



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Université M'hamed Bougara de Boumerdès (UMBB)

Faculté des Sciences

Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie Végétale

Domaine Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie Végétale

Thème

Formulation d'un aliment fonctionnel à base De probiotiques et de plantes

Présenté par : Mme OUADAH Moulhacene

Soutenu le 08/07/ 2023 devant le jury :

Mme. MOHAND-KACI H.	Professeur, UMBB	Présidente
M. AMOKRANE A.	MAA, ENSA	Examineur
M. BOUMEHIRA A. Z.	MCA, ENSA	Promoteur
M. KACI G.	MCA, UMBB	Co-Promoteur

Année universitaire :2022-2023



"اللهم إن شكري نعمة، تستحق الشكر، فعلمني كيف أشكر، الحمد لله كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم

سلطانك"

Remerciements

Je veux dans un premier temps, remercier mon promoteur Monsieur BOUMEHIRA Ali Zineddine, Maitre de Conférences A à l'ENSA, pour son encadrement, sa disponibilité et son aide précieuse. Ses conseils éclairés ont grandement contribué à l'enrichissement de ma recherche.

Mes remerciements vont également à mon Co-promoteur, Monsieur KACI Ghiles, Maitre de Conférences A à l'université de Boumerdes, pour ses précieux conseils et ses réflexions avisées qui ont permis d'améliorer la qualité de ce mémoire.

Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à Madame MOHAND-KACI Hakima, Professeur à l'université de Boumerdes, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance.

Je suis également reconnaissant envers Monsieur AMOKRANE Athmane, Maitre-Assistant A à l'ENSA, pour son soutien précieux tout au long de ce projet.

Je souhaite également remercier chaleureusement mon mari, Koudri Faycel, pour son soutien moral infaillible tout au long de ce parcours. Sa présence et ses encouragements ont été d'une importance capitale dans la poursuite de mes travaux.

Mille Merci à mes partenaires dans ce projet : Kiheli Sonia, Rebah Amira et Sibous Lamia, Rezig Yasmine.

Mes remerciements s'adressent également à : Kherchouche Ait Ouadour, Melake Lilia, Ould Said Chaima, Boucena Houda, Gueridi Sabrina, Affaf, Asma, ainsi qu'à Belamri Khaled, Badache Mohamed, Slimani Brahim et Saoudi Messaoud. Mes sincères considérations et remerciements sont également exprimés au chef de département Technologie alimentaire, M. Benchabane Ahmed, et aux ingénieurs du département Hayet et Ilhame.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers tous mes enseignants et tous les membres de ma promotion pour leur contribution à mon parcours académique.

Dédicaces

Je dédie ce travail

*À mes chers parents, véritable source de ma joie et secret de ma force,
vous êtes et serez toujours mes modèles.*

*Papa, je t'admire pour ta détermination, ta force et ton soutien
indéfectible.*

*Maman, je te suis reconnaissante pour ta bonté, ta patience et ton
dévouement sans faille.*

*Je vous remercie du fond du cœur pour tous les sacrifices que vous avez
consentis afin que vos enfants grandissent et prospèrent.*

*Rien ne peut égaler les efforts que vous avez déployés jour et nuit pour
mon éducation.*

*Cette réussite, je la dois à vous, et je suis fière de vous l'offrir. Que Dieu,
le Tout-Puissant, vous préserve et vous accorde santé, bonheur et longue vie.*

*À mes sœurs et mes frères, en témoignage de mon attachement, de mon
amour et de mon affection pour vous, je dédie ce travail avec tous mes vœux de
bonheur, de santé et de réussite.*

*Que nos liens restent forts et que nous continuions à nous soutenir
mutuellement tout au long de nos parcours respectifs.*

*Votre présence a toujours été une source de réconfort et de motivation pour moi,
et je vous en suis profondément reconnaissant.*

MOLHACENE

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
<i>Dédicaces</i>	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Introduction.....	1
I. Synthèse bibliographique.....	2
I.1. Aliments fonctionnels.....	2
I.1.1. Définition.....	2
I.1.2. Types des aliments fonctionnels.....	2
I.1.3. Fonctions et objectifs des aliments fonctionnels.....	3
I.2. Probiotiques.....	4
I.2.1. Définition	4
I.2.2. Souches probiotiques.....	5
I.2.3. Critères de sélection des souches probiotiques.....	6
I.2.4. Mécanismes d'action des souches probiotiques.....	7
I.3. Les Fromages.....	9
I.3.1. Généralités.....	9
I.3.2. Composition et propriétés physico-chimique du fromage.....	10
I.3.3. Microbiologie des fromages.....	10
I.3.4. Aspects nutritionnels du fromage.....	11
I.4. Plantes médicinales.....	11
I.4.1. Généralités.....	11
I.4.2. <i>Hibiscus sabdariffa</i>	12
I.4.3. <i>Ocimum basilicum</i>	14
I.4.4. <i>Allium sativum</i>	15
II. Matériel et méthodes.....	17
II.1. Objectif du travail.....	17
II.2. Matériels.....	17
II.2.1. Ferments lactiques probiotiques.....	17
II.2.2. Présure Microbienne.....	17
II.2.3. Lait pasteurisé	17

II.2.4. Matière Végétale.....	18
II.2.5. Appareillage	18
II.2. Méthodes	18
II.2.1. Formulation du fromage fonctionnel.....	18
II.2.2. Formulation des Fromages.....	19
II.2.3 Mesure du Potentiel hydrogène (pH).....	21
II.2.4. Dosage des protéines (Méthode Kjeldahl).....	22
II.2.5. Analyses sensorielles.....	24
III. Résultats et discussion.....	25
III.2.1. Analyses sensorielles.....	25
III.2.3 Mesure du Potentiel hydrogène (pH).....	25
III.2.4 Dosage des protéines.....	26
Conclusion.....	28
Références bibliographiques	

Résumé

Abstract

الملخص

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Fonctions et objectifs des aliments fonctionnels.....	4
Figure 1.2. Les souches probiotiques les plus utilisées.....	6
Figure 1.3. Les criteres de sélection des souches probiotiques	7
Figure 1.4 Mécanismes d'action des souches probiotiques.....	9
Figure 1.5. Schéma simplifié de la physiopathologie de l'hypertension artérielle.....	13
Figure 1.6. Effet vasodilatateur de la plante <i>Hibiscus sabdariffa</i>	14
Figure 2.1. Photos des fromages formulés.....	19
Figure 2.2. Schéma simplifié du protocole de dosage des protéines dans les fromages.....	22
Figure 3.2. Résultats de l'analyse sensorielles des 04 fromages formulés.....	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Catégorisation des aliments fonctionnels en fonction de leurs effets sur la Santé.....	3
Tableau 3.1. Résultats de la mesure du pH.....	25
Tableau 3.2. Résultat du dosage des protéines.....	26

Introduction

Introduction

Les aliments fonctionnels jouent un rôle essentiel dans le maintien et l'amélioration de la santé, en offrant des avantages spécifiques au-delà de leur simple valeur nutritive (Granato et al., 2020). Pour les personnes souffrant de certaines affections, telles que les maladies chroniques et l'hypertension, il peut être particulièrement difficile de trouver des options alimentaires adaptées à leurs besoins spécifiques (Pérez-Ferrer et al., 2019). De nombreux produits laitiers fermentés, tels que les fromages, sont souvent exclus de leur régime en raison de leur teneur élevée en sodium. Cependant, il est important de noter que ces produits contiennent également des probiotiques bénéfiques pour la santé (Homayouni et al., 2020).

Les probiotiques, des micro-organismes vivants qui offrent des avantages pour la santé lorsqu'ils sont consommés en quantités adéquates, sont connus pour leur capacité à améliorer la santé digestive, à renforcer le système immunitaire et à favoriser l'équilibre du microbiote intestinal. De plus, les plantes médicinales ont également été utilisées depuis des siècles pour leurs propriétés thérapeutiques et médicinales, offrant un large éventail de composés bioactifs bénéfiques pour la santé humaine (Mazziotta, Tognon, Martini, Torreggiani, & Rotondo, 2023).

Dans ce contexte, l'objectif de ce mémoire est de formuler et de développer un aliment fonctionnel : un fromage à base de probiotiques et de plantes. Cette approche permet de combiner les bienfaits des probiotiques et des plantes dans un produit alimentaire sûr et bénéfique pour la santé. En créant une alternative aux fromages traditionnels, nous visons à répondre aux besoins spécifiques des personnes malades et hypertendues qui doivent limiter leur consommation de produits fermentés.

Le présent document développe cette étude, avec comme point de départ un rappel bibliographique (chapitre 1), suivi d'une description des différents matériels utilisés et de la

méthodologie appliquée (chapitre 2), s'ensuit la présentation des résultats obtenus et leur discussion (chapitre 3). Enfin, une conclusion enrichie de perspectives clôture le tout.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Synthèse bibliographique

1. Aliments fonctionnels

I.1. Aliments fonctionnels

I.1.1. Définition

Les aliments fonctionnels sont une catégorie spécifique d'aliments qui sont formulés pour offrir des avantages supplémentaires pour la santé, allant au-delà de leur simple valeur nutritionnelle. Ils sont conçus pour contenir des ingrédients bioactifs, tels que des vitamines, des minéraux, des fibres alimentaires, des acides gras essentiels, des probiotiques et des composants phytochimiques, qui ont été scientifiquement prouvés pour promouvoir la santé et prévenir certaines maladies (Birch, Bonwick, & Technology, 2019; Granato et al., 2020).

L'histoire des aliments fonctionnels remonte à plusieurs siècles. Certaines cultures anciennes, comme la médecine traditionnelle chinoise et ayurvédique, utilisaient déjà des aliments et des herbes pour leurs propriétés thérapeutiques. Cependant, le concept moderne des aliments fonctionnels a émergé au Japon dans les années 1980. Le gouvernement japonais a lancé le terme "Foods for Specified Health Use" (FOSHU) pour désigner les aliments contenant des ingrédients actifs bénéfiques pour la santé, avec des allégations scientifiquement prouvées. Cette initiative a influencé d'autres pays à travers le monde, qui ont développé leurs propres réglementations sur les aliments fonctionnels. La recherche scientifique a joué un rôle essentiel dans la reconnaissance de ces aliments pour leurs bénéfices potentiels sur la santé, tels que la prévention de maladies chroniques (Granato et al., 2020; Iwatani, Yamamoto, & Wellness, 2019).

I.1.2. Types des aliments fonctionnels

La catégorisation des aliments fonctionnels est un outil précieux pour organiser et étudier ces aliments en fonction de leurs composés bioactifs, de leurs effets sur la santé et de leurs caractéristiques spécifiques. Cette approche permet une meilleure compréhension des différents types d'aliments fonctionnels, facilitant ainsi leur réglementation, leur recherche et leur intégration dans une alimentation saine et équilibrée (Iwatani et al., 2019). Le tableau ci-dessous (**Tab.1.1**) regroupe les différentes catégories des aliments fonctionnels en fonction de leurs effets sur la santé.

