

	République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers Département de BIOLOGIE Laboratoire de Microbiologie Appliquée à l'Agroalimentaire et à l'Environnement (LAMAABE)	
---	--	---

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Biologie**

Option : « Microbiologie et Contrôle de Qualité »

Thème

Contribution à l'étude de la formulation d'un yaourt à base de lait d'amande enrichi par la gomme de caroube : Optimisation du procédé de fabrication et évaluation de ses qualités physicochimique, microbiologique et sensorielle.

Présenté par : HAMMAD MALEK ET HAMMOU KAWTHER

Soutenu le : 22 JUIN 2026 à 11h

Devant le jury composé de :

Dr BENDIMERAD. N	MCA	Président	Université de Tlemcen
Dr ZERHOUNI. K	MCB	Examineur	Université de Tlemcen
Dr BOUMEDIENE. K	MCB.	Encadreur	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2025-2026

Dédicaces

*Tout d'abord, grâce à Allah, le tout-puissant et le miséricordieux, pour
Sa guidance et pour la force qu'Il m'a accordée afin d'achever ce
travail*

Je voudrais dédier ce travail à :

*Mon cher **père**, pour ton soutien, tes encouragements et tes sacrifices
silencieux qui ont été pour moi une source de force et de motivation.*

*À la personne la plus chère de ma vie, **ma mère**, pour ton amour, ta
tendresse et tous tes sacrifices, qui m'ont été d'un grand secours.*

*À **ma sœur**,*

Pourses prières sincères, sa présence et son soutien constant.

*À **mon frère** et à **son épouse**,*

Pour leurs encouragements et leur bienveillance.

*À **ma binômekawther**,*

Pour sa collaboration, son sérieux et les efforts partagés.

*Ma promotrice, **Mme Boumediene Karima**, pour votre
accompagnement bienveillant et vos précieux conseils tout au long de
ce travail.*

« Malek »

Dédicaces

Je remercie tout d'abord Dieu Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la réussite dans la réalisation de ce travail.

*À **mon cher père**, en témoignage de ma profonde gratitude pour tous ses sacrifices, son soutien matériel et moral, ainsi que ses précieux conseils.*

*À **ma chère mère**, pour son amour inconditionnel, ses prières, son soutien constant et ses encouragements qui m'ont toujours accompagnée.*

*À **ma sœur et toute ma famille**, pour leur affection, leur confiance et leurs encouragements tout au long de mon parcours.*

*À **ma binôme Malek**, avec qui j'ai partagé les efforts et les moments de travail, en signe d'amitié et de reconnaissance.*

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

« Kawther »

Remerciements

Au tout début, nous exprimons notre profonde gratitude au Tout-Puissant Allah, qui nous a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

*Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre encadrante, **Mme Boumediene Karima**, pour sa disponibilité, sa patience et la pertinence de ses conseils, qui ont grandement enrichi notre réflexion et guidé la réalisation de ce mémoire.*

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury :

***Mme Bendimerad N**, Maîtresse de conférences A à l'ISTA qui nous fait l'honneur de présider le jury.*

***Mme Zerhouni K**, Maîtresse de conférences B à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, qui a bien voulu examiner ce mémoire et apporter ses remarques constructives.*

Nous exprimons également notre reconnaissance à tous les membres du laboratoire LAMAABE ainsi à toutes les personnes ayant participé aux séances d'évaluation sensorielle pour leur disponibilité et leur implication.

Une pensée particulière va à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation tout au long de notre parcours universitaire.

Table des matières

Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des annexes	

Introduction générale	1
Synthèse bibliographique	2
Chapitre I	3
Produits laitiers végétaux	3
1. Historique	4
2. Généralités sur les boissons végétales	4
2.1 Les différents types de lait végétal	5
2.2 Avantages des laits végétaux pour la santé	5
3. Lait d'amande	5
3.1 Généralités sur l'amande	5
3.2 Composition nutritionnelle	6
3.3 La différence entre le lait d'amande et le lait de vache	7
3.4 Procédés d'extraction du lait	8
3.5 Risques et limites liés à la consommation du lait d'amande	8
Chapitre II	10
Le caroubier, intérêt biologique et valorisation des graines	10
1. Généralités sur le caroubier	11
2. Les graines de caroube	11
2.1 Définition	11
2.2 Anatomie du fruit et de la graine	12
2.3 La composition chimique de la graine	13
2.4 Rôle du galactomannane	14
1. Généralités sur le yaourt	16
1.1 Historique du yaourt	16
1.2 Définition du yaourt	16
1.3 La fermentation lactique	17
2. Yaourts végétaux	20
2.1 Définition et caractéristiques générales	20
2.2 Coagulation végétale dans la fabrication du yaourt végétal	20
2.3 Intérêt nutritionnel et fonctionnel	21
2.4 Limites technologiques dans la fabrication du yaourt	21

2.5 Rôle de la fermentation dans la structuration et l'enrichissement des yaourts végétaux	21
Matériels et méthodes	23
1. Préparation des échantillons	24
1.1 Fabrication du lait d'amande	24
1.2 Préparation de la farine des graines de caroube	24
1.3 Préparation du yaourt à base du lait d'amande	25
1. Analyse physicochimique et microbiologique de lait d'amande et des échantillons de yaourt	26
1.1 Caractérisations physicochimiques de lait et yaourt	26
2.2 Analyse microbiologique	28
3. Suivi de la cinétique de fermentation	30
3.1 Inoculation des ferments	30
3.2 Suivi de la cinétique d'acidification	30
4. Analyse sensorielle	30
Résultats et discussions	31
1.1 Présentation de lait d'amande :	32
1.2 Présentation des yaourts obtenus	32
2. Résultats des analyses physico-chimiques du lait et du yaourt végétal	33
2.1 Le pH	33
2.2 L'acidité titrable	34
2.3 La matière sèche	35
2.4 Les sucres	35
2.5 Synérèse	35
2.6 Protéines	36
2.7 La densité	36
3. Résultats des analyses microbiologiques du lait et du yaourt végétal	36
3.1 Évaluation des microorganismes indésirables	36
3.2 Évaluation des bactéries lactiques	37
4. Etude de la cinétique de fermentation des yaourts préparés	38
5. Suivi de la cinétique d'acidification	39
6. Évaluation sensorielle des échantillons de yaourt	41
7. Évaluation de l'acceptabilité des échantillons par les consommateurs	42
Conclusion	44
Références bibliographiques	46
Annexes	57
Résumé	61

Liste des abréviations

UE : L'Union européenne	FALCPA :Food Allergen Labeling and
AFNOR : Association Française de Normalisation	Consumer Protection Act
°C : degré Celsius	FDA :Food and Drug Administration
g : gramme	AMP :amandin major protein
ISO : L'Organisation internationale de normalisation	VRBL : Gélose Lactosée Biliée au Cristal Violet et au Rouge Neutre
Kcal : Kilocalorie	MRS : De Man, Rogosa et Sharpe
mg : Milligramme	BSA : Albumine de sérum bovin
ml : Millilitre	
mm : millimètre	
µm : micromètre	
PH : Potentiel d'hydrogène	
% : Pourcentage	
FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)	
OMS :Organisation mondiale de la Santé	
UFC :Unité Formant Colonie.	
FGC : Farine de graines de caroube.	
YA : Yaourtà base d'amande	
EPS :Exopolysaccharides.	
EP : l'eau peptone	
BL : Les bactéries lactiques	

Liste des tableaux

Tableau 1 : La composition nutritionnelle du noyau d'amande pour 100 g de portion comestible fraîche	7
Tableau 2 : Comparaison de la composition nutritionnelle du lait d'amande et lait de vache pour 100 milligrammes (mg).....	7
Tableau 3 : La systématique du caroubier.....	11
Tableau 4 : Composition de la graine et de la pulpe de caroube	13
Tableau 5 : Résultats des paramètres physico-chimiques du lait d'amande et des trois échantillons de yaourt végétal..	33
Tableau 6 : Analyse microbiologique des trois échantillons du yaourt végétal.	38

Listes desfigures

Figure 1 : Gousses et les graines de caroube (<i>Ceratonia siliqua</i>).....	12
Figure 2: Coupe transversale d'une graine de caroube	13
Figure 3: <i>Streptococcus thermophilus</i>	17
Figure 4: Aspect des cellules de <i>Lb. bulgaricus</i> sous le microscope électronique.....	18
Figure 5 : Schéma illustrant les interactions de <i>Streptococcus thermophilus</i> et <i>Lactobacillus bulgaricus</i> en culture mixte dans le lait	19
Figure 6 : Exemples de yaourts végétaux disponibles sur le marché.....	20
Figure 7 : Protocole de fabrication du lait d'amande (Photo Personnel)	24
Figure 8 : les étapes de préparation de la farine de caroube (Photo Personnelle)	25
Figure 9 : Diagramme de fabrication du yaourt à base d'amande (Photo Personnel)	26
Figure 10 : Échantillon de lait d'amande (Photo personnelle).....	32
Figure 11 : Présentation visuelle des échantillons de yaourts au lait d'amande enrichis par la farine de caroube (Photo personnelle).	33
Figure 12: Résultats des analyses physico-chimiques (Photos Personnelles)	34
Figure 13 : Résultats des analyses microbiologiques (Photo personnelle).	37
Figure 14 : Évolution du pH et de l'acidité au cours de la fermentation des yaourts végétaux	39
Figure 15: Suivi de la cinétique durant la période de conservation	40
Figure 16: Profil sensoriel comparatif des trois échantillons de yaourt végétaux.....	42
Figure 17 : l'intention de consommation des trois échantillons.....	43

