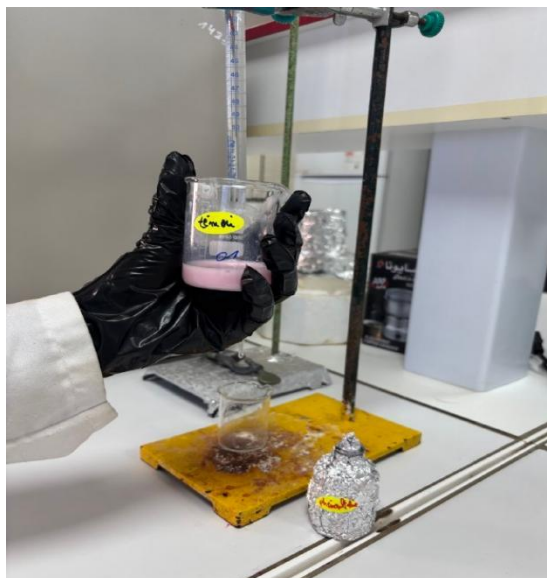


Figure 13: Evaluation de l'acidité titrable du yaourt

7. Les analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont porté sur le dénombrement de la flore lactique du yaourt *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* et de la souche probiotique *Lactobacillus plantarum*.

7.1 .Préparation des dilutions décimales de yaourts

Un millilitre (1 mL) de chaque échantillon de yaourt a été prélevé puis ajouté à neuf millilitres (9 mL) d'eau physiologique stérile, avant d'être homogénéisé soigneusement. À partir de cette suspension initiale, des dilutions décimales successives ont ensuite été effectuées afin d'obtenir les concentrations adéquates pour l'ensemencement des milieux de culture préalablement préparés.

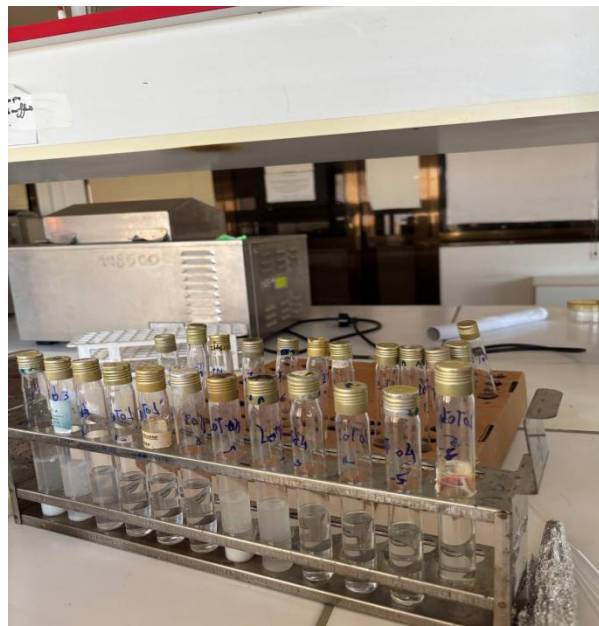


Figure 14 : Préparation des dilutions décimales de yaourt

7.2. Dénombrement des *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

Le dénombrement de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* a été réalisé en utilisant la technique d'ensemencement profond. En utilisant des dilutions décimales appropriées, 1 ml de chaque dilution a été transféré de manière aseptique dans une boîte de Pétri stérile. Ensuite, environ 15 à 20 ml du milieu MRS agar qui a été fondu et refroidi à 45 °C ont été ajoutés. Le mélange a été soigneusement homogénéisé par rotation pour garantir une distribution

uniforme des cellules sur l'ensemble du volume de la gélose. Une fois complètement solidifiées, les boîtes ont été placées en incubation à 45 °C pendant trois jours dans des conditions anaérobies, en utilisant une jarre anaérobie.



Figure 15 : Incubation des boîtes de Pétri en anaérobiose

7.3. Dénombrement de *Streptococcus thermophilus*

Suite aux dilutions, un millilitre a été prélevé et inoculé sur la surface des boîtes de Pétri contenant le milieu M17 qui avait été préalablement fondu puis porté à une température de 45 °C. Une fois durcies, les boîtes ont été incubées dans des conditions aérobies à une température de 37 °C pendant une durée de 48 heures. Les colonies typiques ayant émergé à la surface se sont ensuite manifestées. On a ensuite dénombré les colonies typiques qui sont apparues à la surface et exprimé les résultats en UFC/ml.

7.4. Dénombrement de *Lactobacillus plantarum*

Suite aux dilutions, 0,5 ml a été prélevé etensemencé en profondeur dans des boîtes de Pétri contenant le milieu MRS enrichi en NaCl qui avait déjà été fondu et ajusté à 45 °C. Suite à la solidification, les boîtes ont été placées en incubation à une température de 30 °C dans un environnement anaérobie pour une durée de 72 heures. On a ensuite dénombré les colonies caractéristiques qui sont apparues et exprimé les résultats en UFC/mL.

8. Tests organoleptiques

Afin d'évaluer l'acceptabilité des yaourts enrichis en mucilage d'anis vert (*Pimpinella anisum* L.), une analyse sensorielle a été réalisée aux 1er, 7ème et 15ème jours de conservation à 4 °C. Cette évaluation a été effectuée par un jury composé de 10 panélistes. Chaque échantillon a été noté sur une échelle de 1 à 10, où les notes les plus élevées traduisent une meilleure appréciation du produit.

Les panélistes ont évalué plusieurs caractéristiques sensorielles des yaourts :

- **Couleur** : appréciation de l'aspect visuel et de l'uniformité de la couleur du yaourt.
- **Odeur** : évaluation de l'intensité et de l'agrément des arômes perçus.
- **Cohésivité** : appréciation de l'homogénéité et de la tenue de la structure du yaourt.
- **Adhésivité** : évaluation du caractère plus ou moins collant du produit lors de la dégustation.
- **Goût acide** : appréciation de l'acidité ressentie en bouche.
- **Arrière-goût** : évaluation des sensations gustatives persistantes après la dégustation.
- **Acceptabilité globale** : appréciation générale du produit en tenant compte de l'ensemble de ses caractéristiques sensorielles.

Les échantillons ont été présentés dans les mêmes conditions à l'ensemble des panélistes afin de garantir l'objectivité de l'évaluation. Les notes attribuées ont ensuite été exploitées pour calculer la moyenne et l'écart-type de chaque paramètre, permettant ainsi d'apprécier l'influence du mucilage d'anis vert sur la qualité sensorielle des yaourts au cours de leur conservation.



Figure 16 : Évaluation sensorielle des différents lots de yaourt enrichis en mucilage d'anis par un panel de dégustateurs.

Partie 3

Résultats et discussion

1. Rendement de mucilage

Le rendement d'extraction du mucilage obtenu à partir des graines d'anis (*Pimpinella anisum* L.) est de 5,27 %. Les rendements des mucilages d'origine végétale peuvent varier d'une espèce à une autre et sont fortement influencés par les conditions d'extraction utilisées, notamment la température, la durée du traitement et le rapport entre le solvant et la matière première. Les différences observées dans la littérature sont généralement attribuées à ces facteurs ainsi qu'à la composition propre de chaque matière végétale (**Mansuri et al., 2021**).