Tableau 1.1 Catégorisation des aliments fonctionnels en fonction de leurs effets sur la santé (Birch et al., 2019; Díaz, Fernández-Ruiz, & Cámara, 2020; Granato et al., 2020)

Catégories	Aliments fonctionnels	Effets sur la santé
Antioxydants	Les baies, les agrumes, les légumes à feuilles vertes et les fruits colorés	Protection des cellules du corps contre les dommages causés par les radicaux libres
Probiotiques	Aliments contenant des microorganismes bénéfiques (yaourt, le kéfir et certains types de fromages)	Instauration de l'équilibre de la flore intestinale, amélioration de la digestion et renforcement du système immunitaire
Fibres alimentaires	Les légumes, les fruits, les céréales complètes et les légumineuses	Amélioration de la santé digestive et réduction réduisent des risques de maladies cardiovasculaires
Oméga-3	Les poissons gras (saumon, sardines) et les graines de lin	Préservation de la santé cardiaque, amélioration du fonctionnement cérébral et réduction de l'inflammation
Composants phytochimiques	Le thé vert, les légumes crucifères (brocoli, chou-fleur) et les épices	Propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses

I.1.3. Fonctions et objectifs des aliments fonctionnels

Les aliments fonctionnels sont conçus pour remplir des fonctions spécifiques dans le maintien et l'amélioration de la santé. Leurs objectifs sont multiples et peuvent varier en fonction des propriétés et des ingrédients spécifiques de chaque aliment fonctionnel (**Fig.1.1**). L'un des objectifs principaux des aliments fonctionnels est de prévenir ou de réduire le risque de maladies chroniques. Certains aliments fonctionnels, riches en antioxydants, en fibres solubles ou en acides gras oméga-3, peuvent aider à protéger contre les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2, l'obésité et certains types de cancer (Birch et al., 2019; Díaz et al., 2020; Granato et al., 2020).

Un autre objectif est d'améliorer la santé digestive. Certains aliments fonctionnels contiennent des probiotiques, qui favorisent l'équilibre de la flore intestinale et améliorent la digestion.

Les prébiotiques, présents dans certains aliments fonctionnels, favorisent également la croissance de bonnes bactéries dans l'intestin. Les aliments fonctionnels peuvent également avoir des objectifs spécifiques, tels que renforcer le système immunitaire, améliorer la santé osseuse, favoriser la santé cérébrale et soutenir la fonction cognitive (Díaz et al., 2020).

En outre, les aliments fonctionnels peuvent contribuer à promouvoir le bien-être général en fournissant des nutriments essentiels, en réduisant l'inflammation, en améliorant la satiété et en favorisant une alimentation équilibrée (Granato et al., 2020).

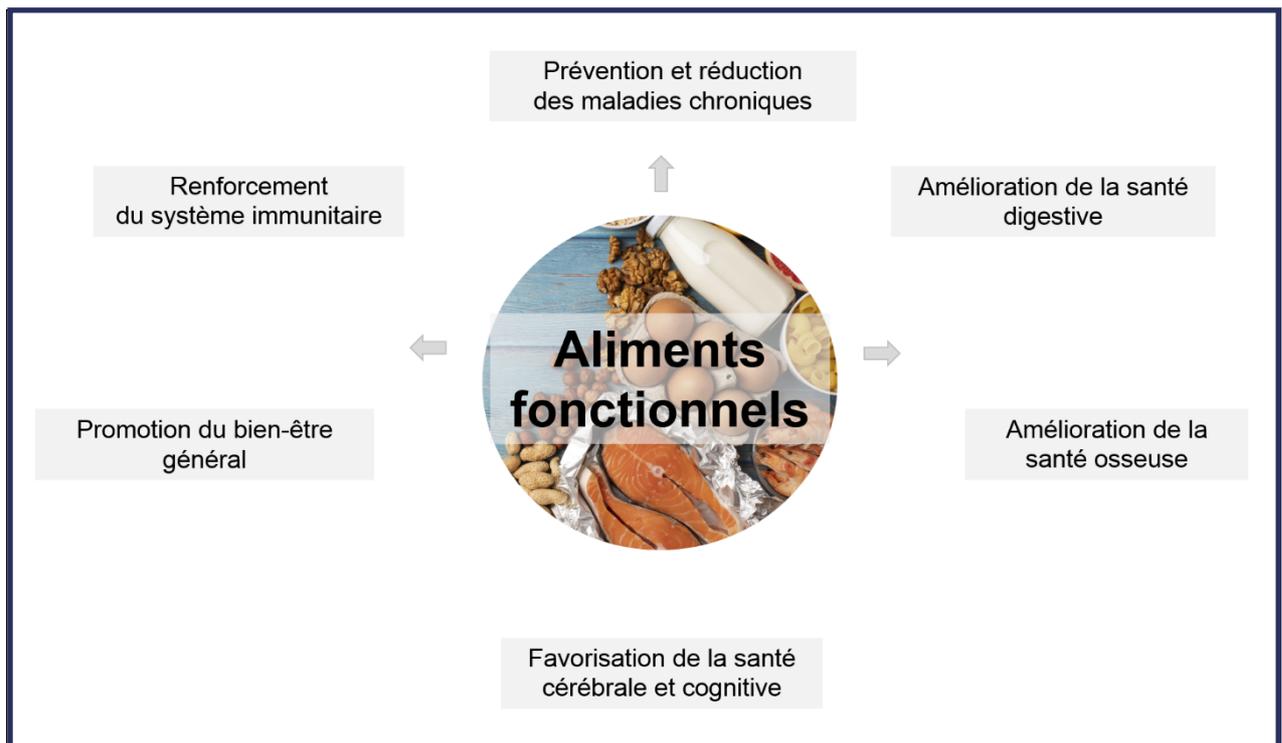


Figure 1.1 Fonctions et objectifs des aliments fonctionnels adaptée de (Birch et al., 2019; Díaz et al., 2020)

I.2. Probiotiques

I.2.1. Définition

Les probiotiques sont des micro-organismes vivants, tels que des bactéries ou des levures, qui, lorsqu'ils sont consommés en quantités adéquates, confèrent des avantages pour la santé de l'hôte. Ils se trouvent naturellement dans certains aliments fermentés, comme le yaourt, le kéfir, et la choucroute (Homayouni et al., 2020).

Depuis des siècles, les probiotiques ont été reconnus pour leur importance dans la santé. Au début du 20^e siècle, le scientifique russe Élie Metchnikoff a émis l'hypothèse que la consommation de bactéries lactiques présentes dans les produits laitiers fermentés pouvait contribuer à la longévité et à la santé. Cette idée a jeté les bases de la recherche sur les probiotiques. En effet, les probiotiques jouent un rôle clé dans le maintien de l'équilibre de la flore intestinale, qui est essentielle au bon fonctionnement du système digestif et au système immunitaire. Ils aident à prévenir la colonisation de bactéries pathogènes, renforcent la barrière intestinale et régulent l'inflammation (Homayouni et al., 2020; Mazziotta et al., 2023).

I.2.2. Souches probiotiques

Les souches probiotiques les plus utilisées sont principalement des bactéries appartenant aux genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* (**Fig.1.2**) (Teame et al., 2020; Zendeboodi, Khorshidian, Mortazavian, & da Cruz, 2020). Ces souches bactériennes sont largement étudiées pour leurs effets bénéfiques sur la santé. Elles sont souvent présentes naturellement dans l'intestin et sont considérées comme sûres pour une utilisation régulière. Certaines souches probiotiques de levures, telles que *Saccharomyces boulardii*, sont également utilisées (Staniszewski & Kordowska-Wiater, 2021). Les probiotiques à base de champignons peuvent être bénéfiques pour la santé digestive et la prévention des infections fongiques. Ces souches probiotiques sont utilisées dans différents domaines d'application, tels que les compléments alimentaires, les produits laitiers fermentés, les boissons probiotiques et les produits de santé naturels. Elles peuvent contribuer à restaurer l'équilibre de la flore intestinale, améliorer la digestion, renforcer le système immunitaire et favoriser la santé globale. Sur le plan industriel, les souches probiotiques sont utilisées pour la production de nombreux produits alimentaires et de compléments alimentaires. Elles offrent un intérêt commercial en répondant à la demande croissante des consommateurs pour des produits favorisant la santé digestive et le bien-être (Maldonado Galdeano et al., 2019; Sharifi-Rad et al., 2020; Staniszewski & Kordowska-Wiater, 2021).

Chaque souche possède des propriétés spécifiques et peut offrir divers bienfaits pour la santé, tels que l'amélioration de la digestion, le renforcement du système immunitaire et la réduction des symptômes du syndrome du côlon irritable, entre autres (Mazziotta et al., 2023).

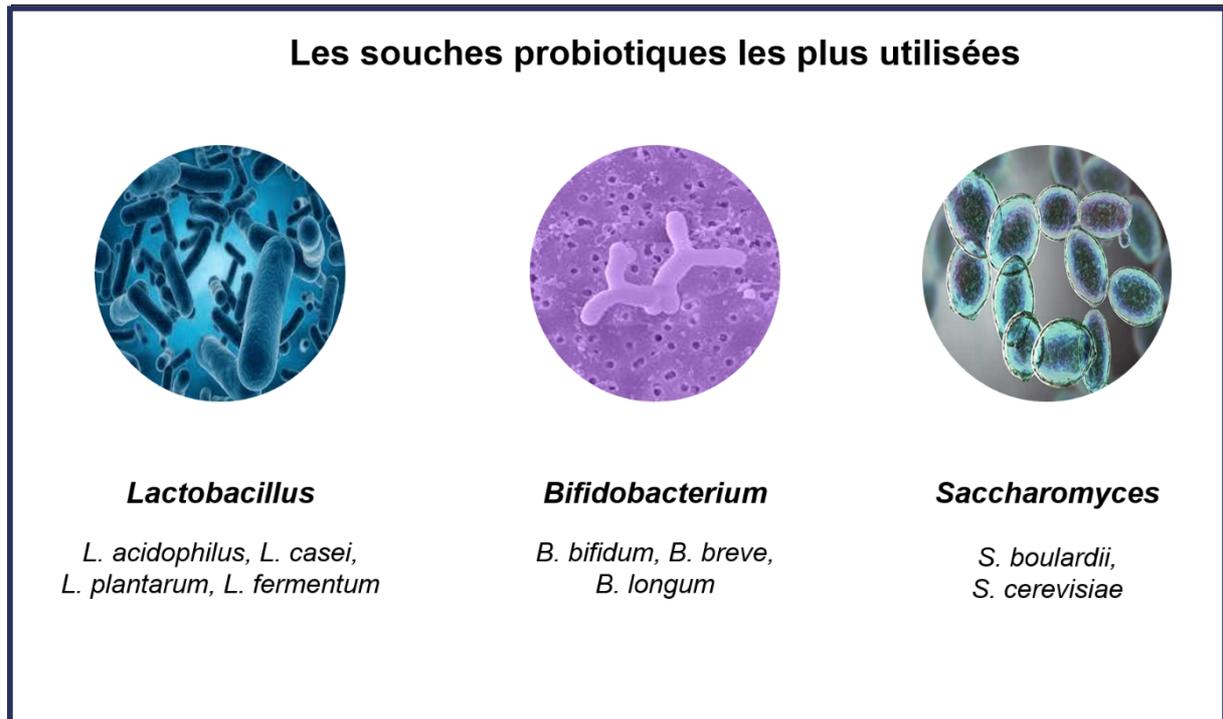


Figure 1.2 Les souches probiotiques les plus utilisées adaptée de (Staniszewski & Kordowska-Wiater, 2021; Teame et al., 2020).