Liste des annexes

Annexe 1 :préparation de l'eau péptonée	58
Annexe 2 : Préparation de la solution de NaOH 0,1 N.....	58
Annexe 3 : Tableau de cinétique.....	58
Annexe 4 : courbe d'étalonnage de glucose.....	59
Annexe 5 : courbe d'étalonnage de protéine.....	59
Annexe 6 : Tableau d'évaluation sensorielle.....	59
Annexe 7 :Fiche d'évaluation sensorielle.....	60

Introduction générale

Introduction générale

L'évolution des habitudes alimentaires et la sensibilisation croissante aux enjeux de santé, d'environnement et d'éthique ont favorisé l'essor des alternatives végétales aux produits laitiers. Parmi celles-ci, les boissons végétales occupent une place centrale, notamment en raison de leur valeur nutritionnelle, de leur digestibilité et de leur adaptabilité aux régimes alimentaires spécifiques (**Melina et al., 2016**)

Il existe déjà de nombreux produits sur le marché, notamment des substituts de lait à base d'amande, de noix de coco, de soja, de riz et d'avoine (**McClements et al., 2019**), se présentent comme une solution de substitution au lait animal pour les personnes intolérantes au lactose, allergiques aux protéines du lait de vache ou adeptes de régimes végétaliens(**Dupont et al., 2011; Misselwitz et al., 2013**)

Parmi celles-ci, les boissons à base d'amandes sont reconnues comme une source concentrée de nutriments, car les amandes sont riches en acides gras, en lipides, en acides aminés, en protéines, en glucides, en vitamines, en minéraux et en substances bioactives telles que les tanins hydrolysables, les proanthocyanidines et les flavonoïdes(**La Torre et al., 2025**). Dans ce contexte, Les alternatives de yaourt à base d'amande (YA), appelées ici « yaourts d'amande », occupent la deuxième place mondiale de consommation après les yaourts au soja (**Grand View Research, 2020**).

Malheureusement, le yaourt à base de lait végétal a présenté des problèmes de texture et de stabilité (**Grasso et al., 2020**). Afin d'atteindre une texture stable et agréable dans les produits laitiers maigres, on incorpore des polysaccharides alimentaires tels que la pectine, les carraghénanes et les galactomannanes à la préparation du yaourt. Les galactomannanes sont extraits de l'endosperme des graines du fruit du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*). En raison de sa teneur en gomme, la FGC est utilisée dans l'industrie alimentaire comme épaississant et agent stabilisant (**Froio et al., 2020**).

Ce travail a pour objectif l'élaboration et l'évaluation d'un yaourt végétal à base de lait d'amande, formulé avec différentes concentrations de Farine des Graines de Caroube FGC, à travers l'étude de leurs propriétés physico-chimiques et nutritionnelles (comme la teneur en matières sèches, sucres, protéines, pH, etc.), ainsi que leur analyse microbiologique, leur évaluation et leur description sensorielle.

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Produits laitiers végétaux

1. Historique

Les boissons végétales sont consommées depuis des milliers d'années. Les premières traces de production de lait d'amande se trouvent dans la Grèce antique et plus tard dans l'Empire romain. Cependant, ce n'est qu'au Moyen Âge que le lait d'amande est devenu un aliment de base. Les traces les plus anciennes de l'utilisation du terme "lait végétal" remontent à la Rome antique, et plus précisément au IV^e siècle après J.-C.(**Amrouche, 2020**).

Le célèbre ouvrage gastronomique de l'Empire romain, *Derecoquinaria*, indique que les laits végétaux étaient un ingrédient courant de la cuisine de l'époque, il explique également que ce lait était largement utilisé dans la Grèce antique. Cependant, les laits végétaux étaient probablement déjà répandus dans les civilisations antérieures, par exemple chez les Égyptiens. En effet, la technique de "l'émulsion" ou du "filtrage" des graines moulues était déjà largement connue depuis l'Antiquité (**Amrouche, 2020**).

2. Généralités sur les boissons végétales

Les boissons végétales sont des extraits aqueux de diverses matières végétales décomposées ou dissoutes, telles que les céréales, les pseudo-céréales, les oléagineux, les légumineuses ou les tubercules, présentés sous forme de mélanges liquides ou de suspensions, ces boissons végétales sont similaires au lait de vache par leur apparence, leur texture et leur rôle nutritionnel en apportant des protéines et des calories à l'organisme, bien qu'ils soient connus pour contenir moins de nutriments en raison de leurs phyto-nutriments bons pour la santé. Cependant, leur goût et leur composition changent selon la plante utilisée, ce qui explique leurs différences et grâce à leurs composants, ils sont considérés comme des aliments fonctionnels(**Kehinde et al., 2020**).

L'Union européenne (UE) et le Canada interdisent l'usage du terme « lait » pour les boissons végétales, ce mot étant réservé aux produits d'origine animale. Cette interdiction, renforcée en 2007 et confirmée en 2017 par la Cour de justice de l'UE, est toutefois accompagnée d'exceptions en France autorisant certaines appellations traditionnelles comme « lait d'amande » ou « lait de cacao » (**Amrouche,2020**).

L'industrie des laits végétaux a connu une croissance remarquable des laits végétaux connaît une forte croissance. Les prévisions estiment que cette industrie pourrait atteindre 28

milliards de dollars en ventes totales sur le marché de détail aux États-Unis d'ici 2021 (Sebastian *et al.*, 2018).

2.1 Les différents types de lait végétal

La classification des laits végétaux est basée sur la matière première utilisée :

- **À base de céréales** : Le lait d'avoine, celui de maïs, de riz et d'épeautre
- **À base de pseudo-céréales** : Le lait de quinoa, d'amarante et de teff
- **À base de graines** : Le lait de sésame, de tournesol, de lin et de chanvre
- **À base de légumineuses** : Le lait de soja, d'arachide, de niébé, de lupin et de niébé.
- **À base de noix** : Le lait d'amande, de noisette, de pistache, de noix et de coco (Swati *et al.*, 2016).

2.2 Avantages des laits végétaux pour la santé

Plusieurs facteurs expliquent l'intérêt croissant pour les laits végétaux, notamment leur rôle alternatif pour les personnes allergiques au lait de vache, ainsi que l'absence de lactose ce qui les rend adaptés aux personnes intolérantes au lactose. Ils présentent également un faible apport calorique, ce qui les rend adaptés aux régimes alimentaires, et sont dépourvus de cholestérol afin de diminuer le risque d'hypercholestérolémie. De plus, ils contiennent des composants bioactifs qui ont des effets bénéfiques sur la santé. Ainsi, les laits végétaux attirent des consommateurs souhaitant améliorer leur alimentation en donnant la préférence à des produits bénéfiques pour la santé et durables (Sebastian *et al.*, 2018). Outre le rôle d'un régime à base de plantes sur la diminution des maladies cardiovasculaires, (Pistollato *et al.*, 2018) notent qu'un régime riche en aliments d'origine végétale, notamment les fruits à coque, le soja, réduit le risque de troubles neurodégénératifs tels que la maladie d'Alzheimer (Aydar *et al.*, 2020).

3. Lait d'amande

3.1 Généralités sur l'amande

Le terme « amande » désigne la graine de l'amandier, appartient au genre *Prunus* de la famille des Rosacées et est originaire d'Asie centrale méridionale et cultivé sous des climats de type méditerranéen, notamment en Californie, dans le bassin méditerranéen, en Australie et en Asie centrale, il existe au moins 30 espèces d'amandes sauvages décrites qui sont

généralement plus amères que les variétés cultivées. C'est un fruit à coque. Elle renferme une graine, dont la chair sèche en mûrissant(**Franklin et Mitchell, 2019**)

L'amande est une graine oléagineuse riche en lipides, parfois considérée comme un fruit sec oléagineux. Lorsque l'amande est récoltée avant sa maturité, sa peau reste verte : les amandes vertes et fraîches ont une chair souple et laiteuse avec une saveur délicate. Elle peut alors être commercialisée en coque, ou décortiquée, ou encore mondée (après avoir retiré la fine peau brune qui les recouvre)(**Desfemmes, 2023**).