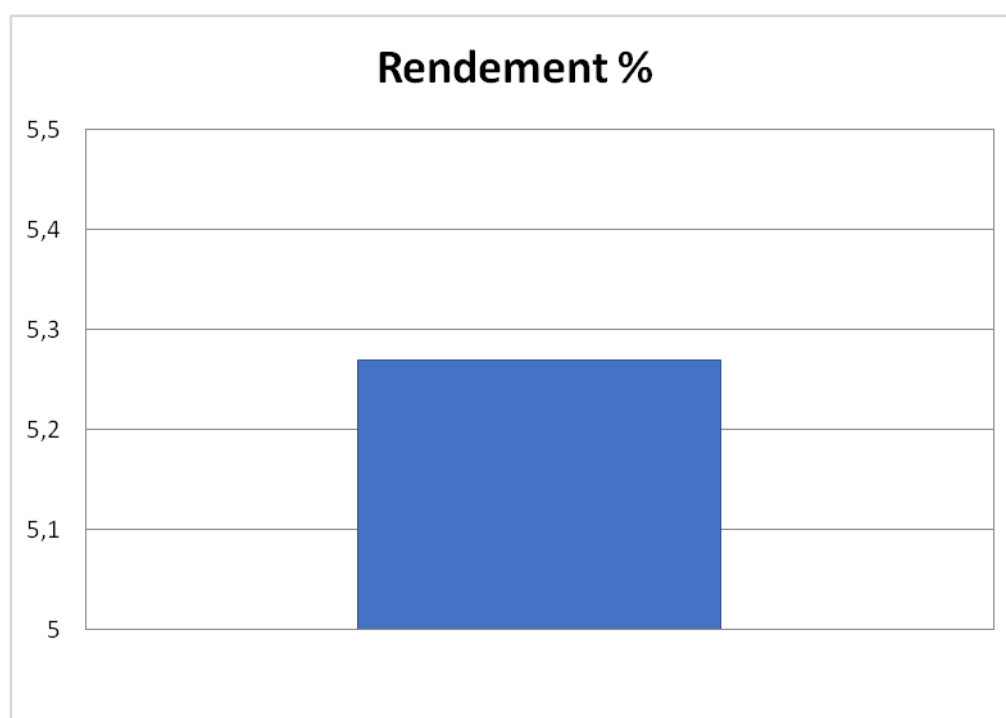


Figure 17 : Le rendement d'extraction du mucilage des graines d'anis

2. Cinétique et activité prébiotique

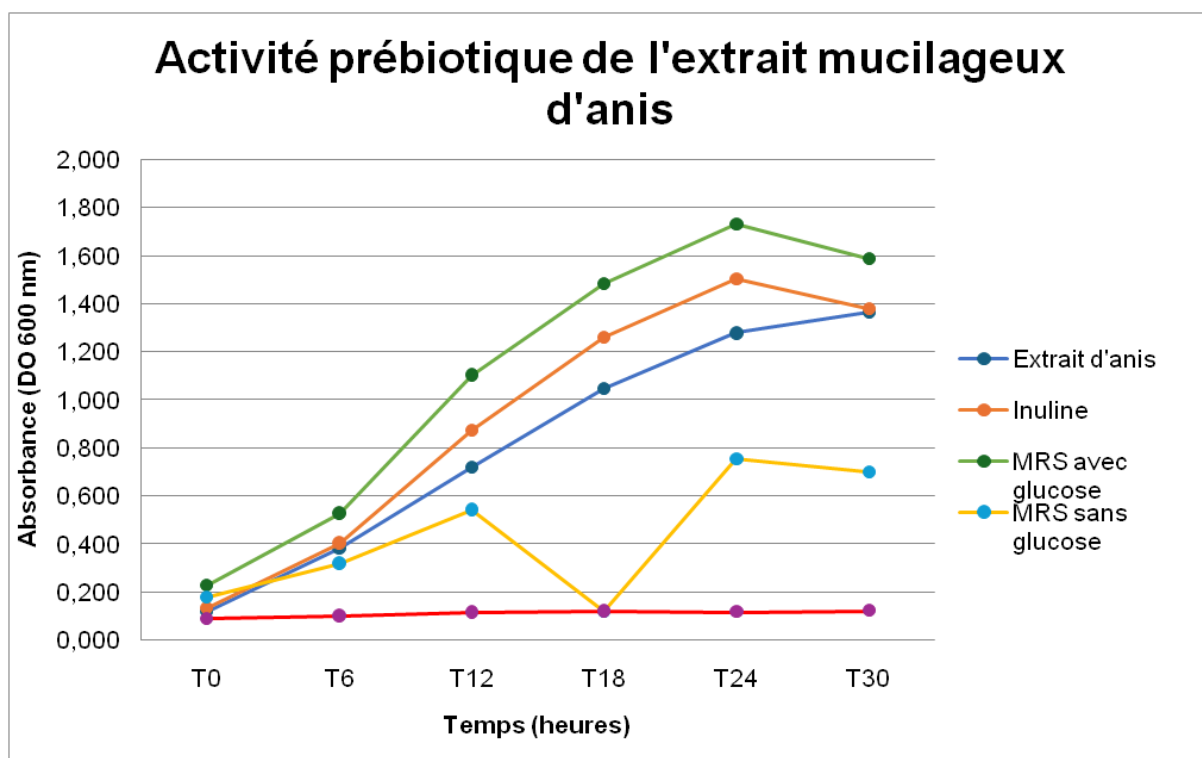


Figure 18 : Evaluation activité prébiotique du mucilage des grains d'anis sur la croissance de la souche *L.plantarum*

Les résultats obtenus montrent une augmentation progressive de la densité optique au cours des 24 heures d'incubation pour l'ensemble des conditions expérimentales. Cette évolution traduit une multiplication active de *Lactobacillus plantarum* dans tous les milieux testés et confirme sa capacité à utiliser différentes sources carbonées pour assurer sa croissance.

Le milieu MRS contenant du glucose a présenté la croissance bactérienne la plus importante, avec une absorbance atteignant 1,733 à T24. Ce résultat était attendu puisque le glucose constitue une source de carbone simple, directement assimilable par les bactéries lactiques. Il est rapidement transporté à travers la membrane cellulaire puis métabolisé par la glycolyse, fournissant l'énergie et les précurseurs nécessaires à la biosynthèse cellulaire. Cette forte croissance confirme l'adéquation du milieu MRS comme milieu de référence pour la culture des lactobacilles et rejoint les recommandations de la FAO et de l'OMS concernant les conditions optimales de développement des bactéries probiotiques (FAO/WHO, 2001).

Les milieux supplémentés en mucilage d'anis et en inuline ont également permis une croissance importante de *L. plantarum*, avec des valeurs d'absorbance respectives de 1,280 et 1,503 à T24. Ces résultats sont particulièrement intéressants car ils montrent que le mucilage d'anis soutient la croissance bactérienne à un niveau comparable à celui de l'inuline, prébiotique de référence largement utilisé dans l'industrie agroalimentaire. L'absence de différence notable entre ces deux substrats suggère que les polysaccharides présents dans le mucilage peuvent être utilisés efficacement par *L. plantarum* comme source de carbone fermentescible.

À l'inverse, le milieu MRS dépourvu de glucose a présenté une croissance nettement plus faible (DO = 0,755 à T24). Cette diminution importante traduit une limitation de la disponibilité en substrats énergétiques facilement assimilables et met en évidence le rôle essentiel joué par les composés glucidiques dans la prolifération des bactéries lactiques. La différence observée entre ce témoin négatif et les milieux contenant du mucilage ou de l'inuline démontre que ces deux substrats exercent un effet stimulant sur la croissance de *L. plantarum*.

L'activité observée avec le mucilage d'anis pourrait s'expliquer par sa richesse en polysaccharides complexes et en fractions hydrocolloïdales susceptibles d'être hydrolysées puis fermentées par les enzymes produites par certaines bactéries lactiques. La fermentation de ces composés conduit à la production d'énergie ainsi qu'à la synthèse de métabolites favorisant la croissance bactérienne. Plusieurs travaux ont montré que les mucilages végétaux peuvent constituer des substrats sélectivement utilisés par les microorganismes bénéfiques du microbiote intestinal, ce qui leur confère un potentiel prébiotique (**Kassem et al., 2021 ; Mudgil et Barak, 2013**). Selon la définition initiale proposée par **Gibson et Roberfroid (1995)**, puis actualisée par **Roberfroid et al., (2010)**, un prébiotique est un ingrédient non digestible qui stimule sélectivement la croissance et/ou l'activité d'un ou plusieurs microorganismes bénéfiques de l'intestin, procurant ainsi un bénéfice pour la santé de l'hôte. Plus récemment, l'Association Scientifique Internationale pour les Probiotiques et les Prébiotiques (ISAPP) a défini les prébiotiques comme des substrats sélectivement utilisés par les microorganismes de l'hôte et conférant un bénéfice sanitaire (**Gibson et al., 2017**). Au regard des résultats obtenus, le mucilage d'anis répond à l'un des critères fondamentaux d'un prébiotique, à savoir sa capacité à favoriser la croissance d'une bactérie bénéfique telle que *L. plantarum*.