I.2.3. Critères de sélection des souches probiotiques

La sélection des probiotiques repose sur des critères de sécurité, des critères technologiques et des critères fonctionnels. Les probiotiques sélectionnés doivent être sûrs, technologiquement réalisables et capables d'exercer des effets bénéfiques pour la santé (**Fig.1.3**). Cette approche de sélection rigoureuse garantit la qualité et l'efficacité des produits probiotiques sur le marché, offrant ainsi des options sûres et bénéfiques pour les consommateurs (Zendeboodi et al., 2020).

La sécurité est une préoccupation majeure lors de la sélection des probiotiques. Les critères de sécurité incluent l'innocuité pour l'homme, l'identification taxonomique précise de la souche probiotique et la résistance aux antibiotiques. Les probiotiques sélectionnés doivent être dépourvus de facteurs de virulence et ne pas causer de maladies chez l'hôte. De plus, l'identification taxonomique précise garantit la stabilité et la traçabilité des souches probiotiques. Enfin, la résistance aux antibiotiques est évaluée pour éviter toute interaction indésirable avec les traitements antibiotiques (Maldonado Galdeano et al., 2019; Mazziotta et al., 2023).

Les critères technologiques se concentrent sur la faisabilité de la production à grande échelle et la survie des probiotiques tout au long du processus de fabrication. Les probiotiques sélectionnés doivent pouvoir être produits de manière efficace, économique et reproductible à grande échelle. De plus, ils doivent survivre aux conditions environnementales et aux étapes de transformation lors du processus de fabrication (Teame et al., 2020).

Les critères fonctionnels évaluent la capacité des probiotiques à exercer des effets bénéfiques pour la santé. Les probiotiques doivent survivre au passage à travers le tractus gastro-intestinal pour atteindre l'intestin où ils exercent leur activité. De plus, ils doivent être capables de s'adhérer et de coloniser la muqueuse intestinale pour fournir leurs bienfaits. L'aptitude des probiotiques à exercer des effets bénéfiques, tels que la modulation du microbiote intestinal et le renforcement du système immunitaire, est également évaluée (Mazziotta et al., 2023; Sanders et al., 2019).

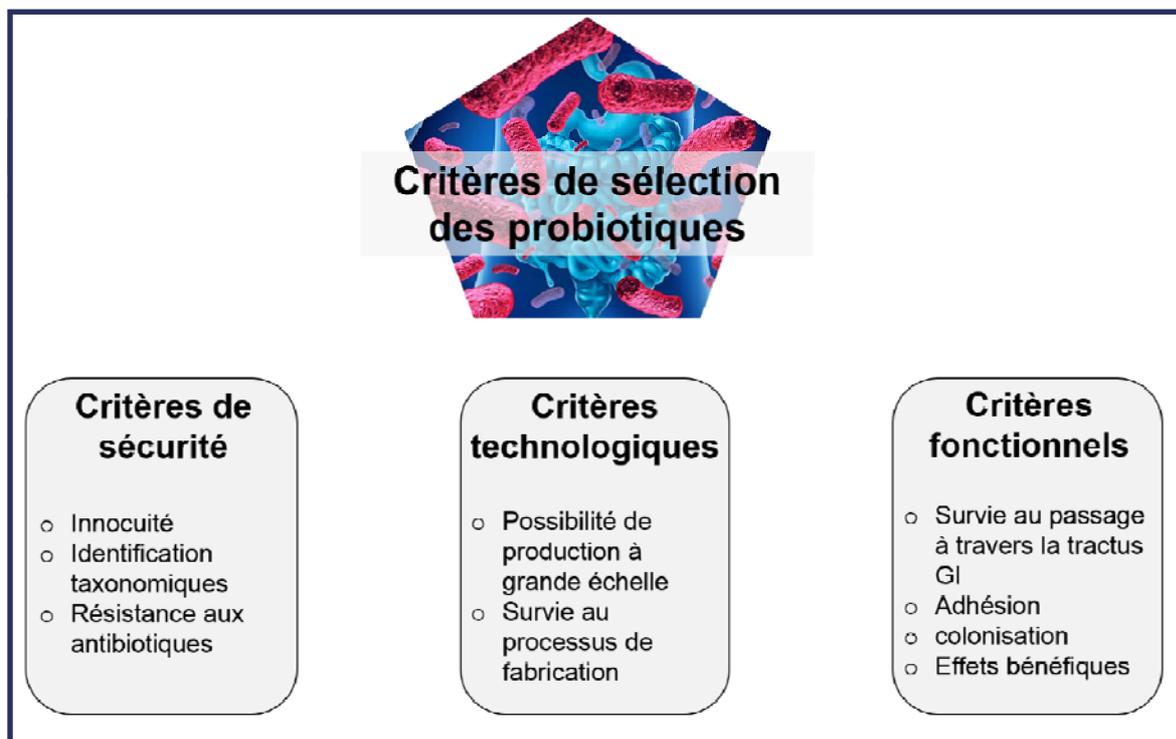


Figure 1.3 Les critères de sélection des souches probiotiques (Sharifi-Rad et al., 2020; Zendeboodi et al., 2020).

I.2.4. Mécanismes d'action des souches probiotiques

Le mécanisme d'action des probiotiques est complexe et multifactoriel, impliquant leur effet sur l'épithélium intestinal, le microbiote intestinal et le système immunitaire (**Fig.1.4**).

- **Effet sur l'épithélium intestinal**

Les probiotiques exercent une action bénéfique sur l'épithélium intestinal en participant à la dégradation des substances indigestibles. De plus, ils favorisent la production d'acides gras à chaîne courte (AGCC) qui nourrissent les cellules de l'épithélium. Les probiotiques renforcent également la fonction barrière de l'épithélium en induisant la sécrétion de mucines, en renforçant le cytosquelette et les jonctions serrées, et en stimulant la réparation de l'épithélium intestinal (Mazziotta et al., 2023; Sanders et al., 2019).

- **Effet sur le microbiote intestinal**

Les probiotiques interagissent avec le microbiote intestinal de plusieurs manières. Ils entrent en compétition pour les nutriments, limitant ainsi la croissance des micro-organismes indésirables. De plus, les probiotiques compétitionnent pour l'adhésion aux cellules épithéliales, empêchant ainsi l'adhésion de certaines bactéries pathogènes. Par ailleurs, les probiotiques produisent des substances antimicrobiennes qui, indirectement, renforcent les défenses de l'hôte contre les agents pathogènes (Mazziotta et al., 2023; Sanders et al., 2019).

- **Effet sur le système immunitaire**

Les probiotiques exercent un effet immuno-modulateur en régulant la production de cytokines. Ils stimulent la production de cytokines anti-inflammatoires et réduisent la production de cytokines pro-inflammatoires, contribuant ainsi à maintenir l'équilibre immunitaire. De plus, les probiotiques favorisent une réponse immunitaire adaptée en modulant l'activation des cellules immunitaires (Mazziotta et al., 2023).

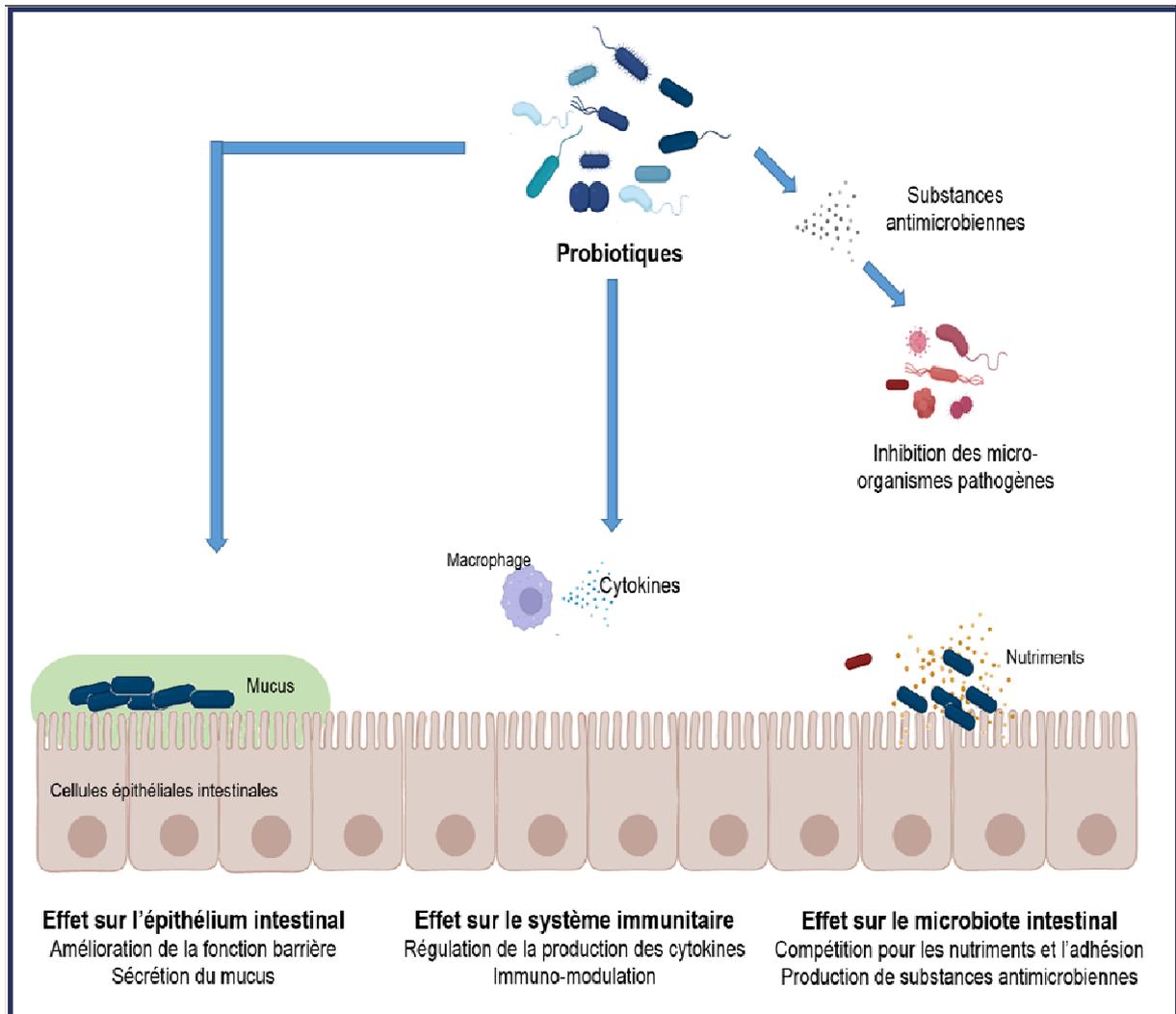


Figure 1.4 Mécanismes d'action des souches probiotiques (Mazziotta et al., 2023; Sanders et al., 2019).

I.3. Les Fromages

I.3.1. Généralités

Les fromages sont des aliments obtenus par la fermentation du lait, en utilisant des cultures microbiennes spécifiques (*Lactococcus*, *Streptococcus* et *Lactobacillus*) (Homayouni et al., 2020). Ils sont appréciés pour leur goût riche et crémeux, leur texture onctueuse et leur profil nutritionnel. Ces produits sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire pour la préparation de divers plats et desserts. Ils apportent une saveur unique et une texture agréable aux sauces, aux tartes et aux gâteaux. Leur popularité découle de leur polyvalence culinaire et de leur contribution à une alimentation saine et équilibrée. Les produits fermentés à base de fromage frais sont une source de protéines de haute qualité, de calcium, de vitamines et de

probiotiques bénéfiques pour la santé digestive. Ils jouent un rôle important dans l'industrie alimentaire en offrant une variété d'options culinaires saines et savoureuses. Leur consommation régulière peut contribuer à la diversification du régime alimentaire et à l'apport en nutriments essentiels (Homayouni et al., 2020; Walther, Schmid, Sieber, Wehrmüller, & Technology, 2008).