3.2 Composition nutritionnelle

Les amandes sont riches en nutriments, notamment en graisses saines, en protéines, en vitamines et en minéraux(voir tableau 1). Elles constituent également une bonne source de fibres alimentaires et contiennent plusieurs composés bioactifs tels que l'alpha-tocophérol, les acides gras essentiels et divers composés phytochimiques. Sous forme de boisson végétale, l'amande conserve une grande partie de ces éléments nutritifs. La consommation de boisson d'amande a été associée à plusieurs bienfaits pour la santé, notamment l'amélioration de la santé cardiovasculaire, la réduction du risque de maladie coronarienne grâce à la diminution des taux plasmatiques de cholestérol lipoprotéines de basse densité(**Dhakal et al.,2014**).

Sur le plan protéique, L'amandine est la protéine dominante de l'amande, représentant environ 65 à 70 % de la protéine soluble totale. Cette protéine globulaire d'environ 14 nm a une masse moléculaire d'environ 370 à 427 kDa et se compose de 6 sous-unités de prunine. La micelle de caséine présente dans le lait animal est beaucoup plus grande que l'amandine, avec une taille d'environ 200 nm, et se lie au phosphate de calcium (**Devnani et al., 2022**). Les amandes contiennent également des flavonoïdes et des polyphénols, associés à des effets antioxydants(**Özcan, 2023**).

Tableau 1 : La composition nutritionnelle du noyau d'amande pour 100 g de portion comestible fraîche (**Adapté de Gradziel, 2017**)

Nutriments	Valeurs
Energie	578 kcal
Protéines	21,26 g
Glucides	19,74 g
Fibres alimentaires totales	11,8 g
Glucose	4,54 g
Amidon	0,73g
Calcium	248 mg
Magnésium	275 mg
Phosphore	474mg
Potassium	728 mg
Sodium	1mg
Vitamine E	25,87 mg

3.3 La différence entre le lait d'amande et le lait de vache

Il est largement admis que les aliments d'origine animale et végétale présentent des différences de composition. Les protéines d'origine végétale ne possèdent pas les mêmes qualités nutritionnelles que celles d'origine animale. Outre la teneur en protéines, des différences importantes existent entre les nutriments naturellement présents dans le lait de vache et ceux des boissons végétales substitutives, notamment concernant les fibres, la vitamine B12, le calcium, ainsi que la composition et la concentration des lipides. Le tableau 2 présente une comparaison nutritionnelle entre le lait d'amande et le lait de vache entier (**Walther *et al.*, 2022**).

Tableau 2 : Comparaison de la composition nutritionnelle du lait d'amande et lait de vache pour 100 milligrammes (mg) (**Medical News Today, 2026**)

Nutriments	Lait d'amande	Lait de vache (entier)
Calories	19 kcal	61kcal
Protéines	0,66 g	3, 27 g
Lipides (gras)	1,56 g	3,2 g
Glucides	0,67g	4,63 g
Calcium	158 mg	123 mg
Vitamine D	63,6 IU	38,4 IU

3.4 Procédés d'extraction du lait

Les boissons végétales consommées à la place du lait, sont des mélanges de particules végétales broyées et dissoutes dans l'eau, souvent soumises à d'autres traitements dans l'eau. Les substituts végétaux à base de céréales (comme l'avoine, le riz) ou de fruits à coque (comme l'amande, la noix de coco, la noisette) ou de soja, impliquent des traitements complexes et les matières premières souvent doivent être importées (parfois elle n'est pas produite localement) (**Mäkinen et al., 2015**). Les boissons végétales sont obtenues par la transformation mécanique de matrices végétales. Le procédé consiste surtout à réduire la taille des particules puis à les homogénéiser. Cette homogénéisation permet d'obtenir une dispersion plus stable avec une distribution granulométrique avec une taille généralement comprise entre 5 et 20 μm . L'objectif technologique est de reproduire les caractéristiques visuelles et texturales du lait animal avec son aspect blanc opaque, sa texture fluide homogène (**Swati et al., 2016**).

3.5 Risques et limites liés à la consommation du lait d'amande

La consommation de lait d'amande peut présenter certains risques nutritionnels et sanitaires selon les populations concernées.

3.5.1 Risque allergique

Les fruits à coque, y compris les amandes, figurent parmi les principales causes de réactions allergiques alimentaires, pouvant parfois être graves voire mortelles (**McWilliam et al., 2015**). Les amandes contiennent environ 188 protéines, dont l'amandine, également appelée protéine majeure de l'amande (AMP). Cette protéine est résistante à la dénaturation thermique, ce qui signifie qu'elle conserve son potentiel allergénique même après traitement. Par conséquent, le lait d'amande est inadapté aux personnes allergiques aux fruits à coque. Dans ce contexte, le lait d'amande est classé comme produit contenant des allergènes, conformément au *Food Allergen Labeling and Consumer Protection Act* (FALCPA) de la Food and Drug Administration (FDA) (**Devnani et al., 2022**).

3.5.2 Risque de déséquilibre nutritionnel

Dans certaines populations, notamment chez les personnes âgées, le remplacement du lait de vache par une boisson végétale peut entraîner un apport insuffisant en protéines. En

effet, la concentration en protéines du lait d'amande est relativement faible, ce qui peut contribuer à un déséquilibre nutritionnel si aucune compensation alimentaire n'est effectuée (Sethi *et al.*, 2016).

Chapitre II

*Le caroubier, intérêt
biologique et valorisation des
graines*

1. Généralités sur le caroubier

Le caroubier (*Ceratoniasiliqua* L.) est un arbre à feuilles persistantes de la famille des Fabaceae (légumineuses), originaire méditerranéen. Son nom vient du grec *keras* qui signifie « corne » et du latin *siliqua* en référence à la forme et à la dureté de sa gousse. (Polphillet *al.*, 1981 ; Dahmani *et al.*, 2023) Originaire de la région méditerranéenne et il est aujourd’hui présent dans de nombreuses régions du monde, notamment en Amérique du Nord et du Sud, en Afrique et en Australie(Dahmani *et al.*, 2023).(Voir tableau 3)

Tableau 3: La systématique du caroubier(Lewis *et al.*, 2005)

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta, angiospermes, phanérogames
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Sous-famille	Caesalpinioideae
Genre	Ceratonia
Espèce	Ceratoniasiliqua

En Algérie, le caroubier estprincipalement présent dans l'Atlas saharien, dans certaines régions de Tell. Àl’état naturel on le trouve associé à l'amandier l’olivier (*Olea europaea*) et le pistachier de l’Atlas (*Pistaciaatlantica*)dans les zones semiarides chaudes, humides etsub-humides, Il est protégé des gelées dans les vallées fraîches, où il peut se développer à des altitudes variantes entre 100 et 1300 mètres, les températures varient de 5°C à 20°C et les précipitations varient de 80mm à 600mm/an (Rebour, 1968).

2. Les graines de caroube

2.1 Définition

Les graines de caroube sont petites et aplaties, de forme presque ovale, avec leur pôle basal tronqué est fendu et généralement brillant dans la zone apicale. Elles sont lisses, dures de couleur brun rougeâtre (Albanell, 1990). Les graines sont placées transversalement dans la gousse qui est séparées par les mésocarpes qui sont durs et nombreux, ovales-oblongs comprimés de 8à 10 mm de long et de 7à8mm de large et 3 à 5mm d’épaisseur (Goldblatt,

1981), ont été employées comme standard naturel pour la mesure du poids (carat) (**Madrigal et al., 2019**). Voir figure 1

Sur le plan chimique, elles renferment approximativement 15 à 20 % de protéines, des lipides, des minéraux et un agent gélifiant nommé galactomannane, couramment employé comme épaississant naturel dans les secteurs de l'alimentation et de la pharmacie (**Madrigal et al., 2019**).