Toutefois, bien que ces résultats soient prometteurs, la démonstration complète d'un effet prébiotique nécessite des investigations complémentaires. Il serait notamment pertinent d'évaluer la production de métabolites fermentaires, tels que les acides gras à chaîne courte, ainsi que l'effet du mucilage sur un ensemble plus large de souches probiotiques et dans des modèles simulant les conditions du tractus gastro-intestinal. Néanmoins, les données obtenues suggèrent fortement que le mucilage extrait des graines d'anis possède un potentiel prébiotique comparable à celui de l'inuline et pourrait constituer un ingrédient fonctionnel d'intérêt pour le développement d'aliments synbiotiques.

3. Activité antioxydante

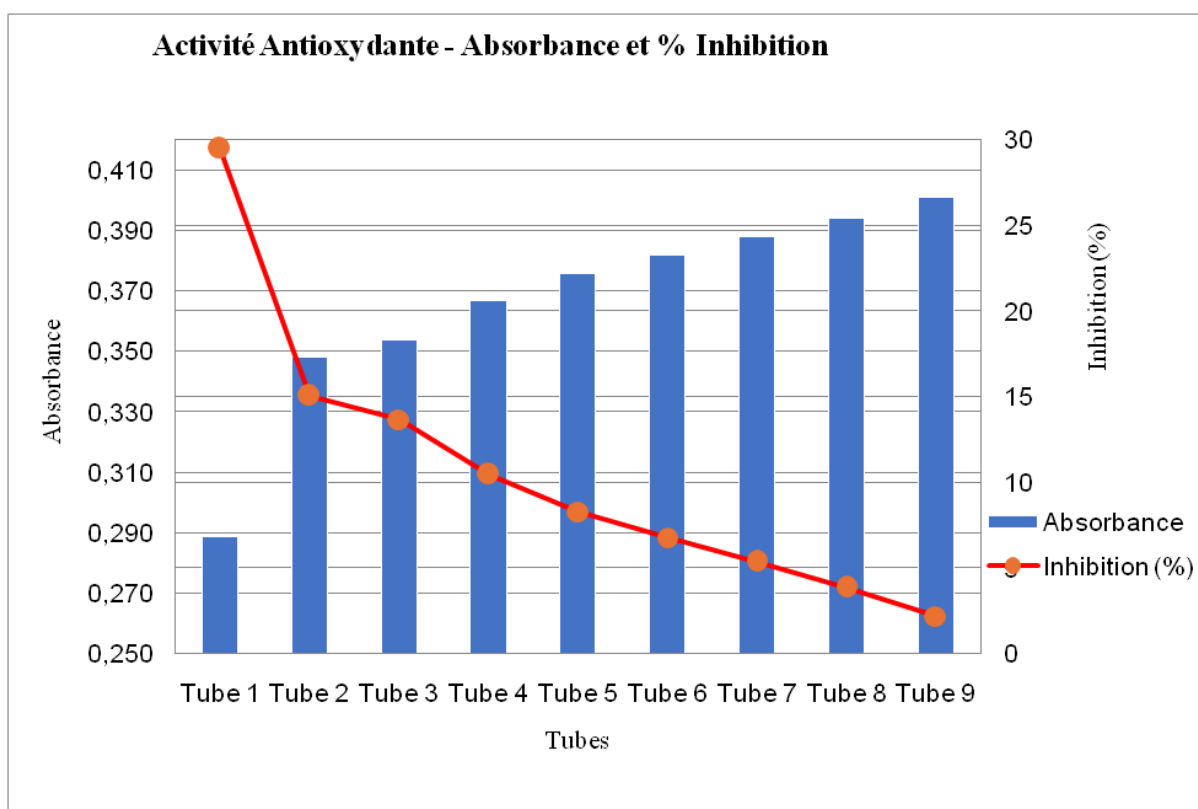


Figure 19 :Évaluationactivité antioxydante du mucilage des grains d'anis par le test DPPH

Les résultats obtenus par le test du DPPH montrent que l'absorbance à 517 nm augmente quand la concentration du mucilage diminue, et inversement, quand on augmente la dose de mucilage, l'absorbance baisse. Concrètement, l'inhibition du radical DPPH passe de 2,2% à 0,001 mg/mL à 29,5% à 0,250 mg/mL, ce qui montre un effet dose.

Ceci est attendu avec le test DPPH. En effet, plus il y a d'antioxydants plus le radical est neutralisé, donc l'absorbance diminue et le pourcentage d'inhibition augmente. Des études sur d'autres mucilages végétaux rapportent la même tendance, notamment pour *Malva parviflora* (Munir et al., 2021) et pour *Corchorus olitorius* (Oh et Kim, 2022). Pour l'anis, une étude de Albalawi et al., (2023) montre que l'extrait méthanolique augmente nettement le piégeage du DPPH avec un protocole proche (517 nm, incubation à l'obscurité). D'autres types d'extrait (huiles essentielles ou extraits éthanoliques) peuvent atteindre des inhibitions bien plus élevées, dépassent souvent 80% (Ouis et Hariri, 2021, Al-wendawi et al., 2021).

L'inhibition maximale obtenue (29,5%) reste modeste comparée à ces valeurs. Cela s'explique probablement par la composition du mucilage, majoritairement polysaccharidique et moins riche en composés phénoliques actifs.

4. Résultats des analyses microbiologiques

4.1. Résultats de l'évolution de *Streptococcus thermophilus*

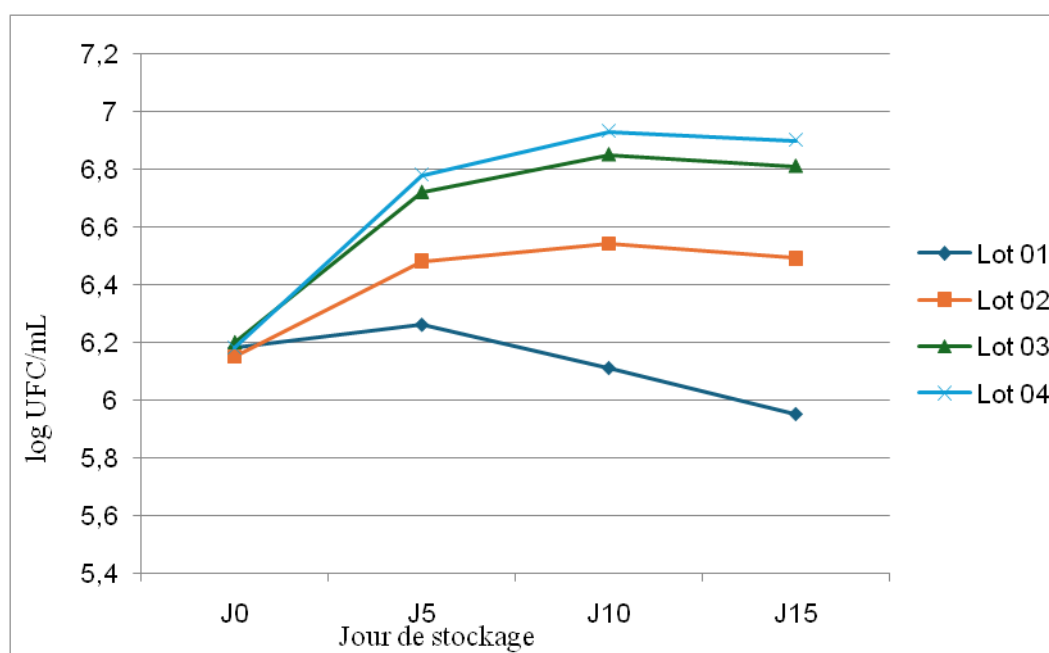


Figure 20 : Évolution des populations de *Streptococcus thermophilus* dans le yaourt réfrigéré à 4 °C pendant 15 jours

L'évolution de *Streptococcus thermophilus* dans les quatre lots de yaourts enrichis en mucilage et conservés à 4 °C pendant une période de 15 jours, montre une meilleure stabilité dans les lots enrichis en mucilage d'anis comparativement au lot témoin. À J0, les populations

variaient entre $1,41 \times 10^6$ et $1,58 \times 10^6$ UFC/mL, soit environ 6,15 à 6,20 log UFC/mL. La proximité des valeurs observées entre les différents lots indique que les conditions initiales étaient comparables. *S. thermophilus* est l'une des principales bactéries utilisées dans la fabrication des yaourts en raison de sa bonne adaptation au milieu laitier et de son rôle essentiel dans la fermentation du lait (Ayivi et Ibrahim, 2022).