I.3.2. Composition et propriétés physico-chimique du fromage

Le fromage est un produit laitier qui se distingue par sa composition caractéristique et ses propriétés physico-chimiques uniques. Sa composition est généralement riche en protéines, en lipides, en glucides et en minéraux. Les protéines constituent l'un des principaux composants du fromage frais. Elles sont présentes sous forme de caséine et de protéines solubles. Elles jouent un rôle crucial dans la formation de la structure du fromage frais, ainsi que dans sa texture et sa fermeté (Kapoor, Metzger, & Safety, 2008; Marshall, 1993).

Les lipides présents dans le fromage frais apportent une texture onctueuse et une saveur caractéristique. Ils contribuent également à la valeur énergétique du produit. Les glucides se présentent généralement sous forme de lactose, qui est le sucre naturel du lait. La teneur en lactose peut varier en fonction du processus de fabrication. Les minéraux tels que le calcium, le phosphore et le sodium sont également présents dans le fromage frais. Le calcium est essentiel pour la santé des os et des dents, tandis que le phosphore joue un rôle dans le métabolisme énergétique. Le sodium, quant à lui, est important pour l'équilibre hydrique et la fonction cellulaire (Kapoor et al., 2008; Marshall, 1993).

Les propriétés physico-chimiques du fromage frais comprennent la texture, la viscosité et le pH. La viscosité est influencée par la teneur en matière grasse et en eau. Quant au pH, il joue un rôle crucial dans la stabilité microbiologique et la conservation du fromage (Kapoor et al., 2008; Marshall, 1993).

I.3.3. Microbiologie des fromages

La microbiologie du fromage est un aspect essentiel de sa production, et elle repose sur l'utilisation de différentes souches microbiennes, en particulier les bactéries lactiques. Ces bactéries jouent un rôle clé dans le processus de fermentation du fromage frais, contribuant à sa maturation, à la formation d'arômes caractéristiques et à la sécurité alimentaire (Beresford, Fitzsimons, Brennan, & Cogan, 2001; Possas, Bonilla-Luque, & Valero, 2021).

Les bactéries lactiques, telles que *Lactococcus*, *Streptococcus* et *Lactobacillus*, sont couramment utilisées dans la fermentation du fromage frais en raison de leur capacité à convertir le lactose en acide lactique. Cette acidification contribue à abaisser le pH du fromage, ce qui favorise la coagulation du lait et la formation de la texture caractéristique. Outre leur rôle dans la maturation et la texture, les bactéries lactiques participent également à la formation des arômes du fromage frais. Par le biais de processus biochimiques complexes, ces bactéries produisent divers composés volatils responsables des arômes spécifiques du fromage (Beresford et al., 2001; Possas et al., 2021).

I.3.4. Aspects nutritionnels du fromage

Le fromage frais présente des aspects nutritionnels intéressants, notamment en termes de protéines, de calcium et de vitamines, qui contribuent à ses bénéfices pour la santé. Les protéines présentes dans le fromage frais sont essentielles à la croissance et à la réparation des tissus, ainsi qu'au maintien de la masse musculaire. De plus, le fromage frais est une source importante de calcium, qui est essentiel à la santé des os et des dents. En ce qui concerne les vitamines, le fromage frais contient des vitamines B, telles que la vitamine B12, qui joue un rôle crucial dans la production de globules rouges et le fonctionnement du système nerveux. Il peut également contenir des quantités significatives de vitamine A, qui est bénéfique pour la vision et la santé de la peau (Ash & Wilbey, 2010).

La consommation régulière de fromage frais peut également offrir des bénéfices pour la santé. Les probiotiques naturellement présents dans le fromage frais favorisent une digestion saine en améliorant l'équilibre de la flore intestinale. De plus, certaines études suggèrent que la consommation de fromage frais peut renforcer le système immunitaire grâce à la présence de peptides bioactifs et d'autres composés bénéfiques. Cependant, il convient de noter que la consommation de fromage frais doit être modérée, en raison de sa teneur en matières grasses et en sodium. Il est donc recommandé de choisir des options faibles en gras et de respecter les recommandations nutritionnelles pour une alimentation équilibrée (Ash & Wilbey, 2010; Walther et al., 2008).

I.4. Plantes médicinales

I.4.1. Généralités

Les plantes médicinales ont une longue histoire d'utilisation dans le domaine de la médecine traditionnelle. Depuis des milliers d'années, différentes cultures à travers le monde ont

exploité les propriétés curatives des plantes pour traiter diverses affections et promouvoir la santé. Dans l'Antiquité, les civilisations égyptienne, chinoise, indienne et grecque ont développé des systèmes médicaux basés sur l'utilisation des plantes médicinales. Les herboristes et les guérisseurs utilisaient des connaissances empiriques pour identifier les plantes appropriées et les préparer sous forme de décoctions, de poudres ou de cataplasmes (Shikov, Narkevich, Flisyuk, Luzhanin, & Pozharitskaya, 2021; Süntar, 2020).

Les plantes médicinales possèdent une multitude de bienfaits pour la santé. Elles renferment des composés actifs tels que des alcaloïdes, des flavonoïdes, des terpènes et des polyphénols, qui présentent des propriétés médicinales. Ces composés peuvent agir sur différents systèmes du corps humain, tels que le système immunitaire, le système cardiovasculaire, le système digestif et le système nerveux, pour favoriser la guérison et le maintien de la santé (Li et al., 2020; Salmerón-Manzano, Garrido-Cardenas, Manzano-Agugliaro, & health, 2020).

En plus de leurs propriétés thérapeutiques, les plantes médicinales revêtent également une importance économique significative. L'industrie des plantes médicinales englobe la production, la transformation et la commercialisation de ces plantes, contribuant ainsi à l'économie mondiale. De nombreuses entreprises pharmaceutiques et herboristes se sont spécialisées dans la fabrication de produits à base de plantes médicinales, tels que les compléments alimentaires, les onguents et les infusions (Süntar, 2020).

I.4.2. *Hibiscus sabdariffa*

L'*Hibiscus sabdariffa*, également connu sous le nom d'Oseille de Guinée, est une plante appartenant à la famille des *Malvaceae*. Cette plante est largement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales du monde en raison de ses utilisations médicinales et culinaires variées (Laskar, Mazumder, & Pharmacotherapy, 2020). Sur le plan médical, l'*Hibiscus sabdariffa* est apprécié pour ses propriétés bénéfiques pour la santé. Plusieurs études scientifiques ont démontré l'efficacité de l'*hibiscus sabdariffa* dans la diminution de la tension artérielle. Plusieurs enzymes et protéines peuvent contribuer au développement de l'hypertension artérielle, notamment, l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ECA) peut être suractive, entraînant une production excessive d'angiotensine II, une hormone qui provoque la constriction des vaisseaux sanguins et augmente la pression artérielle (Abdelmonem et al., 2022). Les déséquilibres au niveau des récepteurs de l'angiotensine II peuvent également contribuer à l'hypertension, en raison d'une sensibilité accrue de ces récepteurs qui induit une vasoconstriction excessive. Une activation excessive du système

Chapitre I : Synthèse bibliographique

nerveux sympathique peut conduire à une libération excessive de noradrénaline, un neurotransmetteur favorisant la constriction vasculaire et l'élévation de la pression artérielle. De plus, un dysfonctionnement du système rénine-angiotensine-aldostérone (SRAA) peut provoquer une surproduction d'angiotensine II et d'aldostérone, entraînant une rétention excessive d'eau et de sel, une augmentation du volume sanguin et une élévation de la pression artérielle (**Fig.1.5**) (Izquierdo-Vega et al., 2020; Salem et al., 2021).

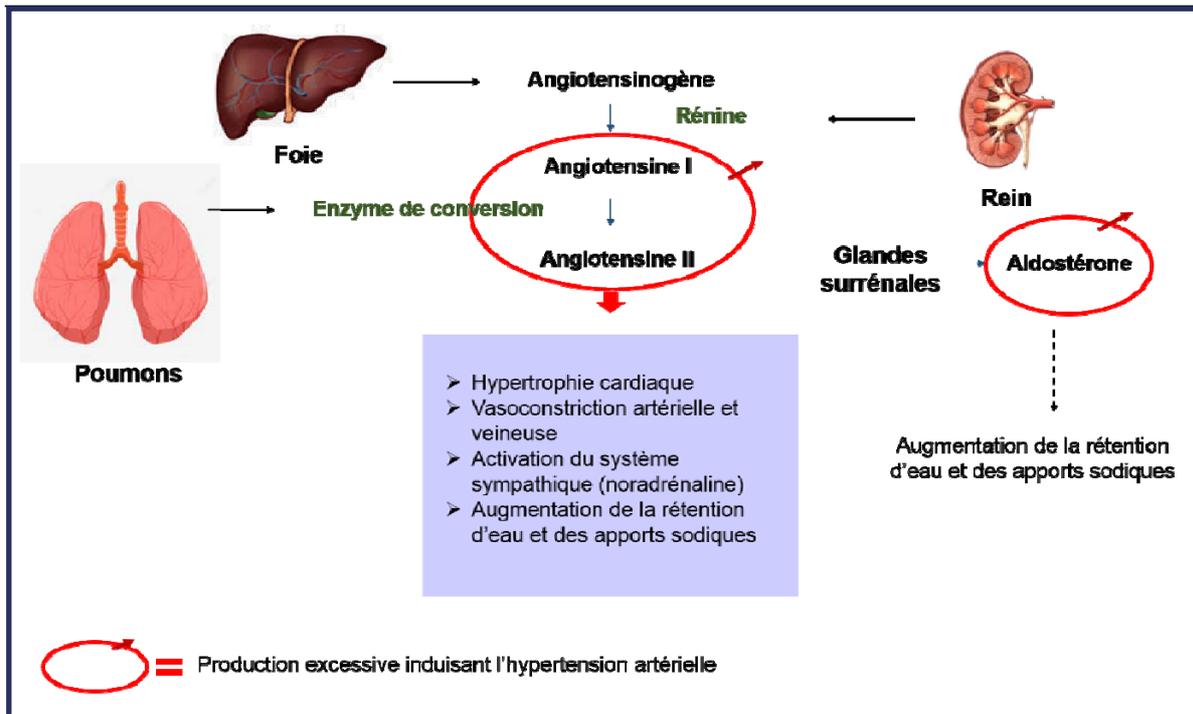


Figure 1.5 Schéma simplifié de la physiopathologie de l'hypertension artérielle (Abdelmonem et al., 2022; Izquierdo-Vega et al., 2020)

L'un des mécanismes clés par lesquels cette plante agit est son effet vasodilatateur. En d'autres termes, elle aide à détendre les vaisseaux sanguins, ce qui permet à la pression artérielle de diminuer. Des composés spécifiques présents dans l'hibiscus sabdariffa, tels que les flavonoïdes et les anthocyanes, ont été identifiés comme ayant des effets hypotenseurs. Ces substances agissent en inhibant l'enzyme de conversion de l'angiotensine, une enzyme impliquée dans la régulation de la pression artérielle. En bloquant cette enzyme, l'hibiscus sabdariffa permet une vasodilatation plus importante et une diminution de la résistance des vaisseaux sanguins (**Fig.1.6**) (Abdelmonem et al., 2022; Laskar et al., 2020; Salem et al., 2021). De plus, *Hibiscus sabdariffa* a également été associé à des effets diurétiques, ce qui signifie qu'il favorise l'élimination de l'excès de liquide du corps. Cela peut contribuer à une réduction de la charge sur le système cardiovasculaire et à une diminution de la pression artérielle.