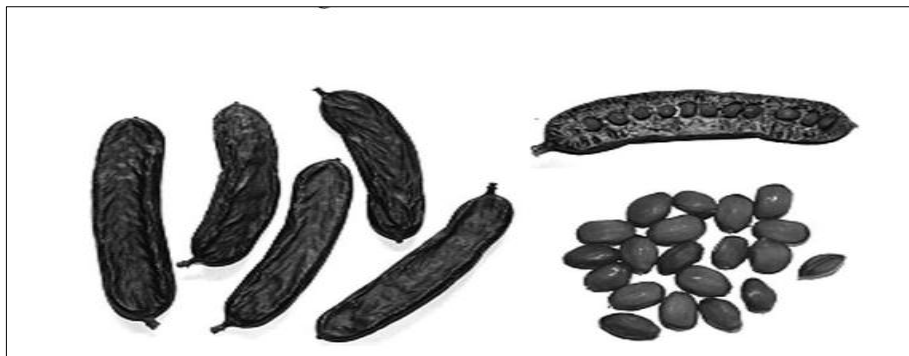


Figure 1 : Gousses et les graines de caroube (*Ceratonia siliqua*) (**Benmahioul et Kaid-Harche, 2011**)

2.2 Anatomie du fruit et de la graine

La graine de caroube est composée de trois parties :

2.2.1 Tégument : Recouvre la graine et est constitué de lignine, de cellulose, et de tanin. Il est constitué de deux enveloppes l'une est interne nommée tegmen qui est plus blanche et plus tendre et l'autre externe appelée testa, colorée et dure. (Le tégument représente 30 à 33 % de la graine)

2.2.2 L'endosperme : Se situe sous l'épisperme et constitue le tissu de réserve pour la germination de l'embryon. D'un point de vue économique, cette partie de la graine présente le plus d'intérêt en raison de sa forte teneur en galactomannane, également appelé gomme de caroube. (L'endosperme représente 42 à 46 % de la graine)

2.2.3 Le germe : (Représente 23 à 25 % de la graine) (**Mahdad, 2022**).

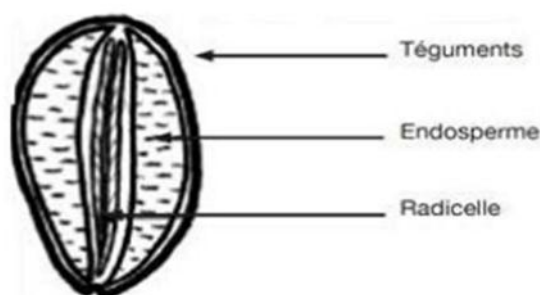


Figure 2 : Coupe transversale d'une graine de caroube (Dakia *et al.*, 2008)

2.3 La composition chimique de la graine

Les graines de caroube constituent environ 10% de la masse de la gousse (Voir tableau 4).

Tableau 4 : Composition de la graine et de la pulpe de caroube (Kicher et Ladjouzi, 2016)

La pulpe 90%	La graine 10%
Glucides 48 à 72%	L'enveloppe tégumentaire (Cuticule) 30_33%
Protéines 1_2%	
Matières grasses 0,5 _0,7%	
Cellulose hémicellulose 18%	L'endosperme (albumen) 42_46%
Minéraux (Ca, Mg, K, P)	
Pectines et fibres 4,2 à 9,6%	L'embryon (germe) 23 _25%
Cendres 1,5 _2,4%	
Polyphénols 16_20%	

L'endosperme de la graine de caroube présente une forte teneur en glucides (27 %) composées principalement de galactomannanes, du glucose, du mannose, et du saccharose (Dakia, 2011). La gomme de caroube provenant de l'endosperme représente environ un tiers du poids total de la graine. Généralement, 100 kg de graines donnent 20 kg de gomme pure et sèche (Carnier *et al.*, 2004 ; Bouzouita *et al.*, 2007). Les galactomannanes ont tous une structure générale similaire formée par un enchainement linéaire d'unités β -Dmannopyranose liées en (1→4) avec des branchements avec une seule unité α -Dgalactopyranose liée en (1→6) (Carnier *et al.*, 2004).

La farine de germe présente une teneur élevée en protéine, de 52% avec une teneur élevée en arginine et lysine. La graine est pauvre en fibres mais elle présente une teneur importante en lipides. **(Bouzouita et al., 2007)**

La graine est composée de 42 à 46% de l'albumen, de 23 à 25% de germe et de 30 à 33% d'enveloppe **(Neukom, 1988)**. Le tégument (l'enveloppe) est identifié comme une source naturelle d'antioxydants **(Batista et al., 1996 ; Marakiset al., 1988)**.

2.4 Rôle du galactomannane

Les galactomannanes sont des hydrocolloïdes solubles capables de former des solutions visqueuses et stables, ce sont des matières sèches capables d'améliorer diverses propriétés physicochimiques grâce à leurs propriétés reconnues en tant qu'agents texturants optimaux. Leur ajout en très petites quantités dans un milieu aqueux entraîne une augmentation importante de sa viscosité, c'est-à-dire son pouvoir épaississant est très remarquable. Ainsi, l'absence de toute toxicité associée a favorisé leur utilisation dans de nombreux produits, notamment dans l'industrie alimentaire **(Canier et al., 2004)**.

Les galactomannanes sont des additifs alimentaires reconnus sous le code E410. Ainsi, le comité mixte d'organisation mondiale de la Santé / Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (OMS/FAO) d'experts des additifs alimentaires a évalué leur sécurité sanitaire et a établi une dose journalière admissible non limitée ou non spécifiée **(Cruz, 1999 ; Ganter et Reicher, 1999)**.

Chapitre 3

Le yaourt : des produits laitiers aux alternatives végétale

1. Généralités sur le yaourt

1.1 Historique du yaourt

Originaire d'Asie, Le terme « yaourt » provient du turc *yoğurt*, dérivé de *yoğurmak*, qui signifie « épaissir » (**Tamime et Deeth, 1980**), le yogourt est un aliment et une boisson traditionnel dans les Balkans et le Moyen-Orient, très ancien et connu de l'homme depuis l'Antiquité, mais apparu pour la première fois dans la littérature vers le 8ème siècle (**Trachoo, 2002**). À cette époque, les gens consommaient les produits laitiers fermentés sans identifier les agents responsables de la transformation du lait ni les procédés exacts. Ce processus s'est produit naturellement grâce aux bactéries lactiques (BL) présentes dans le récipient destiné à la collecte du lait (**Drider, 2009**). Cela s'est poursuivi jusqu'au XIXe siècle, lorsque Pasteur a mené une série d'études sur plusieurs types de fermentation et a finalement mis en évidence le processus de fermentation et ses relations avec les micro-organismes (**Bordenave, 2003**).

Au cours des années 1960-1970, les produits sucrés, fruités et aromatisés apparaissent. Le marché est aujourd'hui largement dominé par ces produits. L'introduction du yaourt brassé est une autre étape importante dans la commercialisation du lait fermenté. En 1925, les mots "yaourt" et "yogourt" sont entrés dans Le Petit Larousse (**Rousseau, 2005**). Les produits probiotiques connaissent un développement important et répondent à une demande croissante du consommateur (**Mahaut et al., 2000 ; Rousseau, 2005**).

1.2 Définition du yaourt

Selon la définition de l'OMS et FAO (Food Agriculture Organisation) en 1977, Le Yaourt est un coagulé du lait pasteurisé obtenu par fermentation lactique acide due à l'action de deux ferments spécifiques à l'exception de toute autre bactérie « *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* », qui doivent être trouvés vivants dans le produit avec une valeur au moins de 10^7 bactérie/g, et ensemencées à la fois. Dès la mise en vente au consommateur, la teneur en acide lactique doit être supérieure à 0.7g/100g (0.7%) ce qui correspond à environ 70 °D selon l'échelle de Dornic (**Fredot, 2009 ; Jeantet et al., 2008 ; Guide pratique, 2010 ; Vierling, 2008**).

Le yaourt est un aliment fonctionnel, riche en acides aminés essentiels, en calcium, en vitamine D, en riboflavine et en vitamines (B6 et B12). Il contrôle les infections intestinales en favorisant le microbiote intestinal en tant que porteur de probiotiques, réduisant les taux de

cholestérol sérique et l'intolérance au lactose et réduisent le risque de cancer (Mckinley, 2005).

1.3 La fermentation lactique

1.3.1 Les ferments lactiques

- **Streptococcus thermophilus**

S. thermophilus fait partie du genre Streptococcus, un groupe bactérien comprenant plus de 40 espèces. On le retrouve fréquemment dans de nombreux produits laitiers fermentés essentiels, notamment dans le yaourt et certaines catégories de fromages « Brick, Suisse ». Il participe également à plusieurs fonctions biologiques, telles que la production de polysaccharides, de vitamines et de bactériocines. Par ailleurs, il possède des propriétés probiotiques intéressantes (Iyer *et al.*, 2010).

Cette bactérie est de Gram positive, de forme sphérique et a une température de croissance optimale de 37°C (Voir figure 4). Toutefois, certaines activités métaboliques nécessitent des températures différentes, telles que la synthèse d'acétaldéhyde ou la production de polysaccharides. Par contre elle cesse de croître à 10°C (Yildiz, 2016).



Figure 3: Streptococcus thermophilus (Corrieu et Luquet, 2008)

- **Lactobacillus Bulgaricus**

Lactobacillus bulgaricus est une bactérie à Gram positif, immobile, non sporulée, de forme bacillaire à extrémités arrondies, observée sous forme de diplobacilles ou de longues chaînes (voir figure 4). Elle apparaît sous forme de petits bâtonnets dans les cultures récentes et de filaments longs dans les cultures les

plus anciennes. Leur taille est de 4 à 6 micromètres, avec un pourcentage de graines de caroube compris entre 49 et 51%, leur croissance est observée à 45°C (Ait et Djellouli, 2020).