Dans le lot témoin, une diminution progressive de la population bactérienne a été observée à partir de J5 pour atteindre $8,91 \times 10^5$ UFC/mL à J15. Cette valeur est inférieure au seuil de 10^6 UFC/mL généralement recommandé pour les bactéries probiotiques (FAO/WHO, 2002).

Les lots contenant du mucilage ont présenté des populations plus élevées tout au long du stockage. Avec la concentration de 40 mL, la population a atteint $8,51 \times 10^6$ UFC/mL (6,93 log UFC/mL) à J10 puis $7,94 \times 10^6$ UFC/mL (6,90 log UFC/mL) à J15. Pour la concentration de 20 mL, les valeurs enregistrées étaient de $7,08 \times 10^6$ UFC/mL à J10 et de $6,46 \times 10^6$ UFC/mL à J15.

Ces résultats montrent que l'ajout de mucilage d'anis favorise le maintien de *S. thermophilus* au cours de la conservation à 4 °C. Les populations observées dans les lots enrichis sont restées supérieures à celles du témoin pendant toute la durée du stockage. Cet effet pourrait être lié à la présence de polysaccharides susceptibles d'être utilisés comme source complémentaire de nutriments par les bactéries lactiques (Gibson et Roberfroid, 1995). Parmi les souches étudiées, *S. thermophilus* a présenté les effectifs les plus élevés durant toute la période de conservation.

4.2.. Résultat de l'évolution de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

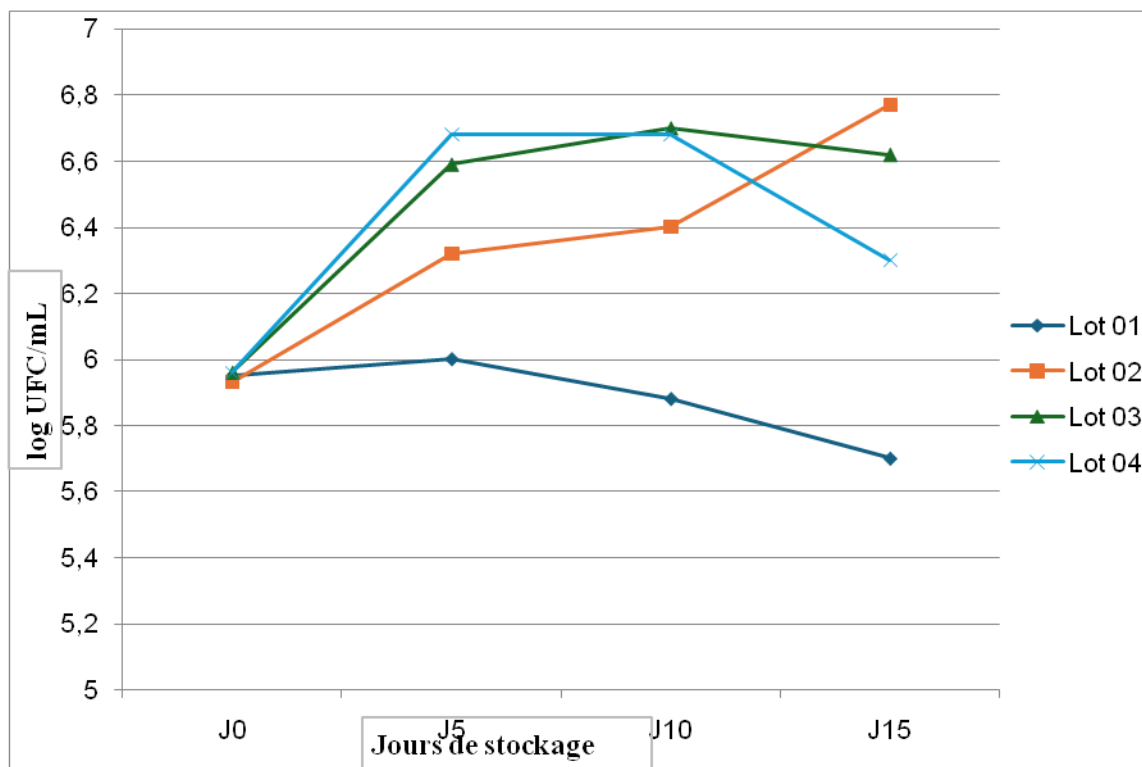


Figure 21 : Évolution des populations de *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* dans le yaourt réfrigéré à 4 °C pendant 15 jours

Concernant l'évolution de *Lactobacillus delbrueckii subsp.*, les concentrations initiales variaient entre $8,51 \times 10^5$ et $9,12 \times 10^5$ UFC/mL, soit environ 5,93 à 5,96 log UFC/mL. Les faibles écarts observés entre les différents lots témoignent d'une bonne homogénéité de l'ensemencement et confirment que les conditions initiales de l'essai étaient comparables. Cette homogénéité est essentielle pour attribuer les variations ultérieures de croissance ou de viabilité à l'effet des traitements appliqués plutôt qu'à des différences de départ.

Par ailleurs, *L. delbrueckii subsp.* est une bactérie lactique reconnue pour sa sensibilité aux conditions de conservation. Sa viabilité peut être affectée par plusieurs facteurs, notamment l'accumulation d'acide lactique produite au cours de la fermentation, entraînant une diminution du pH du milieu, ainsi que par le stockage prolongé à basse température. Ces contraintes peuvent induire un stress physiologique susceptible de réduire progressivement la survie cellulaire et l'activité métabolique de la souche (Giraffa et al., 2010).

Dans le lot témoin sans mucilage, le nombre de bactéries a diminué progressivement au cours de la conservation. À J15, la population n'était plus que de $5,01 \times 10^5$ UFC/mL (5,70 log UFC/mL), une valeur inférieure au seuil de 10^6 UFC/mL généralement recommandé pour les bactéries probiotiques (FAO/WHO, 2002). Cette diminution montre que la survie de la souche est limitée lorsqu'aucun agent protecteur n'est ajouté au yaourt.

L'ajout de mucilage a permis de maintenir des populations bactériennes plus élevées tout au long de la période de conservation. Le lot enrichi avec 40 mL de mucilage a présenté les effectifs les plus importants, atteignant $6,46 \times 10^6$ UFC/mL à J10 puis $5,89 \times 10^6$ UFC/mL à J15. Le lot contenant 20 mL de mucilage a également montré une bonne viabilité bactérienne, avec des concentrations de $5,01 \times 10^6$ UFC/mL à J10 et $4,17 \times 10^6$ UFC/mL à J15.

Ces résultats indiquent que le mucilage d'anis exerce un effet favorable sur la survie de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* au cours du stockage réfrigéré. Cet effet semble **dose-dépendant**, les effectifs bactériens étant plus élevés dans le lot recevant la plus forte concentration de mucilage et qui pourrait être attribuée à la présence de polysaccharides, lesquels peuvent agir comme substrats fermentescibles ou comme composés protecteurs vis-à-vis des contraintes environnementales rencontrées pendant le stockage.

Selon Gibson et Roberfroid (1995), les polysaccharides non digestibles peuvent favoriser sélectivement la croissance et l'activité des bactéries bénéfiques. Dans le cas présent, le mucilage pourrait fournir une source complémentaire de nutriments permettant de prolonger l'activité métabolique de *L. bulgaricus* et d'améliorer sa résistance aux conditions de conservation. De plus, les propriétés hydrocolloïdales du mucilage pourraient contribuer à la protection des cellules bactériennes en limitant les effets du stress acide et des basses températures.

Ainsi, les yaourts enrichis en mucilage ont conservé des populations de *L. bulgaricus* significativement plus élevées que le témoin tout au long du stockage. Cet effet apparaît particulièrement important pour cette espèce, reconnue comme l'une des bactéries du yaourt les plus sensibles à l'acidification progressive du milieu. En l'absence de mucilage, la diminution de viabilité est plus marquée, ce qui suggère un rôle protecteur potentiel du mucilage d'anis vis-à-vis des bactéries lactiques pendant la conservation.