L'*Hibiscus sabdariffa* présente un intérêt économique en tant que culture commerciale. En plus de son utilisation traditionnelle, elle est de plus en plus exploitée dans l'industrie alimentaire pour la fabrication de jus, de thés et de produits à base d'extraits d'*Hibiscus* (Abdelmonem et al., 2022; Izquierdo-Vega et al., 2020; Salem et al., 2021).

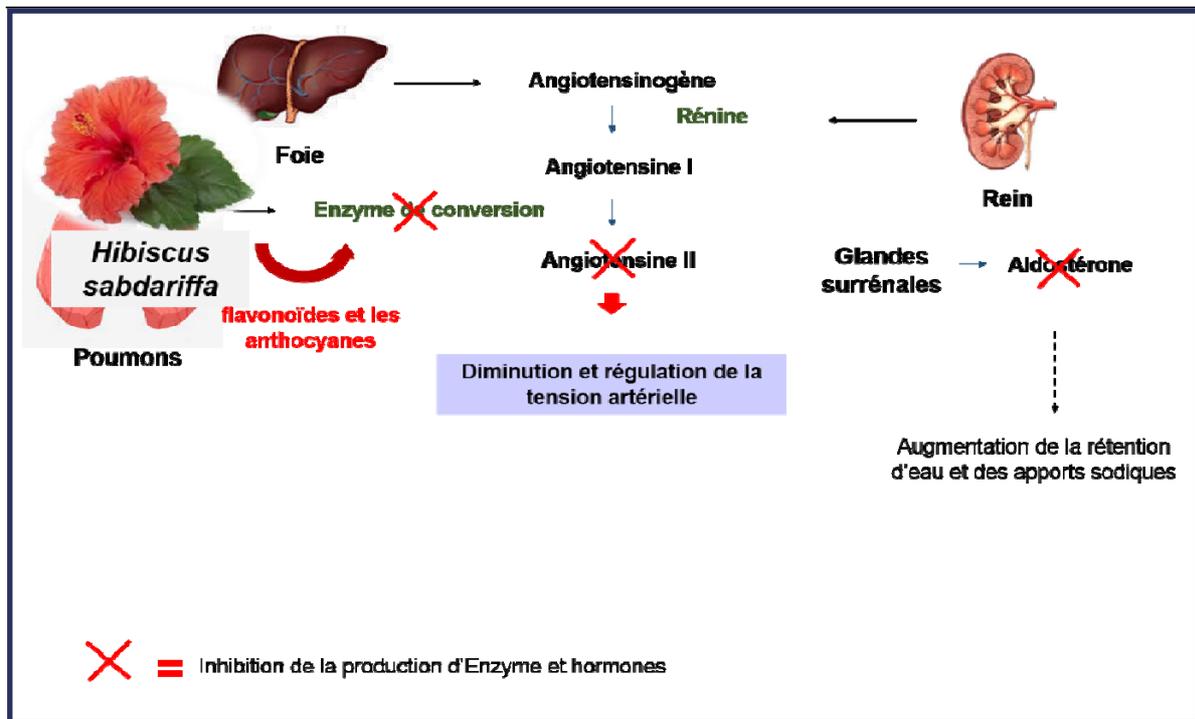


Figure 1.6 Effet vasodilatateur de la plante *Hibiscus sabdariffa* (Abdelmonem et al., 2022; Izquierdo-Vega et al., 2020; Salem et al., 2021)

1.4.3. *Ocimum basilicum*

Le basilic (*Ocimum basilicum*) est une plante aromatique appartenant à la famille des *Lamiacées* (Al-Snafi, 2021). Connue depuis l'Antiquité, est originaire des régions tropicales d'Asie et d'Afrique, où il était déjà utilisé il y a des millénaires. Il était vénéré dans l'Égypte ancienne et était considéré comme une plante sacrée en Inde, où il était utilisé dans des rituels religieux. Au fil du temps, sa popularité s'est répandue à travers le monde, et il est aujourd'hui cultivé dans de nombreuses régions, notamment en Europe et en Amérique. Le basilic possède de nombreuses propriétés bénéfiques pour la santé (Dhama et al., 2023). Il est riche en composés actifs tels que les flavonoïdes, les terpènes et les phénols, qui lui confèrent des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes. Les extraits de basilic ont montré des effets positifs sur la digestion, en favorisant la sécrétion des enzymes digestives et en soulageant les problèmes gastro-intestinaux. De plus, le basilic est connu pour ses effets apaisants et relaxants, contribuant ainsi à la réduction du stress et de l'anxiété. Parmi les

composés présents dans le basilic, l'eugénol, le linalol et le méthylchavicol sont particulièrement intéressants. Ces substances ont démontré des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes. De plus, elles peuvent contribuer à la prévention de certaines maladies, telles que les maladies cardiovasculaires, les troubles digestifs et les infections (Brandão et al., 2022; Dhama et al., 2023).

Le basilic joue un rôle économique significatif dans plusieurs industries. Il est largement utilisé comme herbe aromatique dans la cuisine, tant dans la préparation de plats salés que sucrés. De plus, le basilic est utilisé dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique pour ses propriétés thérapeutiques. Sa culture commerciale offre des opportunités d'emploi et contribue à l'économie locale (Brandão et al., 2022).

I.4.4. *Allium sativum*

L'ail (*Allium sativum*) est une plante bulbeuse appartenant à la famille des Amaryllidacées. Utilisé depuis des milliers d'années, il est originaire d'Asie centrale et a été utilisé par diverses civilisations anciennes telles que les Égyptiens, les Grecs et les Romains. Il était considéré comme une plante sacrée et était utilisé à des fins médicinales, culinaires et rituelles. Au fil du temps, l'ail s'est répandu dans le monde entier et est devenu un ingrédient incontournable dans de nombreuses cultures culinaires (Choudhary, Noor, Hussain, Mishra, & Tyagi, 2022; Rouf et al., 2020).

L'ail possède une composition chimique complexe, riche en composés actifs tels que l'allicine, un composé sulfuré, considéré comme l'un des principaux agents thérapeutiques de cette plante. Elle possède des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes, contribuant ainsi à renforcer le système immunitaire et à combattre les infections. Les flavonoïdes et les antioxydants présents dans l'ail jouent également un rôle important dans la prévention des maladies cardiovasculaires et des affections liées au vieillissement. Il est connu pour ses effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire, en réduisant le taux de cholestérol et la pression artérielle. De plus, il renforce le système immunitaire, favorise la digestion, et a des propriétés anticancéreuses potentielles (Choudhary et al., 2022; Sahidur, Islam, & Jahurul, 2023).

L'ail a une grande importance économique dans de nombreux pays. Il est cultivé à grande échelle pour répondre à la demande croissante, tant sur le marché intérieur que sur le marché international. L'industrie de l'ail comprend la production, la transformation et la commercialisation de cette plante. Il est utilisé non seulement dans l'industrie alimentaire, mais également dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique, en raison de ses propriétés

bénéfiques pour la santé (Chan, McLachlan, Luca, & Harnett, 2020; Rouf et al., 2020; Sahidur et al., 2023).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II. Matériel et méthodes

II.1. Objectif du travail

L'objectif de ce travail est de formuler un aliment fonctionnel à base de probiotiques et de plantes médicinales. L'intérêt est de combiner les effets nutritionnels et les propriétés thérapeutiques dans un seul aliment.

II.2. Matériels

II.2.1. Ferments lactiques probiotiques

Lors de la réalisation des différentes parties expérimentales, nous avons utilisé le matériel biologique suivant :

- *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*,
- *Streptococcus thermophilus*,
- *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*,
- *Lactobacillus casei*.

Ces souches proviennent de la souche-thèque de l'Ecole nationale Supérieure agronomique (ENSA). Alger.

II.2.2. Présure Microbienne

Une présure microbienne (WalcoRen) commercialisée, sous forme de tablettes produites par une fermentation contrôlée de *Rhizomucor miehei*, a été utilisée dans ce travail.

II.2.3. Lait pasteurisé

Lait reconstitué en sachet provenant de l'unité COLAITAL de birkhadem (BP 98 Lots Les Vergers).

II.2.4. Matière Végétale

La poudre d'oseille de Guinée, également connue sous le nom scientifique *Hibiscus sabdariffa*, est un produit naturel dérivé des calices de cette plante tropicale. Cette poudre est obtenue à partir du processus de séchage et de broyage des calices, qui sont les parties charnues et colorées des fleurs de l'oseille de Guinée. Cette poudre a été récupérée auprès d'un herboriste expérimenté.

II.2.5. Appareillage

L'appareillage utilisé est le suivant :

Thermomètre, Bain- marie, Réfrigérateur, Plaque chauffante, Appareil de kjeldahl, PH mètre, Cocote minute, casserole, Agitateur électrique, Autoclave, Bain Marie, Balance analytique, Etuves, Four de stérilisation, Micropipettes, Vortex électrique, Bec benzène.

II.2. Méthodes

II.2.1. Formulation du fromage fonctionnel

Nous avons réalisé une formulation d'un aliment fonctionnel (Fromage), à base de souche probiotiques et la poudre *Hibiscus sabdariffa*, *Ocimum basilicum*, *Allium sativum*.

Lors de la formulation, le protocole suivant a été appliqué :

- ✓ Dans une cocote minute nous avons versé du lait. Après l'avoir chauffé, en rajoute les souches bactérienne *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus casei* et le chlorure de calcium.
- ✓ En mélange le tous pendant 2min avec des mouvements de haut en bas.
- ✓ Attendre 50-55 min le temps de l'acidification.
- ✓ Ajouter la présure microbienne.
- ✓ Remettre sur le bain marie pour garder la température de fermentation (30°C).
- ✓ Mélanger doucement avec des mouvements de haut en bas.

- ✓ Bien couvrir et laisser fermenter pour obtenir le caillé.
- ✓ Découper le caillé en petits morceaux 2 à 3cm
- ✓ Mélanger doucement = travail en cuve pendant 2min.
- ✓ Séparation et égouttage dans les à faisselle pendant quelques heures.
- ✓ A la fin en à ajouter la poudre de *Hibiscus sabdariffa* et les autres herbes.

II.2.2. Formulation des Fromages

Ce travail a permis la formulation de 04 fromages à bases de probiotiques et de plantes (Fig. 2.2). Sur la base des résultats de dégustations, 2 uniquement ont été retenus.