Figure 4 : Aspect des cellules de *Lb. bulgaricus* sous le microscope électronique (Axelsson, 1998)

1.3.2 Activités métaboliques des bactéries du yaourt

Les bactéries lactiques (LAB) participent à la fabrication des aliments fermentés et le développement de leur saveur via trois mécanismes principaux : la glycolyse (métabolisme fermentaire des glucides), la lipolyse (dégradation des graisses) et la protéolyse (catabolisme des protéines). Ainsi que l'action métabolique la plus importante est la production d'acide lactique résultant de la fermentation des glucides (c'est-à-dire l'acidification de l'aliment), les LAB produisent aussi de nombreux composés bénéfiques tels que les exopolysaccharides, les acides organiques, les polyols et les composés antimicrobiens, et présentent ainsi de nombreuses applications dans le secteur agroalimentaire (Bintsis, 2018).

1.3.3 Symbiose des souches :

L. bulgaricus et *S. thermophilus* se développent en association de type proto-coopération, présentant un intérêt technologique et nutritionnel à la fois (Radke-Michell et Sandine, 1984). Ces bactéries, en raison de leur activité acidifiante, ont un impact positif sur la qualité hygiénique du produit. En parallèle, elles synthétisent des métabolites secondaires favorisant l'amélioration de la qualité organoleptique du yaourt (Ngounou et al., 2003).

Lb. bulgaricus assure la stimulation de *St. thermophilus* par son activité protéolytique, en libérant des peptides et des acides aminés, utilisés par le Streptocoque (**Driessen et Kingma, 1982 ; Tammamet *et al.*, 2000**). Les acides aminés les plus importants et nécessaires à la croissance des deux souches sont : l'histidine, la valine, l'athréonine. En retour, *St. thermophilus* fournit de l'acide formique et du dioxyde de carbone, tous deux favorisant la croissance de *Lb. bulgaricus*. (**Tamime et Robinson, 2003 ; Bottazzi *et al.*, 1972 ; Kosikowski, 1982**). *St. thermophilus* présente une assimilation rapide de l'oxygène dans le lait créant des conditions favorables pour le développement de *Lb. bulgaricus* (**Tamime et Robinson, 2003 ; Kosikowski, 1982 ; Yaygin, 1970**).

Par conséquent, la production de CO₂ est expliquée par certains auteurs via la voie de Leloir, selon laquelle le galactose produit est converti en acide lactique et en CO₂, créant ainsi des conditions d'anaérobiose nécessaires au développement des lactobacilles (**Beal et Sodini, 2003**).

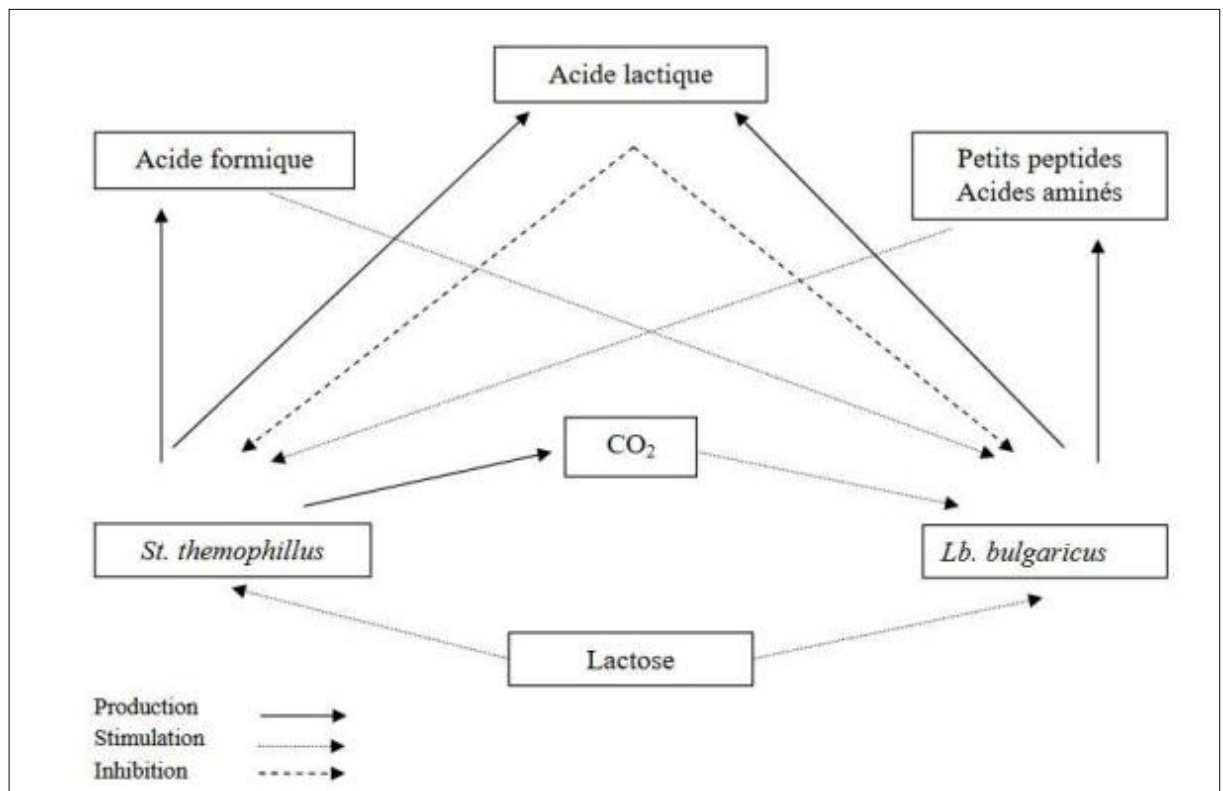


Figure 5 : Schéma illustrant les interactions de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* en culture mixte dans le lait (**Mahaut *et al.*, 2000**)

2. Yaourts végétaux

2.1 Définition et caractéristiques générales

Le yaourt végétarien présente un potentiel de développement en raison de son contenu fonctionnel et de sa haute valeur nutritionnelle. Il peut être élaborés à partir de différentes sources végétales riches en nutriments, notamment les noix, riches en fibres, sans lactose et sans caséine. Le soja, les haricots rouges et les haricots verts, les amandes, les arachides, en tant que sources de protéines végétales qui peuvent être utilisés comme alternative pour la fabrication de yaourts à base de plantes (**Hartono et al., 2024**)

Comparés aux yaourts laitiers, les yaourts végétaux contiennent moins de sucres totaux, moins de sodium et davantage de fibres. Cependant, ils renferment également des quantités significativement plus faibles de protéines et de calcium que les yaourts laitiers (**D'Andrea et al., 2023**). Ainsi, la composition nutritionnelle et la texture, la teneur en protéines, la fermeté du gel et le coefficient de consistance jouent un rôle positif dans l'amélioration de l'acceptabilité par les consommateurs (**Gupta et al., 2022**).



Figure6 : Exemples de yaourts végétaux disponibles sur le marché (**Carrefour, n.d.**)<https://www.carrefour.fr>

2.2 Coagulation végétale dans la fabrication du yaourt végétal

Les coagulants végétaux sont extraits par macération de différentes parties de plantes supérieures, tel que le gaillet, l'artichaut, la caroube utilisés dans des fabrications de yaourt. D'autres extraits coagulants ont été obtenus à partir de plantes tropicales tel que les ficines extraites du latex du figuier, la papaïne extraite des feuilles du papayer et la bromélaïne,

extraite de l'ananas. En outre, des recherches récentes réalisées sur des substrats de plantes ont mis en évidence l'intérêt des enzymes issues des plantes (Tejada *et al.*, 2008 ; Benahmed Djilalli, 2012).

2.3 Intérêt nutritionnel et fonctionnel

L'enzyme α -galactosidase contribue à rendre les yaourts plus digestes et à diminuer les troubles digestifs, notamment les ballonnements, par rapport au lait végétal. Cette enzyme permet de décomposer les oligosaccharides pendant la fermentation (Donkor *et al.*, 2007). En outre, la présence d'arabinose et de tocophérol dans le lait végétal sont capables de neutraliser les radicaux libres et les stérols du lait végétal ont des propriétés antidiabétiques et anti-inflammatoires. Ainsi les yaourts végétaux peuvent être formulés de manière à présenter une teneur élevée en acides gras oméga-3 et en fibres (Craig *et al.*, 2021 ; Prado *et al.*, 2008).