4.3. Résultat de l'évolution de *Lactobacillus plantarum*

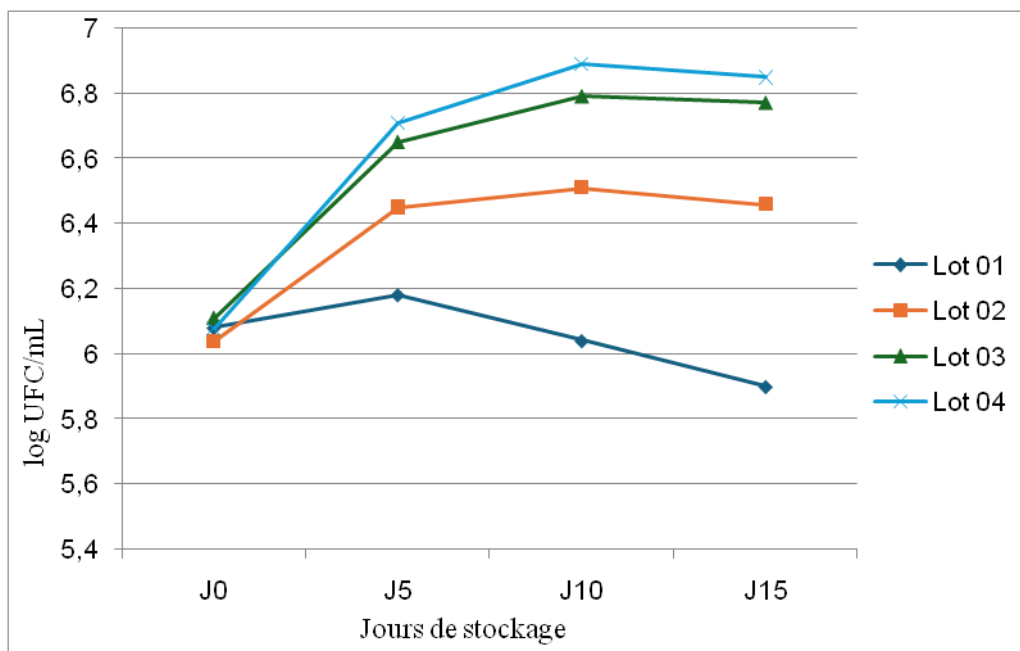


Figure 22 : Évolution des populations de *Lactobacillus plantarum* dans le yaourt réfrigéré à 4 °C pendant 15 jours

L'évolution des populations de *Lactobacillus plantarum* dans a été suivie dans les quatre lots de yaourt conservés à 4 °C pendant 15 jours.

À J0, les populations de *Lactobacillus plantarum* étaient comprises entre $1,10 \times 10^6$ et $1,29 \times 10^6$ UFC/mL, ce qui correspond à environ 6,04–6,11 log UFC/mL. Cette homogénéité montre quel'ensemencement a été effectué dans de bonnes conditions et constitue une bonne base pour suivre l'évolution de la souche au cours de l'étude (Tripathi et Giri, 2014). *L. plantarum* est une souche probiotique reconnue pour sa bonne résistance aux conditions du tractus gastro-intestinal, ce qui en fait un candidat intéressant pour le développement d'aliments fonctionnels (Chekired et al., 2019).

Dans le lot témoin (sans mucilage), on observe une légère augmentation à J5 avec $1,51 \times 10^6$ UFC/mL, suivie d'une diminution progressive jusqu'à $7,94 \times 10^5$ UFC/mL à J15. Cette valeur finale est inférieure au seuil minimal de viabilité de 10^6 UFC/mL généralement recommandé pour les probiotiques, ce qui indique que la souche se maintient moins bien en l'absence d'un agent protecteur (FAO/WHO, 2002).

Par contre, dans les lots enrichis en extrait de mucilage d'anis, la croissance bactérienne est nettement stimulée. Avec la concentration la plus élevée (40 mL), la population atteint $7,76 \times 10^6$ UFC/mL à J10, puis diminue légèrement à $7,08 \times 10^6$ UFC/mL à J15. La concentration

intermédiaire (20 mL) donne également des résultats intéressants avec $6,17 \times 10^6$ UFC/mL (6,79 log UFC/mL) à J10 et $5,89 \times 10^6$ UFC/mL (6,77 log UFC/mL) à J15.

Le mucilage agit comme un prébiotique naturel en fournissant des polysaccharides fermentescibles pouvant servir de substrat énergétique complémentaire aux bactéries lactiques, favorisant ainsi leur croissance (**Gibson et Roberfroid, 1995 ; Roberfroid et al., 2010**). Les résultats obtenus montrent que la présence d'extrait de mucilage d'anis contribue au maintien et à la stabilité des populations de *Lactobacillus plantarum* tout au long des 15 jours de conservation à 4 °C.

5. Résultats des analyses physico-chimiques

5.1 pH

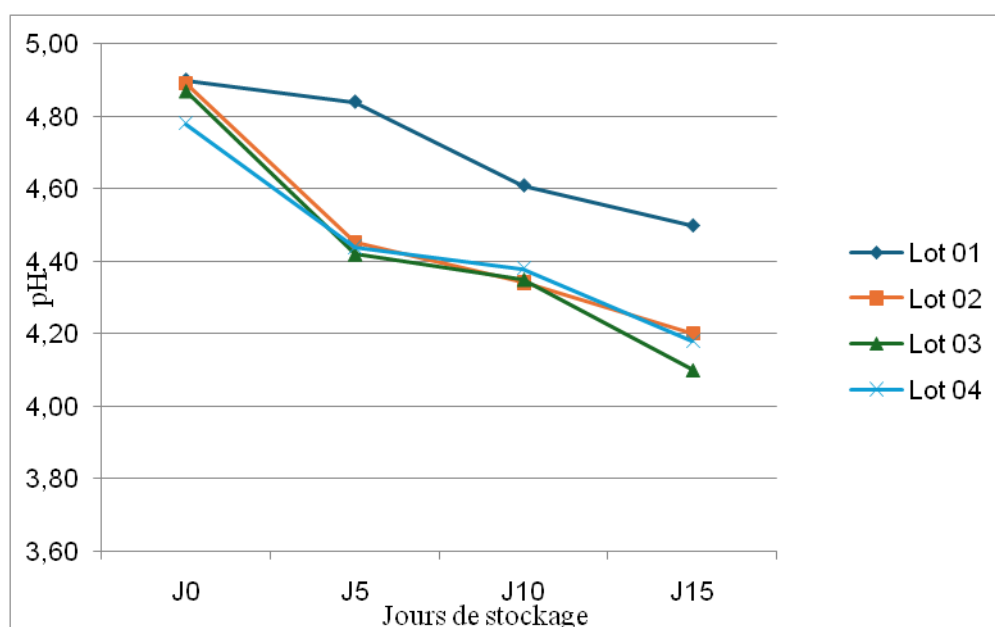


Figure 23 : Évolution du pH de 04 lots pendant 15 jours de stockage.

Les résultats obtenus montrent une différence nette entre le lot témoin et les lots enrichis en mucilage d'anis. Au cours des 15 jours de conservation à 4 °C, une diminution progressive du pH a été observée dans l'ensemble des échantillons. Cette évolution est liée à la poursuite de l'activité des bactéries lactiques après la fermentation. En effet, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* continuent à produire de l'acide lactique à partir du lactose résiduel, ce qui entraîne une baisse du pH pendant le stockage (**Tamime & Robinson, 2007**).

À J15, le lot témoin présente un pH de 4,50, alors que les lots contenant du mucilage affichent des valeurs plus faibles, avec 4,32 pour le lot Faible (10 mL), 4,25 pour le lot Moyen (20 mL)

et 4,20 pour le lot Forte (40 mL). Ces résultats indiquent que l'ajout de mucilage favorise l'activité des bactéries lactiques et accentue l'acidification du yaourt au cours de la conservation. Des observations similaires ont été rapportées par **Basiri et al. (2018)** lors de l'incorporation de mucilage de lin dans le yaourt. Les auteurs ont montré que la présence du mucilage stimulait le développement des bactéries lactiques, ce qui s'accompagnait d'une augmentation de l'acidité et d'une diminution du pH par rapport au produit témoin.