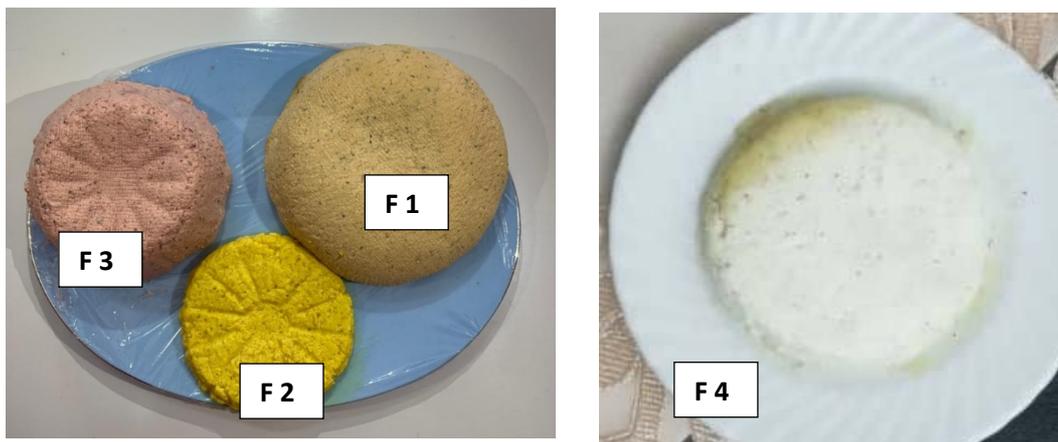


Figure 2.2 Photos des fromages formulés

Les fromages ont été formulés dans le but d'avoir un effet d'aliment fonctionnel destiné aux personnes hypertendues. Les personnes hypertendues ne sont pas nécessairement interdites de manger du fromage, mais il convient de prendre en compte certains aspects liés à la teneur en sel et en matières grasses du fromage, ainsi qu'à la sensibilité individuelle de chaque personne à ces facteurs. Certains fromages, en particulier les fromages fermentés et les fromages à pâte dure, peuvent avoir une teneur élevée en sel (Lollo et al., 2015). La consommation excessive de sel est associée à une augmentation de la pression artérielle chez certaines personnes hypertendues (Walther et al., 2008). Par conséquent, il est recommandé de choisir des fromages à teneur réduite en sel ou de limiter la quantité de fromage consommée. Dans ce travail, nous n'avons pas additionné du sel lors de la formulation du fromage. Une alimentation riche en matières grasses saturées peut augmenter le risque de développer une

hypertension artérielle et d'autres problèmes de santé cardiovasculaire. Dans ce travail, nous avons utilisé le lait partiellement écrémé comme matière première.

Les ferments lactiques jouent un rôle essentiel dans le processus de fabrication du fromage. Ils sont responsables de la fermentation lactique, qui transforme le lactose, le principal sucre du lait, en acide lactique (Wilkinson & LaPointe, 2020). Cette fermentation lactique contribue à plusieurs aspects clés du développement des caractéristiques sensorielles, de la texture et de la conservation du fromage. Les ferments lactiques contribuent aussi à la production de composés aromatiques et de saveurs caractéristiques du fromage. Ils jouent aussi un rôle dans la texture et à la consistance du fromage. L'acidification produite par les bactéries lactiques inhibe la croissance de micro-organismes indésirables, tels que les bactéries pathogènes, les levures et les moisissures, contribuant ainsi à la stabilité et à la sécurité microbiologique du fromage (Coelho, Malcata, & Silva, 2022).

Dans ce travail nous avons utilisé une mixture de ferments mésophiles (*Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* et *Lactobacillus casei*). Ces bactéries lactiques sont couramment utilisées dans la fabrication des fromages. En plus de leur rôle de ferment, elles sont aussi considérées comme probiotiques (Coelho et al., 2022).

Les probiotiques sont des micro-organismes vivants bénéfiques pour la santé de l'hôte (Homayouni et al., 2020). Elles ont fait l'objet de nombreuses études pour évaluer leur impact sur divers aspects de la santé, y compris la tension artérielle. Les études ont montré une légère réduction de la pression artérielle systolique et diastolique chez les participants qui ont consommé des probiotiques par rapport aux groupes témoins (Chi et al., 2020). Les mécanismes par lesquels les probiotiques pourraient influencer la tension artérielle sont encore en cours d'investigation. Certaines études suggèrent que les probiotiques pourraient avoir un impact sur la santé cardiovasculaire en réduisant l'inflammation, en améliorant le métabolisme des lipides, en régulant la glycémie et en favorisant la production de composés bénéfiques tels que les peptides antihypertensifs (Chi et al., 2020).

Plusieurs études scientifiques ont examiné les effets de l'*Hibiscus sabdariffa* sur la tension artérielle, et les résultats suggèrent que cette plante peut avoir des bienfaits significatifs dans la régulation de la pression artérielle (Abdelmonem et al., 2022). Des recherches scientifiques ont exploré les bienfaits potentiels de l'*Ocimum basilicum* (basilic) sur la tension artérielle. Les résultats ont révélé une réduction significative de la pression artérielle systolique et

diastolique chez les patients traités à l'*Ocimum basilicum* par rapport au groupe placebo (Dhama et al., 2023). Les recherches scientifiques ont largement étudié les bienfaits potentiels de l'*Allium sativum*, communément appelé ail, sur la tension artérielle (Chan et al., 2020). Les résultats suggèrent que l'ail peut exercer des effets bénéfiques sur la régulation de la pression artérielle. Des mécanismes potentiels ont été proposés pour expliquer les effets bénéfiques de l'ail sur la tension artérielle. L'ail est riche en composés soufrés, notamment l'allicine, qui sont considérés comme ayant des propriétés vasodilatatrices et antihypertensives (Chan et al., 2020). Ces composés peuvent aider à réduire la résistance des vaisseaux sanguins, favoriser la relaxation des muscles lisses et améliorer la fonction endothéliale, contribuant ainsi à la régulation de la pression artérielle. Il est important de noter que la consommation d'ail peut interagir avec certains médicaments anticoagulants et antihypertenseurs. Il est donc recommandé de consulter un professionnel de la santé avant de modifier tout traitement existant ou d'ajouter de l'ail à son régime alimentaire, en particulier pour les personnes prenant des médicaments (Chan et al., 2020).

II.2.3. Mesure du Potentiel hydrogène (pH)

La mesure est réalisée à l'aide d'un pH mètre de type Hanna HI2020-02 EDGE, elle consiste à la mesure de la différence de potentiel entre une électrode de mesure et une électrode de référence réunies en un système d'électrodes combiné. Le protocole était le suivant :

- ✓ Calibration du pH :
 1. Rincer l'électrode avec de l'eau distillée pour éliminer toute contamination.
 2. Tremper l'électrode dans la solution tampon de pH 7.
 3. Ajuster le pH-mètre en utilisant les commandes appropriées jusqu'à ce qu'il indique une valeur de pH de 7.
 4. Répéter le processus en utilisant la solution tampon de pH 4 pour vérifier la précision de l'appareil.

- ✓ Préparation de l'échantillon de fromage :
 1. Prélever une petite quantité de fromage représentative de l'échantillon à analyser à l'aide de la spatule en acier inoxydable.
 2. Placer l'échantillon dans le récipient en verre propre.

✓ Mesure du pH :

1. Plonger l'électrode de pH dans l'échantillon de fromage.
2. Attendre que la valeur de pH se stabilise.
3. Enregistrer la valeur de pH affichée sur le pH-mètre (Aydogdu, O'Mahony, & McCarthy, 2023).

II.2.4. Dosage des protéines (Méthode Kjeldahl)

La mesure de la teneur en azote des fromages formulés, a été réalisée selon le protocole de la méthode de Méthode Kjeldahl (ISO8968-1 FIL20-1 : V2014).

Le principe consiste à une minéralisation d'une prise d'essai avec un mélange d'acide sulfurique concentré et de sulfate de potassium, en utilisant du sulfate de cuivre (II) comme catalyseur pour convertir ainsi l'azote organique présent en sulfate d'ammonium. La fonction du sulfate de potassium est d'élever le point d'ébullition de l'acide sulfurique et de permettre d'obtenir un mélange oxydant plus fort pour la minéralisation. Addition d'hydroxyde de sodium excédentaire au minéralisat refroidi pour libérer de l'ammoniac. Distillation à la vapeur de l'ammoniac libéré dans un excédent de solution d'acide borique, puis titration en utilisant une solution volumétrique standard d'acide chlorhydrique. Calcul de la teneur en azote à partir de la quantité d'ammoniac produite (ISO8968-1, 2014).

La Fig. 2.1., montre le protocole la méthode.

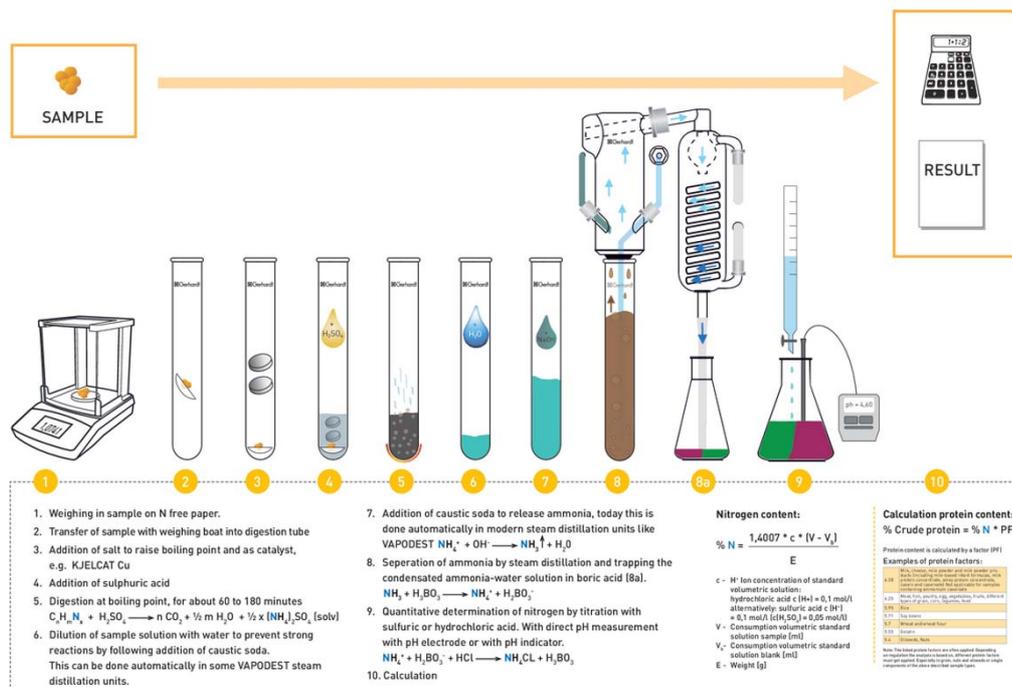


Figure 2.1 Schéma simplifié du protocole de dosage des protéines dans les fromages.

La teneur en azote a été calculée selon la formule (1) suivante (ISO8968-1, 2014) :

$$W_n = \frac{1.4007 \times (V_s - V_b) \times M_t}{m} \quad (1)$$

Où

- W_n est la teneur en azote de l'échantillon pour essai, exprimée sous forme de pourcentage (M/M)
- V_s est le volume, en millilitres, de la solution volumétrique standard d'acide chlorhydrique utilisé dans la détermination, exprimée au moins à 0.05 ml près
- V_b est le volume, en millilitres, de la solution volumétrique standard d'acide chlorhydrique utilisé dans l'essai à blanc, exprimée au moins à 0.05 ml près
- M_t est la molarité exacte de la solution volumétrique standard d'acide chlorhydrique exprimée à quatre décimales près. Si l'acide chlorhydrique est remplacé par l'acide sulfurique, M_t est la molarité exacte de l'acide sulfurique multipliée par un facteur de 2, exprimée avec quatre décimales
- m est la valeur numérique de la masse de la prise d'essai, en grammes, exprimée à 0.1 mg près.