2.4 Limites technologiques dans la fabrication du yaourt

La concentration en protéines joue un rôle important dans la formation des produits gélifiés. Les YA présentent, selon les études, une teneur protéique comprise entre 1,4 et 2,8 % (m/v) (Bernat *et al.*, 2015), ce qui est inférieur à la concentration minimale requise pour une gélification thermique efficace, estimée à environ 3,6 %, ainsi qu'à la teneur typique des yaourts bovins (>3 %). La faible teneur en protéines conduit à la formation de gels peu consistants après fermentation, ce qui donne une texture différente de celle du yaourt laitier classique (Devnani *et al.*, 2020 ; Tamime *et al.*, 2014).

2.5 Rôle de la fermentation dans la structuration et l'enrichissement des yaourts végétaux

Au cours du processus de fermentation d'un yaourt végétal, les protéines se déstabilisent, formant un gel faible et non continu et subissant une séparation de phases. L'ajout d'épaississants et d'émulsifiants tels que l'amidon, la gomme, la pectine, l'inuline, l'agar et les extraits de protéines résout ce problème, produisant un caillé ferme et texturé (Grasso *et al.*, 2020 ; Guo et Yang, 2015).

L'utilisation de bactéries productrices d'EPS comme ferments pour la fermentation du yaourt végétal est l'une des alternatives les plus étudiées. La production in situ d'EPS conduit

à l'amélioration des propriétés texturales, sensorielles, nutritionnelles et fonctionnelles du yaourt végétal (**Montemurro et al., 2021**).

Plus important encore, la fermentation peut augmenter la teneur en protéines grâce à la croissance des microbes alimentaires responsables de la fermentation et en améliorant la solubilité des protéines végétales ainsi que la composition et la disponibilité des acides aminés (**Tangyu et al., 2019**).

Il convient de noter que certaines souches microbiennes spécifiques synthétisent des vitamines pendant la fermentation (**LeBlancet al. 2013**), notamment la vitamine K (**Bentley et Meganathan 1982**) et les vitamines du groupe B (**Lindegren 1945**). Par rapport à l'enrichissement synthétique, l'enrichissement par des micro-organismes naturels producteurs de vitamines est largement reconnu comme plus sûr, plus naturel et plus respectueux de l'environnement (**LeBlancet al. 2011**).

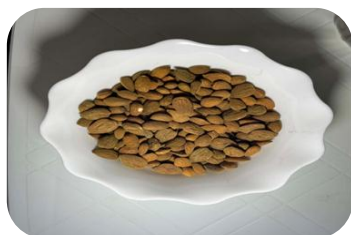
Matériels et méthodes

La présente étude a été menée au Laboratoire de Microbiologie Appliquée à l'Agroalimentaire et à l'Environnement (LAMAABE) département de Biologie de Tlemcen de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, à l'Université Abou Bakr Belkaid.

1. Préparation des échantillons

1.1 Fabrication du lait d'amande

La fabrication du lait d'amande a débuté par la préparation de la matière première à l'aide d'amandes préalablement moulues, lesquelles ont été mises en suspension dans de l'eau pour obtenir une concentration de 20%. Ce mélange a ensuite été broyé jusqu'à l'obtention d'une texture homogène, puis filtré afin de séparer la phase liquide des résidus solides. Le filtrat résultant, constituant le produit de base. Le produit a été soumis à une cuisson de 15 minutes après ébullition, avant d'être refroidi puis conservé à 4 °C jusqu'à son utilisation finale. D'après (Hasan, 2012). (Voir figure 7)



1 : Amande entières
(matière première)



2 : Trempage des
amandes dans l'eau



3 : La séparation des
pelures



4 : Extraction du lait
d'amande

Figure 7 : Protocole de fabrication du lait d'amande (Photo Personnel)

1.2 Préparation de la farine des graines de caroube

L'obtention de la farine de caroube a été réalisée en suivant la méthode (El Batal *et al.*, 2013) qui a été légèrement modifiée.

Matériels et méthodes

Les graines de caroube sont d'abord trempées dans de l'eau puis cette eau est chauffée à 100°C et laissée bouillir pendant 30 minutes. Cela rend les enveloppes plus souples des graines et donc permet de séparer plus facilement les trois parties de la graine (les enveloppes, l'endosperme et le germe). L'absorption d'eau par l'endosperme après traitement provoque une augmentation de son volume. Ensuite, il est récupéré, séché, puis broyé afin d'obtenir une farine de graines de caroube. (Voir figure8)

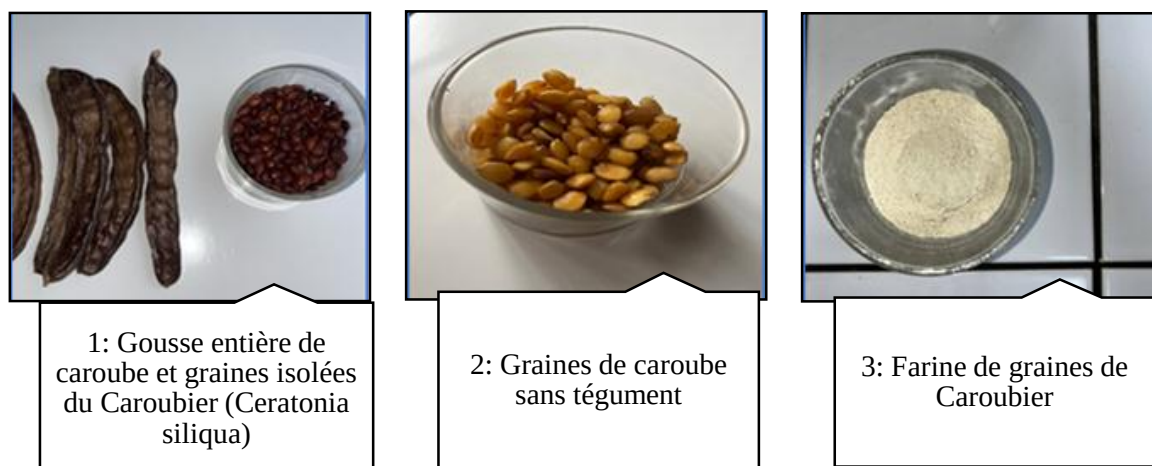


Figure 8 : Les étapes de préparation de la farine de caroube(Photo Personnelle)

1.3 Préparation du yaourt à base du lait d'amande

L'objectif de cette partie est d'améliorer les qualités organoleptiques de YA. Donc, le travail consiste à fabriquer un yaourt de qualité bien défini comme étant ferme, homogène, sans texture sableuse, avec une odeur et un goût agréable.

Le procédé de fabrication du YA est identique à celui de la fabrication du yaourt à partir du lait de vache. Ainsi, le diagramme présenté ci-après a été adopté en raison de sa simplicité. Six processus constituent le procédé de fabrication du YA :

- Incorporation de la farine des graines de caroube :** La farine des graines de caroube (0,2–1 % m/v) a été ajoutée progressivement directement dans le lait d'amande déjà froid avec une agitation continue, afin d'assurer une bonne dispersion et d'éviter la formation de grumeaux.
- La pasteurisation de lait d'amande :** Traitement thermique du lait d'amande à 80°C
- Refroidissement :** Le mélange a été refroidi jusqu'à une température de 42–45°C, température optimale pour l'activité des BL.

Matériels et méthodes

- d) **Ensemencement** : Le substrat a été ensuiteensemencé avec un mélange de cultures constitué de *Streptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus bulgaricus*, à une concentration de 0,1%
- e) **Incubation** : Le mélange a été incubé à 42 °C pendant 4 à 8 heures, jusqu'à ce que le pH atteigne environ 4,5
- f) **Refroidissement et stockage** : À la fin de la fermentation, les échantillons ont été refroidis et conservés à 4 °C au réfrigérateur jusqu'à leur analyse. (Voir figure9)



Figure 9 :Diagramme de fabrication du yaourt à base d'amande (**Photo Personnelle**)

1. Analyse physicochimique et microbiologique de lait d'amande et des échantillons de yaourt

1.1Caractérisations physicochimiques de lait et yaourt

2.1.1 Détermination de pH

Le pH a été mesuré selon la méthode de **Lapointe et Vignola (2002)**, à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné avec des solutions tampons de pH 4 et pH 7. Pour cette analyse, 10g de YA ont été ajoutés à 100 mL d'eau distillée, puis le mélange a été bien homogénéisé. L'électrode du pH-mètre a ensuite été immergée dans la solution, et la valeur du pH a été lue directement sur l'appareil.

2.1.2 Détermination de l'acidité titrable

Titration de l'acidité par l'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur. Dans un bécher, 10 mL de l'échantillon ont été placés, puis 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine ont été ajoutées comme indicateur. La solution a ensuite été titrée avec une solution de NaOH 0,1 N jusqu'à l'apparition d'une couleur rose stable. Le volume final de NaOH utilisé a été noté pour le calcul de l'acidité (Serres *et al.*, 1974). Les résultats sont exprimés en °D/g, sachant que 1 ml de soude utilisée correspond à 10 °D.