Par ailleurs, une diminution progressive du pH a été observée avec l'augmentation de la concentration en mucilage. Le lot contenant 40 mL de mucilage a présenté la valeur de pH la plus faible à la fin du stockage, traduisant une acidification plus importante que dans les autres formulations. Cette évolution suggère que l'augmentation de la concentration en mucilage favorise le maintien de l'activité fermentaire des bactéries lactiques durant la conservation. Dans l'ensemble, les résultats obtenus montrent que l'ajout du mucilage d'anis favorise l'acidification du yaourt au cours de la conservation réfrigérée (**Béal & Helinck, 2019**).

5.2. Acidité titrable

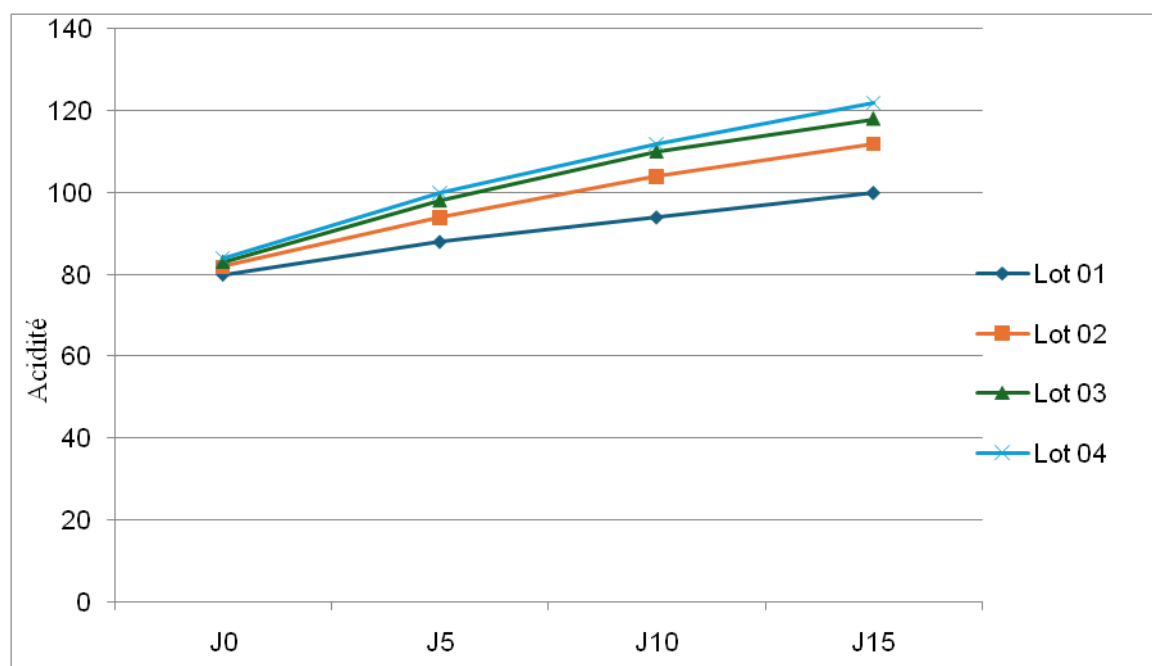


Figure 24 : Évolution d'acidité des 4 lots pendant 15 jours de stockage

Les résultats obtenus montrent une différence nette entre le lot témoin et les lots enrichis en mucilage d'anis. Au cours des 15 jours de conservation à 4 °C, l'acidité titrable a augmenté progressivement dans l'ensemble des échantillons. Cette évolution est en accord avec la diminution du pH observée et s'explique par la poursuite de l'activité des bactéries lactiques, qui continuent à produire de l'acide lactique pendant le stockage (**Tamime & Robinson, 2007**).

À J15, l'acidité du lot témoin atteint 100 °D, tandis que les lots enrichis présentent des valeurs plus élevées : 112 °D pour le lot Faible (10 mL), 118 °D pour le lot Moyen (20 mL) et 122 °D pour le lot Forte (40 mL). Ces résultats montrent que l'ajout de mucilage favorise l'acidification du yaourt au cours de la conservation. Cette augmentation de l'acidité est attribuée à la capacité du mucilage à maintenir l'activité des bactéries lactiques au cours du stockage, en raison de sa richesse en polysaccharides susceptibles d'être utilisés comme substrats fermentescibles (**Gibson et al., 2017 ; Tosif et al., 2021**).

Les valeurs initiales observées sont similaires à celles généralement rapportées pour un yaourt frais après fermentation (**Tamime & Robinson, 2007**). Une évolution comparable a été observée par **Basiri et al. (2018)** dans des yaourts enrichis en mucilage de lin. Les auteurs ont montré que la présence du mucilage favorisait le maintien de l'activité des bactéries lactiques pendant le stockage, ce qui se traduisait par une augmentation progressive de l'acidité du produit.

L'augmentation de l'acidité est plus marquée dans les lots enrichis en mucilage que dans le lot témoin. Le lot contenant 40 mL de mucilage présente la valeur d'acidité la plus élevée à la fin du stockage, ce qui confirme l'effet favorable d'une concentration plus importante de mucilage sur l'activité fermentaire. Dans l'ensemble, les valeurs obtenues restent compatibles avec celles rapportées dans la littérature pour des yaourts conservés sous réfrigération (**Tamime & Robinson, 2007 ; Béal & Helinck, 2019**).

6. Qualité organoleptique du yaourt enrichis en mucilage

L'évaluation sensorielle des quatre lots de yaourt (Témoin, Faible, Moyen et Forte) a été réalisée par un panel de dix dégustateurs et a porté sur sept critères : la cohésivité, l'adhésivité, le goût acide, l'arrière-goût, l'odeur, la couleur et l'acceptabilité globale. Chaque paramètre a été évalué à l'aide d'une échelle de notation allant de 1 à 10.

Les résultats obtenus montrent une amélioration progressive des propriétés sensorielles entre le lot Témoin et le lot Moyen. La cohésivité passe de 3,3 à 5,1 tandis que l'adhésivité augmente de 3,2 à 5,6. Cette évolution traduit un renforcement de la structure du gel résultant de l'incorporation du mucilage dans la matrice laitière. Ces observations sont cohérentes avec les travaux de **Khorshidi et al., (2021)**, qui ont montré que l'ajout de mucilage de graines de *Plantago ovata* améliore la rétention d'eau, réduit la synérèse et améliore les caractéristiques texturales du yaourt tout en maintenant une bonne acceptabilité sensorielle.

L'acceptabilité globale suit la même tendance, passant de 6,2 pour le lot Témoin à 7,6 pour le lot Moyen, qui présente le score le plus élevé parmi les formulations étudiées. Cette amélioration peut être attribuée à un équilibre favorable entre les propriétés texturales et les caractéristiques organoleptiques du produit. La couleur obtient également son score maximal pour ce lot (8,2/10), traduisant une appréciation positive des dégustateurs.

À l'inverse, le lot Forte présente une diminution de plusieurs paramètres sensoriels par rapport au lot Moyen. L'acceptabilité globale diminue à 5,7, tandis que l'arrière-goût obtient une note plus faible (4,4 contre 6,9 pour le lot Moyen). Cette baisse de l'acceptabilité à forte concentration a également été rapportée dans la littérature pour différents ingrédients fonctionnels. **Aly et al., (2018)** ont observé qu'une augmentation excessive de la teneur en inuline dans le yaourt allégé entraînait une diminution des scores sensoriels après une amélioration initiale des propriétés du produit. De même, **(Mousavi et al.,2019)** ont montré que des concentrations élevées de graines de lin dans le yaourt pouvaient affecter négativement le goût, la sensation en bouche et l'acceptabilité globale.

L'ensemble de ces résultats suggère l'existence d'une concentration optimale de mucilage correspondant au lot Moyen dans les conditions de cette étude. Au-delà de ce niveau, une viscosité excessive ou l'apparition d'un arrière-goût plus marqué pourraient contribuer à la diminution de l'appréciation sensorielle du produit.

Sur le plan technologique, ces observations indiquent que l'incorporation du mucilage de graines d'anis dans le yaourt doit être soigneusement optimisée afin de concilier les propriétés fonctionnelles recherchées et l'acceptabilité par le consommateur. Dans les conditions de cette étude, le lot Moyen apparaît comme la formulation la plus équilibrée parmi celles étudiées.