La teneur en protéines brutes W_p a été calculée selon la formule (2) :

$$W_p = W_n \times 6.38 \quad (2)$$

Où

W_p est la teneur en protéines brutes, exprimée sous forme de pourcentage (M/M)

W_n est la teneur en azote de l'échantillon pour essai, exprimée sous forme de pourcentage (M/M), à quatre décimales près

6.38 est le coefficient multiplicateur généralement admis pour exprimer la teneur en azote en tant que teneur en protéines brutes laitières (ISO8968-1, 2014).

II.2.5. Analyses sensorielles

Les analyses sensorielles jouent un rôle crucial dans l'évaluation et la qualité des fromages. En tant que produits alimentaires hautement appréciés pour leurs caractéristiques sensorielles distinctes, telles que l'arôme, la saveur, la texture et l'apparence, les fromages nécessitent une évaluation sensorielle précise pour garantir leur qualité et leur acceptabilité.

Des séances de dégustation des produits formulés ont été organisées au niveau de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA). La Texture, l'odeur, le goût et la couleur ont été évalué dans une échelle de 1 à 10 par 25 dégustateurs.

Chapitre III : Résultats et discussion

III. Résultats et discussion

III.2.1. Analyses sensorielles

L'analyse sensorielle a été basée sur les résultats de dégustations de 25 dégustateurs (**Fig. 2.1**). Les résultats obtenus montrent que les fromages F3 et F4 étaient les mieux appréciés. Les fromages F1 et F2 contiennent du Curcumine, ce qui a influencé sur les qualités organoleptiques du produit.

La texture, l'odeur, le goût et la couleur sont des caractéristiques essentielles dans l'évaluation et l'appréciation d'un fromage. Chacune de ces composantes joue un rôle dans la perception sensorielle et la qualité globale du fromage. Les composés volatils et aromatiques produits par les micro-organismes, les enzymes et les processus de fermentation contribuent à l'arôme caractéristique de chaque type de fromage (Marshall, 1993; Possas et al., 2021).

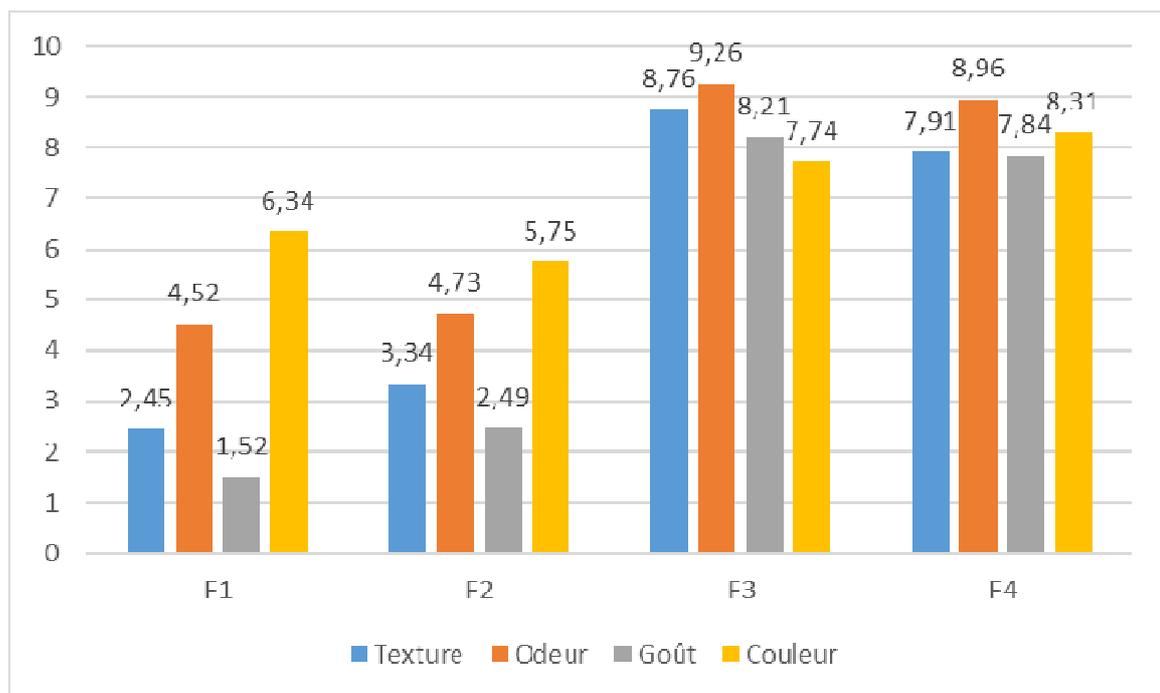


Figure 2.1. Résultats de l'analyse sensorielle des 04 fromages formulés.

III.2.2. Mesure du Potentiel hydrogène (pH)

Les résultats de la mesure du pH, Tableau 3.1, montre un pH acide pour les deux fromages formulés (F1 et F2).

Tableau 3.1. Résultats de la mesure du pH

Analyse	Résultats	
Mesurer du pH	F3	4,84 ± 0,09
	F4	4,91 ± 0,05

Des pH de $4,84 \pm 0,09$ et $4,91 \pm 0,05$ dans un fromage indiquent une acidité relativement élevée. Les ferments lactiques, en particulier les bactéries lactiques, produisent de l'acide lactique qui abaisse le pH du lait. Cette baisse du pH est essentielle pour la coagulation du lait, en favorisant l'agrégation des protéines du lait, principalement les caséines, pour former un gel solide. Le pH d'un fromage peut varier en fonction de différents facteurs, tels que le type de fromage, son stade de maturation et les procédés de fabrication spécifiques. Certains fromages à pâte dure, comme le cheddar, peuvent avoir un pH légèrement supérieur à celui des fromages à pâte molle. Le pH d'un fromage est important pour son développement et son goût. Il influence la texture, la saveur et la stabilité microbiologique du fromage (Aydogdu et al., 2023; Kapoor et al., 2008)

III.2.3. Dosage des protéines

Les résultats du dosage des protéines pour les deux fromages, F3 et F4, sont montrés dans le **Tableau 3.2.**

Tableau 3.2. Résultats du dosage des protéines

Analyse	Résultats	
Mesurer des protéines	F3	11,52 ± 0,81
	F4	11,90 ± 0,41

La concentration des protéines dans un fromage est d'une grande importance car elle influence plusieurs aspects clés du produit final, notamment la texture, la saveur, la valeur nutritionnelle et la stabilité du fromage. Un résultat de teneur en protéines de $11,52 \pm 0,81$ et $11,90 \pm 0,411$ dans le fromage, indique une concentration relativement élevée de protéines. La teneur en protéines est un paramètre important pour évaluer la qualité nutritionnelle et fonctionnelle d'un aliment, notamment en termes de valeur protéique et de contribution aux besoins en protéines dans l'alimentation. La teneur en protéines est influencée par plusieurs facteurs, notamment le type de fromage, les procédés de fabrication, la sélection des matières premières et la présence de ferments lactiques. Certains fromages à pâte dure ou à pâte pressée peuvent avoir des teneurs en protéines plus élevées que les fromages à pâte molle (Elgar, Evers, Holroyd, Johnson, & Rowan, 2016; Marshall, 1993; Possas et al., 2021).

Conclusion

Conclusion

Ce travail s'est concentré sur la formulation d'un aliment fonctionnel à base de probiotiques et de plantes. L'objectif principal était de développer des formulations de fromages fonctionnels qui répondaient à des critères de qualité rigoureux, tout en intégrant les bienfaits des probiotiques et des plantes pour la santé.

Quatre formulations différentes ont été développées en utilisant des souches bactériennes mésophiles de *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* et *Lactobacillus casei*, associées aux plantes de basilic (*Ocimum basilicum*), d'*Hibiscus sabdariffa* et d'ail (*Allium sativum*). Ces choix spécifiques ont été basés sur leurs propriétés bénéfiques potentielles pour la santé (effet hypotenseur) et leur pertinence dans le contexte de l'alimentation fonctionnelle.

Les résultats ont montré que les deux formulations, F3 et F4, respectaient les critères de qualité en termes de pH et de teneur en protéines, ce qui est encourageant pour leur acceptabilité et leur stabilité. De plus, ils ont été très appréciés lors des analyses sensorielles en termes de goût, de texture, de couleur et d'odeur, ce qui indique un bon potentiel de satisfaction des consommateurs.

En perspective, il est prévu de réaliser des essais cliniques sur des personnes hypertendues afin d'évaluer l'impact de la consommation de ces produits fonctionnels sur leur tension artérielle. Nous avons l'intention est de déposer un brevet d'invention pour protéger nos nouvelles formulations et de travailler sur sa commercialisation. Cela permettra de rendre ces produits accessibles à un plus large public et de contribuer ainsi à l'amélioration de leur santé.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdelmonem, M., Ebada, M. A., Diab, S., Ahmed, M. M., Zaazouee, M. S., Essa, T. M., . . .
Ebada, M. J. J. o. C. P. (2022). Efficacy of Hibiscus sabdariffa on reducing blood pressure in patients with mild-to-moderate hypertension: a systematic review and meta-analysis of published randomized controlled trials. *79(1)*, e64-e74.
- Al-Snafi, A. J. I. J. o. P. R. (2021). Chemical constituents and pharmacological effects of *Ocimum basilicum*-A review. *13(2)*, 2997-3013.
- Ash, A., & Wilbey, A. J. I. J. o. D. T. (2010). The nutritional significance of cheese in the UK diet. *63(3)*, 305-319.
- Aydogdu, T., O'Mahony, J. A., & McCarthy, N. A. J. D. (2023). pH, the Fundamentals for Milk and Dairy Processing: A Review. *4(3)*, 395-409.
- Beresford, T. P., Fitzsimons, N. A., Brennan, N. L., & Cogan, T. M. J. I. d. j. (2001). Recent advances in cheese microbiology. *11(4-7)*, 259-274.
- Birch, C. S., Bonwick, G. A. J. I. J. o. F. S., & Technology. (2019). Ensuring the future of functional foods. *54(5)*, 1467-1485.
- Brandão, L. B., Santos, L. L., Martins, R. L., Rodrigues, A. B. L., da Costa, A. L. P., Faustino, C. G., & de Almeida, S. J. P. R. (2022). The potential effects of species *Ocimum basilicum* L. on health: A review of the chemical and biological studies. *16*, 23.
- Chan, W.-J. J., McLachlan, A. J., Luca, E. J., & Harnett, J. E. J. J. o. H. M. (2020). Garlic (*Allium sativum* L.) in the management of hypertension and dyslipidemia—A systematic review. *19*, 100292.
- Chi, C., Li, C., Wu, D., Buys, N., Wang, W., Fan, H., & Sun, J. J. C. h. r. (2020). Effects of probiotics on patients with hypertension: a systematic review and meta-analysis. *22*, 1-8.
- Choudhary, S., Noor, M. U., Hussain, M. S., Mishra, M., & Tyagi, S. J. B. S. (2022). Pharmacological properties and phytoconstituents of garlic (*Allium sativum* L.): A review. *2(4)*, 338-346.
- Coelho, M. C., Malcata, F. X., & Silva, C. C. J. F. (2022). Lactic acid bacteria in raw-milk cheeses: From starter cultures to probiotic functions. *11(15)*, 2276.