2.1.3 Détermination de la teneur en eau et en matière sèche

Dessiccation par évaporation d'une quantité déterminée de l'échantillon à une température contrôlée, suivie de la pesée du résidu sec.

La teneur en eau de l'échantillon a été déterminée selon une méthode inspirée d'Audigiet *et al.*, (1986), avec quelques modifications : un échantillon de 3 g a été placé dans une étuve réglée à 103 °C. Le séchage a été répété jusqu'à obtention d'un poids constant, en réduisant la durée de séchage à 30 min afin d'éviter la caramélisation. (AFNOR, 1985). La teneur en eau par rapport à la masse humide est calculée par la formule suivante :

$$\text{EST (\%)} = [(P_3 - P_1) / (P_2 - P_1)] \times 100$$

$$\text{Hr (\%)} = 100 - \text{EST}$$

Où :

- **EST** : teneur en extrait sec total (%).
- **P1** : masse de la boîte vide (g).
- **P2** : masse de la boîte contenant l'échantillon avant dessiccation (g).
- **P3** : masse finale de la boîte contenant l'échantillon après dessiccation (g).

2.1.4 Détermination du taux de sucres

La teneur en sucres totaux a été dosée par la méthode au phénol-acide sulfurique. Le principe repose sur la déshydratation des oses en présence de phénol, formant des composés colorés. Brièvement, 0,5 ml d'une solution de phénol à 5 % a été ajouté à 0,5 ml de la solution à analyser. Après agitation, 2,5 ml d'acide sulfurique concentré ont été ajoutés. Les tubes ont été laissés à l'obscurité pendant 30 minutes, puis l'absorbance a été mesurée à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Une courbe d'étalonnage, préparée avec des solutions de glucose de concentrations connues (0,02 à 1 mg/ml), a permis de déterminer la concentration en sucres de l'échantillon. (Voir annexe4)

2.1.5 Détermination de taux des protéines (Test de Biuret)

Matériels et méthodes

Pour l'analyse, 1 g de yaourt et 1 mL de lait ont été prélevés séparément, puis chacun a été mélangé à 10 mL d'eau distillée. Le mélange a été agité vigoureusement pendant 10 minutes afin d'assurer une bonne homogénéisation. Il a ensuite été centrifugé à 4000 rpm pendant 10 minutes. Le surnageant obtenu a été récupéré puis filtré afin d'éliminer les particules solides.

Dans chaque tube, 1 mL de l'échantillon filtré ou de la solution étalon a été introduit. Ensuite, 3 mL de réactif de Biuret ont été ajoutés. Le mélange a été bien agité, puis laissé au repos pendant 10 minutes à température ambiante afin de permettre le développement de la coloration.

L'absorbance a été mesurée à 540 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les valeurs obtenues ont été comparées à celles de la courbe d'étalonnage (voir annexe5), établie à partir d'une solution standard de protéines d'albumine de sérum bovin (BSA) à 1 mg/mL afin de déterminer la concentration en protéines des échantillons analysés.

2.1.6 Synérèse

Les échantillons ont été stockés à 4 °C. le volume de sérum séparé à la surface d'un yaourt est déterminé après 15 jours de stockage (**Koksoy et KiLic, 2004**). Le sérum à la surface a été séparé à l'aide d'une pipette graduée, puis son volume a été mesuré en millilitres (mL).

$$\text{Syneresis (\%)} = \frac{\text{volume de sérum séparé (mL)}}{\text{volume total de yaourt (mL)}} \times 100$$

2.2 Analyse microbiologique

2.2.1 Préparation des dilutions décimales

Une série de dilutions décimales a été réalisée à partir de l'échantillon homogénéisé (yaourt), en utilisant l'eau peptonée (EP). Voir Figure 10.

L'échantillon de yaourt a été homogénéisé. Ensuite, 1 mL a été prélevé à l'aide d'une pipette graduée et introduit aseptiquement dans un tube contenant 9 mL d'EP, correspondant à la dilution 10^{-1} . Le tube a été agité afin d'assurer une distribution homogène des microorganismes.

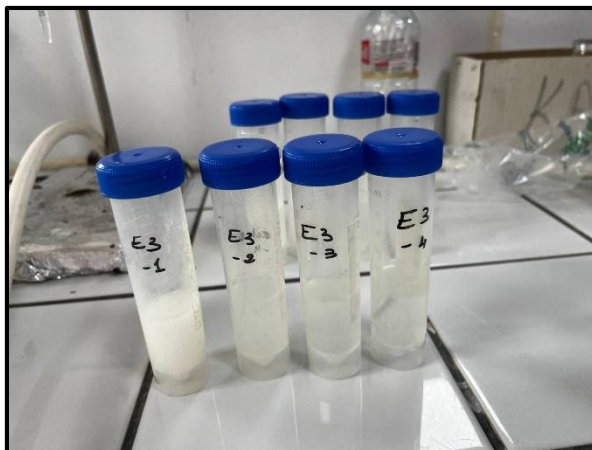


Figure 10 : Préparation de la dilution des échantillons

2.2.2 Dénombrement des levures et moisissures

Le dénombrement des levures et moisissures a été réalisé par ensemencement en profondeur. Un volume de 1 mL de la solution a été inoculé dans des boîtes de Pétri contenant la gélose Sabouraud. Après solidification, les boîtes ont été incubées à 25°C pendant une durée de 5 à 7 jours(Rachedi, 2021).

2.2.3 Recherche des coliformes totaux et fécaux

Le dénombrement des coliformes totaux et fécaux a été effectué sur le milieu sélectif Gélose Lactosée Biliée au Cristal Violet et au Rouge Neutre (VRBL), permettant la fermentation des sucres par ces microorganismes. Un volume de 1 mL de l'échantillon a été déposé dans une boîte de Pétri stérile. Ensuite, environ 15 mL de milieu VRBL fondu et tempéré ont été ajoutés. Le mélange a été homogénéisé par des mouvements circulaires. Les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 48 heures pour les coliformes totaux et à 42°C pour les coliformes fécaux.

2.2.4 Dénombrement des bactéries lactiques viables (La durée de vie)

Le dénombrement des BL a été réalisé afin de vérifier la qualité microbiologique du yaourt. Un volume de 1 mL de la dilution appropriée a été déposé en profondeur dans une boîte de milieu De Man, Rogosa et Sharpe (MRS). Les boîtes ont été incubées à 42 °C pendant 24 à 48 heures et jusqu'à 5 jours.

2.2.5 Méthodologie analytique et expression des résultats

Les analyses physico-chimiques et les analyses microbiologiques ont été réalisées en double. Le dénombrement des micro-organismes viables, exprimé en unités formatrices de

Matériels et méthodes

colonies par millilitre (UFC/mL) a été calculé selon la norme **NF ISO 7218/A1 (2001)** en appliquant la formule suivante :

Formule : $N = \Sigma C / [(V \times n_1) + (0,1 \times n_2 \times d)]$

- N : Nombre de micro-organismes par millilitre (UFC/mL).
- ΣC : Somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues.
- V : Volume de l'inoculum appliqué par boîte (en mL).
- n_1 : Nombre de boîtes retenues pour la première dilution.
- n_2 : Nombre de boîtes retenues pour la deuxième dilution

Pour calculer DLC de yaourt les analyses microbiologiques ont été répétées dans des intervalle déterminé après J1, J7, J14, J21, accompagné par le dosage de l'acidité et le pH.

3. Suivi de la cinétique de fermentation

3.1 Inoculation des ferments

Le mélange, composé de lait d'amande et de la gomme de caroube que nous avons préparée auparavant, a été inoculé avec les ferments lactiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* puis soumis à la fermentation.

3.2 Suivi de la cinétique d'acidification

Le suivi de cinétique de fermentation a été réalisé en mesurant le pH et l'acidité des échantillons au cours du temps pendant la fermentation. Les échantillons ont été incubés à 42 °C, l'acidité et le pH ont été mesuré toutes les 60 minutes, jusqu'à atteindre une valeur de pH= **3,6 à 4,8**, tandis que l'acidité titrable varie selon la formulation et la fermentation (**Part et al., 2023**).

Les valeurs obtenues ont ensuite permis de tracer une courbe représentant l'évolution du pH et l'acidité en fonction du temps ($pH = f(t)$ et $acidité = f(t)$).