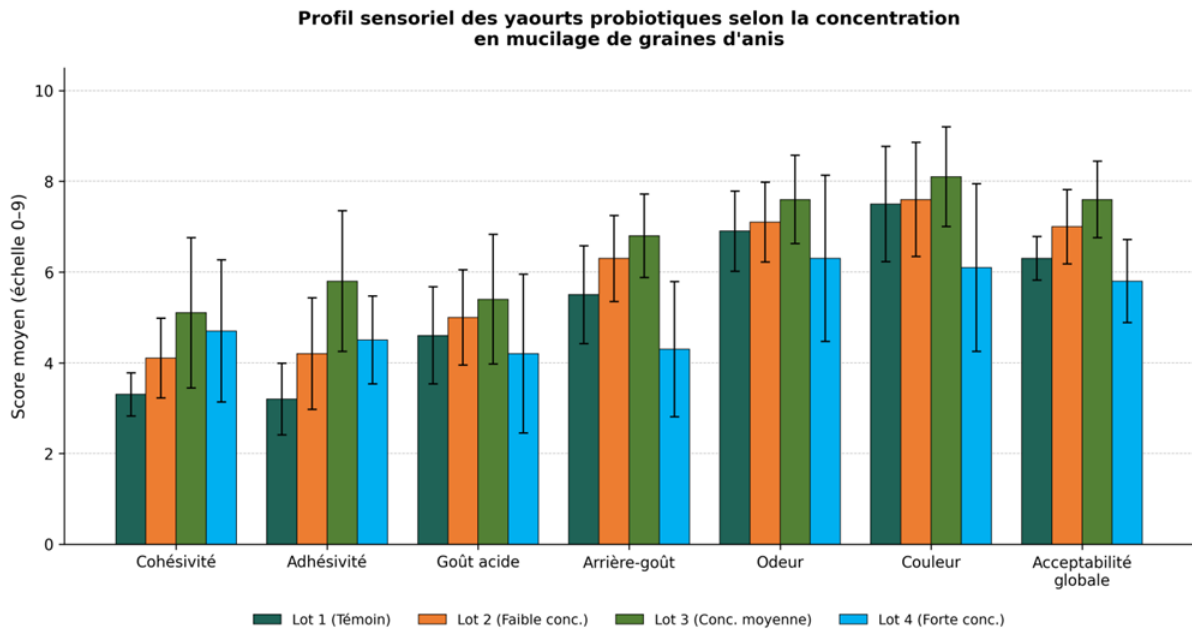


Figure 25 : Évaluation sensorielle (cohésivité, adhésivité, goût acide, arrière-goût, odeur, couleur et acceptabilité globale) des yaourts probiotiques selon la concentration en mucilage de graines d'anis .

Conclusion

Conclusion

Le présent travail s'inscrit dans une démarche de valorisation des ressources végétales naturelles à visée fonctionnelle, à travers l'étude du mucilage extrait des graines d'anis vert (*Pimpinella anisum* L.) et son application dans l'élaboration d'un yaourt probiotique enrichi. L'objectif principal était d'évaluer le potentiel technologique et biologique de ce mucilage, en particulier son activité prébiotique, son pouvoir antioxydant et son effet sur la qualité microbiologique, physico-chimique et sensorielle d'un yaourt au cours de sa conservation.

En conclusion, le mucilage extrait des graines d'anis vert (*Pimpinella anisum* L.) a montré un intérêt fonctionnel prometteur dans l'élaboration d'un yaourt probiotique enrichi. L'extraction a permis d'obtenir un rendement de 5,27 %. Sur le plan biologique, le mucilage a favorisé la croissance de *Lactobacillus plantarum*, avec une densité optique atteignant 1,280 à T24, contre 1,503 pour l'inuline et 0,755 pour le témoin sans source carbonée, ce qui suggère un potentiel prébiotique intéressant. Son activité antioxydante est restée modérée, avec une inhibition maximale du DPPH de 29,5 %.

Dans les yaourts enrichis, le mucilage a amélioré la viabilité des flores lactiques et probiotiques durant 15 jours de stockage à 4 °C. Le lot enrichi à forte concentration a notamment permis de maintenir *Lactobacillus plantarum* à $7,08 \times 10^6$ UFC/mL à J15, contre $7,94 \times 10^5$ UFC/mL dans le témoin. De même, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ont présenté des effectifs plus élevés dans les lots enrichis. L'ajout du mucilage a également accentué l'acidification du yaourt, avec un pH final de 4,10–4,20 dans les lots enrichis contre 4,50 pour le témoin, et une acidité titrable atteignant 220 °D dans le lot le plus concentré. Sur le plan sensoriel, la concentration moyenne a donné les meilleurs résultats, avec une acceptabilité globale de 7,6/10, ce qui en fait la formulation la plus équilibrée. Ces résultats montrent que le mucilage d'anis pourrait constituer un ingrédient naturel intéressant pour le développement de yaourts probiotiques fonctionnels.

Références bibliographique

A

AlBalawi, A. N., Elmetwalli, A., Baraka, D. M., Alnagar, H. A., Alamri, E. S., & Hassan, M. G. (2023). Chemical constituents, antioxidant potential, and antimicrobial efficacy of *Pimpinella anisum* extracts against multidrug-resistant bacteria. *Microorganisms*, 11(4), 1024.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11041024>

Al-Wendawi, S. H. A., Gharb, L. A., & Al-Ghrery, R. S. (2021). Antioxidant, antibacterial and antibiofilm potentials of anise (*Pimpinella anisum*) seeds extracted essential oils. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 52(2), 348–358. <https://doi.org/10.36103/ijas.v52i2.1296>

Amiot, J., Fournier, S., Lebeuf, Y., Paquin, P., Simpson, R., & Turgeon, H. (2002). *Science et technologie du lait : Transformation du lait*. Presses Internationales Polytechnique.

Ayivi, R. D., & Ibrahim, S. A. (2022). Lactic acid bacteria: An essential probiotic and starter culture for the production of yoghurt. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(11), 7008–7025. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16076>

B

Basiri, S., Haidary, N., Shekarforoush, S. S., & Niakousari, M. (2018). Flaxseed mucilage: A natural stabilizer in stirred yogurt. *Carbohydrate Polymers*, 187, 59–65.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.049>

Béal, C., & Helinck, S. (2019). *Le yaourt : technologie, microbiologie et qualité*. Lavoisier Tec & Doc.

Béal, C., & Sodini, I. (2003). Les mécanismes de formation de la texture du yaourt et les facteurs qui l'influencent. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 120(5), 23–30.

Berkani, A., & Rabie, S. (2015). Contribution à l'étude des propriétés émulsifiantes du mucilage extrait à partir des graines de *Trigonella foenum-graecum* [Mémoire de master]. Université Saad Dahlab Blida.

Bondarev.gal. (2024). *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* in yogurt [Photographie microscopique]. Wikimedia Commons.

Bouyedda, A., Haridi, I., & Merzougoui, R. (2021). La perception des critères de qualité retenus par le client à l'achat et à la consommation du yaourt [Mémoire de master, Université 8 Mai 1945, Guelma].

Bylund, G. (1995). *Dairy processing handbook*. Tetra Pak Processing Systems AB.

C

Courtin, P., & Rul, F. (2004). Interactions between microorganisms in a simple ecosystem: yogurt bacteria as a study model. *Lait*, 84(2), 125–134. <https://doi.org/10.1051/lait:2003031>

Cheftel, J. C., Cuq, J. L., & Lorient, D. (1985). *Protéines alimentaires : Biochimie, propriétés fonctionnelles, valeur nutritionnelle*. Technique et Documentation.

Chekired, I., Aliouche, N., & Idoui, T. (2019). Performances probiotiques de *Lactobacillus plantarum* S10 [Mémoire de master]. Université Mohammed Seddik Ben Yahia.

Chevalier, A. (1943). L'anis vert (*Pimpinella anisum* L.). *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 23(263–265), 197–213.

Corcoran, B. M., Stanton, C., Fitzgerald, G. F., & Ross, R. P. (2006). Survival of probiotic lactobacilli in acidic environments. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(4), 3060–3067.

D

Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*, 8(3), 92. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>

E

European Medicines Agency. (2013). *Community herbal monograph on Pimpinella anisum* L., fructus. EMA.