- Dhama, K., Sharun, K., Gugjoo, M. B., Tiwari, R., Alagawany, M., Iqbal Yattoo, M., . . . Michalak, I. J. F. R. I. (2023). A comprehensive review on chemical profile and pharmacological activities of *Ocimum basilicum*. *39*(1), 119-147.
- Díaz, L. D., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. J. J. o. F. F. (2020). An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling. *68*, 103896.
- Elgar, D., Evers, J. M., Holroyd, S. E., Johnson, R., & Rowan, A. J. J. o. A. I. (2016). The measurement of protein in powdered milk products and infant formulas: A review and recent developments. *99*(1), 26-29.
- Granato, D., Barba, F. J., Bursac Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., Putnik, P. J. A. r. o. f. s., & technology. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *11*, 93-118.
- Homayouni, A., Ansari, F., Azizi, A., Pourjafar, H., Madadi, M. J. C. N., & Science, F. (2020). Cheese as a potential food carrier to deliver probiotic microorganisms into the human gut: A review. *16*(1), 15-28.
- ISO8968-1. (2014). ISO 8968-1:2014(fr) - Lait et produits laitiers — Détermination de la teneur en azote — Partie 1: Méthode Kjeldahl et calcul de la teneur en protéines brutes. In: Organisation internationale de normalisation.
- Iwatani, S., Yamamoto, N. J. F. S., & Wellness, H. (2019). Functional food products in Japan: A review. *8*(2), 96-101.
- Izquierdo-Vega, J. A., Arteaga-Badillo, D. A., Sánchez-Gutiérrez, M., Morales-González, J. A., Vargas-Mendoza, N., Gómez-Aldapa, C. A., . . . Madrigal-Santillán, E. J. B. (2020). Organic acids from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)—A brief review of its pharmacological effects. *8*(5), 100.
- Kapoor, R., Metzger, L. E. J. C. R. i. F. S., & Safety, F. (2008). Process cheese: Scientific and technological aspects—A review. *7*(2), 194-214.
- Laskar, Y. B., Mazumder, P. B. J. B., & Pharmacotherapy. (2020). Insight into the molecular evidence supporting the remarkable chemotherapeutic potential of *Hibiscus sabdariffa* L. *127*, 110153.
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M. R., Wu, H. J. P. P., & Biochemistry. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *148*, 80-89.

- Lollo, P. C., Morato, P. N., Moura, C. S., Almada, C. N., Felicio, T. L., Esmerino, E. A., . . . Raices, R. R. J. F. R. I. (2015). Hypertension parameters are attenuated by the continuous consumption of probiotic Minas cheese. *76*, 611-617.
- Maldonado Galdeano, C., Cazorla, S. I., Lemme Dumit, J. M., Vélez, E., Perdigón, G. J. A. o. N., & Metabolism. (2019). Beneficial effects of probiotic consumption on the immune system. *74*(2), 115-124.
- Marshall, R. J. J. A. p. (1993). Physicochemical properties accounting for cheese texture. *84*(1), 69-77.
- Mazziotta, C., Tognon, M., Martini, F., Torreggiani, E., & Rotondo, J. C. J. C. (2023). Probiotics mechanism of action on immune cells and beneficial effects on human health. *12*(1), 184.
- Pérez-Ferrer, C., Auchincloss, A. H., de Menezes, M. C., Kroker-Lobos, M. F., de Oliveira Cardoso, L., & Barrientos-Gutierrez, T. J. P. h. n. (2019). The food environment in Latin America: a systematic review with a focus on environments relevant to obesity and related chronic diseases. *22*(18), 3447-3464.
- Possas, A., Bonilla-Luque, O. M., & Valero, A. J. F. (2021). From cheese-making to consumption: Exploring the microbial safety of cheeses through predictive microbiology models. *10*(2), 355.
- Rouf, R., Uddin, S. J., Sarker, D. K., Islam, M. T., Ali, E. S., Shilpi, J. A., . . . technology. (2020). Antiviral potential of garlic (*Allium sativum*) and its organosulfur compounds: A systematic update of pre-clinical and clinical data. *104*, 219-234.
- Sahidur, M., Islam, I., & Jahurul, M. J. F. C. A. (2023). Garlic (*Allium sativum*) as a natural antidote or a protective agent against diseases and toxicities: A critical review. 100353.
- Salem, M. A., Zayed, A., Beshay, M. E., Abdel Mesih, M. M., Ben Khayal, R. F., George, F. A., & Ezzat, S. M. J. A. i. T. M. (2021). Hibiscus sabdariffa L.: phytoconstituents, nutritive, and pharmacological applications. 1-11.
- Salmerón-Manzano, E., Garrido-Cardenas, J. A., Manzano-Agugliaro, F. J. I. j. o. e. r., & health, p. (2020). Worldwide research trends on medicinal plants. *17*(10), 3376.
- Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Reid, G., Gibson, G. R., Rastall, R. A. J. N. r. G., & hepatology. (2019). Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic. *16*(10), 605-616.

- Sharifi-Rad, J., Rodrigues, C. F., Stojanović-Radić, Z., Dimitrijević, M., Aleksić, A., Neffe-Skocińska, K., . . . Milton Prabu, S. J. M. (2020). Probiotics: versatile bioactive components in promoting human health. *56*(9), 433.
- Shikov, A. N., Narkevich, I. A., Flisyuk, E. V., Luzhanin, V. G., & Pozharitskaya, O. N. J. J. o. E. (2021). Medicinal plants from the 14th edition of the Russian Pharmacopoeia, recent updates. *268*, 113685.
- Staniszewski, A., & Kordowska-Wiater, M. J. F. (2021). Probiotic and potentially probiotic yeasts—Characteristics and food application. *10*(6), 1306.
- Süntar, I. J. P. R. (2020). Importance of ethnopharmacological studies in drug discovery: role of medicinal plants. *19*(5), 1199-1209.
- Teame, T., Wang, A., Xie, M., Zhang, Z., Yang, Y., Ding, Q., . . . Zhou, Z. J. F. i. n. (2020). Paraprobiotics and postbiotics of probiotic Lactobacilli, their positive effects on the host and action mechanisms: A review. *7*, 570344.
- Walther, B., Schmid, A., Sieber, R., Wehrmüller, K. J. D. S., & Technology. (2008). Cheese in nutrition and health. *88*(4-5), 389-405.
- Wilkinson, M. G., & LaPointe, G. J. J. o. d. s. (2020). Invited review: Starter lactic acid bacteria survival in cheese: New perspectives on cheese microbiology. *103*(12), 10963-10985.
- Zendeboodi, F., Khorshidian, N., Mortazavian, A. M., & da Cruz, A. G. J. C. O. i. F. S. (2020). Probiotic: conceptualization from a new approach. *32*, 103-123.

Résumé

Les aliments fonctionnels sont indispensables pour préserver et améliorer la santé, car ils offrent des avantages supplémentaires en plus de leur apport nutritionnel. Cependant, pour les personnes atteintes de maladies chroniques ou d'hypertension, trouver des options alimentaires adaptées à leurs besoins spécifiques peut s'avérer difficile. Notre objectif est de formuler et de développer un aliment fonctionnel qui tire parti des nombreux bienfaits des probiotiques et des plantes pour la santé, afin de répondre de manière ciblée à ces attentes. La méthodologie de ce travail a impliqué la formulation de quatre types de fromages fonctionnels en utilisant des souches bactériennes mésophiles (*Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus casei*) et de plantes (*Hibiscus sabdariffa*, *Ocimum basilicum*, *Allium sativum*). Des analyses physico-chimiques, telles que la mesure du pH et de la teneur en protéines, ont été réalisées pour évaluer la qualité des aliments formulés. Des tests sensoriels et de dégustation ont également été effectués auprès de 25 personnes pour évaluer l'acceptabilité des produits. Les résultats des analyses physico-chimiques ont confirmé la qualité des produits. Les évaluations sensorielles et de dégustation ont révélé une satisfaction générale chez les participants uniquement pour de fromages formulés. Cette recherche offre une réponse aux besoins des personnes souffrant de maladies et d'hypertension en proposant une alternative saine aux fromages traditionnels. De plus, ces formulations représentent un enjeu économique prometteur, ouvrant des opportunités de commercialisation pour les industries alimentaires.

Mots clés : Aliment fonctionnel, Fromage, Probiotique, *Hibiscus sabdariffa*, Hypertension artérielle.

Abstract

Functional foods are essential for preserving and improving health, as they offer additional benefits beyond their nutritional value. However, for individuals with chronic diseases or hypertension, finding suitable dietary options to meet their specific needs can be challenging. Our objective is to formulate and develop a functional food that harnesses the numerous benefits of probiotics and plants for health, in order to specifically address these expectations. The methodology of this study involved formulating four types of functional cheese using mesophilic bacterial strains (*Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus casei*) and plants (*Hibiscus sabdariffa*, *Ocimum basilicum*, *Allium sativum*). Physicochemical analyses, such as pH measurement and protein content determination, were conducted to evaluate the quality of the formulated foods. Sensory and taste tests were also performed with 25 participants to assess the acceptability of the products. The results of the physicochemical analyses confirmed the quality of the product. The sensory and taste evaluations revealed overall satisfaction among participants specifically for the formulated cheeses. This research provides a concrete response to the needs of individuals with diseases and hypertension by offering a healthy alternative to traditional cheeses. Moreover, these formulations represent a promising economic opportunity, opening up commercialization possibilities for the food industry.

Keywords: Functional food, Cheese, Probiotic, *Hibiscus sabdariffa*, Arterial hypertension.

الملخص

تعد الأطعمة الوظيفية ضرورية للحفاظ على الصحة وتحسينها، حيث توفر فوائد إضافية بالإضافة إلى قيمتها الغذائية. ومع ذلك، قد يكون من الصعب على الأشخاص الذين يعانون من أمراض مزمنة أو ارتفاع ضغط الدم إيجاد خيارات غذائية مناسبة لاحتياجاتهم الخاصة. هدفنا هو صياغة وتطوير غذاء وظيفي يستفيد من فوائد البروبيوتيك والنباتات المفيدة للصحة، لتلبية هذه التوقعات بشكل محدد. تضمنت منهجية هذه الدراسة صياغة أربعة أنواع من الجبن الوظيفي باستخدام سلالات *Streptococcus thermophilus*، *Lactococcus lactis ssp. lactis* (بكتيرية تنمو في درجة حرارة متوسطة *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*، *Lactobacillus casei*) ونباتات (*Hibiscus sabdariffa*، *Ocimum basilicum*، *Allium sativum*).

تم إجراء تحاليل فيزيوكيميائية مثل قياس درجة الحموضة ومحتوى البروتين لتقييم جودة الأطعمة المصاغة. تم أيضًا إجراء اختبارات حسية وتذوق مع 25 شخصًا لتقييم قابلية المنتجات للقبول. أكدت نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية جودة المنتجات. كشفت التقييمات الحسية واختبارات التذوق عن رضا عام للمشاركين فقط عن الجبن المصاغ. توفر هذه الدراسة استجابة واضحة لاحتياجات الأشخاص الذين يعانون من الأمراض وارتفاع ضغط الدم من خلال تقديم بديل صحي للأجبان التقليدية. بالإضافة إلى ذلك، تمثل هذه التركيبات فرصة اقتصادية واعدة، مما يفتح آفاقًا لتسويقها لصناعة الأغذية.

الكلمات الرئيسية: الغذاء الوظيفي، الجبن، البروبيوتيك، هيبسكس سابداریفا، ارتفاع ضغط الدم.