F

FAO. (1995). *Fermented milk products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations

FAO/OMS. (2003). *Directives pour l'évaluation des probiotiques dans les aliments*. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture et Organisation Mondiale de la Santé.

FAO/WHO. (2001). Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World

FAO/WHO. (2002). *Guidelines for the evaluation of probiotics in food.*

Fisberg, M., & Machado, R. (2015). History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition Reviews*, 73(S1), 4–7.

Franck, A., & Coussement, P. (1997). *Prebiotics and functional food applications.* Food Ingredients and Analysis International.

G

Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125(6), 1401–1412.

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., & Reid, G. (2017). 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. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>

Gibson, G. R., Probert, H. M., Van Loo, J. A. E., Rastall, R. A., & Roberfroid, M. B. (2004). Dietary modulation of the human colonic microbiota: Updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*, 17(2), 259–275. <https://doi.org/10.1079/NRR200479>

Giraffa, G., Chanishvili, N., & Widyastuti, Y. (2010). Importance of lactobacilli in food and feed biotechnology. *Research in Microbiology*, 161(6), 480–487. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2010.03.001>

Gökşen, G., Demir, D., Dhama, K., Kumar, M., Shao, P., Xie, F., Echegaray, N., & Lorenzo, J. M. (2023). Mucilage polysaccharide as a plant secretion: Potential trends in food and biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 230, 123146. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123146>

Granato, D., Branco, G. F., Cruz, A. G., Faria, J. A. F., & Shah, N. P. (2010). Probiotic dairy products as functional foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), 455–470. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00120.x>

Guarino, F. (2024). *Mucillagine : cos'è, usi e impieghi (y compris alimentaire)*. NonSprecare.

Guiraud, J.-P. (2003). *Microbiologie alimentaire*. Dunod.

H

Hemissi, R., & Talhi, H. (2021). Extraction d'huiles fixes et essentielles de l'espèce végétale *Pimpinella anisum* en vue d'une application comme agent antioxydant, anti-enzymatique et anti-cholinestérase [Mémoire de master, Université Badji Mokhtar, Annaba].

INOXPA. (2014). *Le procédé de fabrication du yaourt*. INOXPA S.A.

K

Kassem, I. A. A., Ashaolu, T. J., Kamel, R., Elkasabgy, N. A., Afifi, S. M., & Farag, M. A. (2021). Mucilage as a functional food hydrocolloid: Ongoing and potential applications in prebiotics and nutraceuticals. *Food & Function*, 12(11), 4738–4748.
<https://doi.org/10.1039/D1FO00438G>

Kew Science. (2024). *Pimpinella anisum L.* Plants of the World Online.

Khorshidi, M., Heshmati, A., Taheri, M., Karami, M., & Mahjub, R. (2021). Effect of whey protein- and xanthan-based coating on the viability of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* and physiochemical, textural, and sensorial properties of yogurt. *Food Science & Nutrition*, 9(7), 3942–3953. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2398>

Kifouche, A., & Belaidi, N. (2023). Étude de l'effet chimiopréventif de *Pimpinella anisum* [Mémoire de master]. Université Frères Mentouri Constantine.

L

Luquet, F. M., & Corrieu, G. (2005). *Bactéries lactiques et produits fermentés*. Lavoisier Tec & Doc.

M

Monniaux, D. (2007). *Aniseed p1160018* [Photographie]. Wikimedia Commons.

Mousavi, M., Heshmati, A., Daraei Garmakhany, A., Vahidinia, A., & Taheri, M. (2019). Texture and sensory characterization of functional yogurt supplemented with flaxseed during cold storage. *Food Science & Nutrition*, 7(3), 907–917. <https://doi.org/10.1002/fsn3.805>

Mudgil, D., & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044>

Munir, A., Youssef, F. S., Ishtiaq, S., Kamran, S. H., Sirwi, A., Ahmed, S. A., Ashour, M. L., & Elhady, S. S. (2021). Malva parviflora leaves mucilage: An eco-friendly and sustainable biopolymer with antioxidant properties. *Polymers*, 13(23), 4251. <https://doi.org/10.3390/polym13234251>

O

Oh, S., & Kim, D.-Y. (2022). Characterization, antioxidant activities, and functional properties of mucilage extracted from *Corchorus olitorius* L. *Polymers*, 14(12), 2488. <https://doi.org/10.3390/polym14122488>

Ouis, N., & Hariri, A. (2021). Chemical analysis, antioxidant and antibacterial activities of aniseeds essential oil. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 86(4), 337–348.

P

Prajapati, V. D., Jani, G. K., Moradiya, N. G., & Randeria, N. P. (2013). Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1685–1699. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.021>

R

Roberfroid, M. B. (2007). Inulin-type fructans: Functional food ingredients. *Journal of Nutrition*, 137(11 Suppl), 2493S–2502S. <https://doi.org/10.1093/jn/137.11.2493S>

Roberfroid, M., Gibson, G. R., Hoyles, L., McCartney, A. L., Rastall, R. A., Rowland, I., Wolvers, D., Watzl, B., Szajewska, H., Stahl, B., Guarner, F., Respondek, F., Whelan, K., Coxam, V., Davicco, M. J., Léotoing, L., Wittrant, Y., Delzenne, N. M., Cani, P. D., Neyrinck,

A. M., & Meheust, A. (2010). Prebiotic effects: Metabolic and health benefits. *British Journal of Nutrition*, 104(S2), S1–S63. <https://doi.org/10.1017/S0007114510003363>

S

Saritaş, S., Mondragon Portocarrero, A. D. C., Miranda, J. M., Witkowska, A. M., & Karav, S. (2024). Functional yogurt: Types and health benefits. *Applied Sciences*, 14(24), 11798. <https://doi.org/10.3390/app142411798>

Science Photo Library. (2018). *Streptococcus thermophilus* [Micrographie électronique]. Science Photo Library.

Shahid, M., Liaqat, I., Naqvi, S. N. A., Abbas, M., Sonia, Saif, A., & Moreen, T. (2023). Probiotics and prebiotics in functional dairy products. Dans *Gut microbiota and holistic health* (pp. 126–133). Unique Scientific Publishers.

Shojaii, A., & Abdollahi Fard, M. (2012). Review of pharmacological properties and chemical constituents of *Pimpinella anisum*. *ISRN Pharmaceutics*, 2012, 510795. <https://doi.org/10.5402/2012/510795>

Soussi, M., El Yaagoubi, W., Nekhla, H., El Hanafi, L., Squalli, W., Benjelloun, M., & El Ghadraoui, L. (2023). A multidimensional review of *Pimpinella anisum* and recommendation for future research to face adverse climatic conditions. *Chemistry Africa*, 6(4), 1727–1746. <https://doi.org/10.1007/s42250-023-00633-3>

Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Cheng, Q. (2019). Anise (*Pimpinella anisum* L.), a dominant spice and traditional medicinal herb for both food and medicinal purposes. *Cogent Biology*, 5(1), 1673688. <https://doi.org/10.1080/23312025.2019.1673688>

Swanson, K. S., Gibson, G. R., Hutkins, R., Reimer, R. A., Reid, G., Verbeke, K., Scott, K. P., Holscher, H. D., Azad, M. B., Delzenne, N. M., & Sanders, M. E. (2020). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17(11), 687–701. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0344-2>

T

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007). *Yoghurt: Science and technology* (3rd ed.). Woodhead Publishing.

Tepe, A. S., & Tepe, B. (2015). Traditional use, biological activity potential and toxicity of *Pimpinella* species. *Industrial Crops and Products*, 69, 153–166.
https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.**01.069*

Terre Vivante. (2020). *Fleur d'anis* [Photographie]. Dans *Anis vert : culture, bienfaits et recettes*. Terre Vivante.

Tosif, M. M., Najda, A., Bains, A., Kaushik, R., Dhull, S. B., Chawla, P., & 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. <https://doi.org/10.3390/polym13071066>

Tripathi, M. K., & Giri, S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, 9, 225–241.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>

U

U.S. Department of Agriculture. (2024). *FoodData Central*.

W

World Gastroenterology Organisation. (2008). *Probiotics and prebiotics guidelines*.

World Health Organization. (2007). *WHO monographs on selected medicinal plants*.

Y

Yoo, S., Jung, S. C., Kwak, K., & Kim, J. S. (2024). Role of prebiotics in gut microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(9), 4834