4. Analyse sensorielle

Une analyse sensorielle a été réalisée avec un panel de 13 dégustateurs non avertis, comprenant des enseignants et des étudiants de laboratoire LAMAABE, âgés de 22 à 60 ans. Chaque participant a reçu trois échantillons de « YAOURT » différents par la quantité de « la gomme de caroube » utilisée. Une fiche d'évaluation a été fournie pour noter les attributs sensoriels des yaourts selon l'odeur, la saveur, l'acidité et la texture. Un test hédonique a été appliqué afin d'établir un profil sensoriel à partir des résultats recueillis. (Voir annexe 7)

Résultats et discussions

1. Caractérisation des produits préparés

1.1 Présentation de lait d'amande

Le lait d'amande obtenu est d'une couleur blanche, d'un aspect homogène et d'une texture fluide. En matière de sensorialité, il se distingue par sa douceur, avec une légère note végétale et un arôme d'amande. En général, le produit final est estimé acceptable. (Voir figure11)



Figure 11 : Échantillon de lait d'amande (Photo personnelle)

1.2 Présentation des yaourts obtenus

Le yaourt préparé au labo est un produit fermenté à base du lait d'amande enrichi en FGN, ce mélange d'ingrédients naturels à haute valeur nutritionnelle et technologique présentant des caractéristiques proches de celles d'un yaourt traditionnel.

Les yaourts obtenus présentent une couleur blanche, avec une apparence globalement homogène. Le yaourt témoin sans ajout de farine de graines de caroube présente une texture semi-ferme accompagnée d'une séparation visible de lactosérum ; les échantillons enrichis en FGN présentent une texture plus ferme et plus stable (Voir figure12). Le yaourt témoin a été utilisé uniquement à des fins de comparaison de la texture des produits obtenus.

L'odeur reste globalement celle d'un yaourt classique. Les formules contenant de la FGN ont une légère note végétale, avec des subtiles nuances qui rappellent l'amande et les graines de caroube. Cependant, l'odeur des graines demeure très légère et ne modifie pas l'odeur générale du produit.



Figure 12 : Présentation visuelle des échantillons de yaourts au lait d'amande enrichis par la farine de graines de caroube (**Photo personnelle**)

2. Résultats des analyses physico-chimiques du lait et du yaourt végétal

Cette étude révèle des variations dans la composition biochimique du yaourt végétal. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 5 et la figure14.

Tableau 5 : Résultats des paramètres physico-chimiques du lait d'amande et des trois échantillons de yaourt végétal

Paramètres	Le lait d'amande	E1 (0,25%)	E2 (0,5%)	E3 (0,75%)
Ph	6,6	$3,95 \pm 0,01$	$3,98 \pm 0,01$	$3,4 \pm 0$
Acidité (°D)	7	44 ± 2	$46,5 \pm 2,5$	42 ± 1
Matière sèche	$6,86 \pm 0,88$	$8,66 \pm 0,02$	$15,35 \pm 0,09$	$14,46 \pm 0,18$
Protéines	$0,01125 \pm 0,00014$	$0,00136 \pm 0,00008$	$0,00874 \pm 0,00300$	$0,00119 \pm 0,00031$
Glucides	$1,43 \pm 0,10$	$1,53 \pm 0,07$	$1,50 \pm 0,17$	$1,56 \pm 0,09$
Synérèse	/	5,625%	2,125%	0,5%
Densité (g/cm³)	1,023	/	/	/

2.1 Le pH

Les résultats du pH des yaourts végétaux enrichis par la FGC montrent une diminution des valeurs après la fermentation(voir figure 13). Le lait d'amande présente un pH de 6,6, tandis que les échantillons de yaourt végétal enrichi affichent des valeurs de $3,95 \pm 0,01$ pour l'échantillon 1 (0,25%), $3,98 \pm 0,01$ pour l'échantillon 2 (0,5%) et $3,4 \pm 0$ pour l'échantillon 3(0,75%). Le pH du lait d'amande obtenu dans notre étude est en concordance avec les

résultats par **Daszkiewicz et al. (2024)** où le pH des boissons végétales est situé entre 6,28 et 7,45. Après fermentation, une diminution notable du pH a été observée, traduisant l'activité des bactéries lactiques et la production d'acide lactique. Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par l'étude de **Part et al., (2023)**, où les substituts de yaourt végétal présentaient des valeurs de pH comprises entre 3,6 et 4,8 après fermentation. Les valeurs les plus faibles observées dans notre étude, notamment pour l'échantillon 3 (pH = 3,4), pourraient être liées à la concentration la plus élevée en graines de caroubes favorisant l'activité fermentaire des bactéries lactiques et la production d'acide lactique.



1 : pH



2 : Acidité



3 : Matière sèche



4 : Synérèse

Figure 13 : Résultats des analyses physico-chimiques (Photos Personnelles)

2.2 L'acidité titrable

L'acidité titrable du lait d'amande élaboré dans notre étude était de 7 °D. Cette valeur est comparable à celle rapportée par **Dąbrowski et al. (2022)**, qui ont observé une acidité titrable comprise entre 7 et 8 °D pour des boissons végétales témoins non fermentées. Les yaourts végétaux enrichis en FGC affichent des valeurs plus élevées, soit 44 ± 2 °D pour l'échantillon 1, $46,5 \pm 2,5$ °D pour l'échantillon 2 et 42 ± 1 °D pour l'échantillon 3. L'acidité est plus élevée dans les yaourts contenant des graines de caroube. Cela peut s'expliquer par une activité plus importante des BL, qui produisent de l'acide lactique pendant la fermentation. Les résultats obtenus peuvent être comparés à ceux rapportés dans la littérature sur les yaourts végétaux commerciaux, où l'acidité titrable varie généralement entre 12 et 78 °D. Les valeurs obtenues dans notre étude restent dans cet intervalle, ce qui confirme la

cohérence des résultats. L'acidité observée dépend fortement de la composition de la matrice végétale et de l'activité des BL durant la fermentation (**Grasso et al., 2020**).

2.3 La matière sèche

La teneur en matière sèche de notre lait d'amande obtenue dans cette étude ($6,86 \% \pm 0,88\%$) est inférieure à celle du lait de vache généralement d'environ 11,8 % selon la littérature, notamment d'après **Kalyankaret al. (2016)**, cette différence s'explique par la faible teneur en solides des boissons végétales comparées au lait de vache, naturellement plus riche en protéines, lipides et lactose. Les variations de composition ont entraîné des teneurs en matières sèches totales différentes dans les échantillons de YA. Les échantillons enrichis en FGC, aux concentrations de 0,5 % et 0,75 %, ont présenté les teneurs en matières sèches totales les plus élevées, avec des valeurs comprises entre $14,46\% \pm 0,18\%$ (échantillon 3) et $15,35\% \pm 0,09\%$ (échantillon 2). Tandis que l'échantillon 1, enrichi à 0,25 % en FGC, présentait la teneur en matières sèches totales la plus faible ($8,66\% \pm 0,02\%$) parmi tous les échantillons.

Ce phénomène a déjà été observé dans les yaourts laitiers par **Rinaldoni et al. (2012)**, qui ont constaté une variation de la teneur en matière sèche totale de différents yaourts laitiers, principalement due à la standardisation du lait cru. Dans notre cas, les variations de la matière sèche peuvent être dues à la composition des formulations, notamment à la présence de FGC, qui est riche en fibres et en polysaccharides.

2.4 Les sucres

Le lait d'amande a présenté la plus faible teneur en sucres ($1,43\text{g} \pm 0,10\text{g}$), ce qui pourrait s'expliquer par l'absence de FGC dans sa formulation. En revanche, les échantillons de yaourt ont montré des teneurs légèrement plus élevées, comprises entre 1,50 et 1,56 g. Cette légère augmentation pourrait être liée à l'incorporation de la FGC reconnue pour sa richesse en sucres et en polysaccharides, notamment les galactomannanes présents dans les graines (**Zhu et al., 2019**). Les teneurs en sucres obtenues dans nos échantillons sont relativement faibles par rapport aux valeurs rapportées dans la littérature pour les YA. En effet, **Devnani et al., (2022)** ont rapporté des teneurs en glucides totaux comprises entre 4 à 7 % p/p, principalement dues à l'ajout de sucres lors de la formulation commerciale.

2.5 Synérèse

Le tableau 5 montre l'évolution des taux de synérèse de yaourts auxquels ont été ajoutées différentes quantités de FGC. La synérèse passée de 5,625 % pour l'échantillon 1 (0,25 % de farine de graines de caroube) à 0,5 % pour l'échantillon 3 (0,75 % de farine de graines de caroube). La diminution du taux de synérèse était proportionnelle à l'augmentation de la concentration en farine de graines de caroube. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Dönmez *et al.* (2017)**, qui ont également observé une diminution de la synérèse avec l'augmentation de la concentration de l'ingrédient incorporé dans le yaourt.

2.6 Protéines

La teneur en protéines du lait d'amande utilisé comme base dans cette étude est de $0,01125 \pm 0,00014$ g. Cette valeur reste globalement faible, ce qui est en accord avec les données de la littérature, qui indiquent que les laits végétaux issus d'oléagineux, notamment le lait d'amande, sont naturellement pauvres en protéines en comparaison avec le lait animal ou le soja (**Yadav *et al.*, 2026**).

Après transformation en yaourt avec ajout de FGC, elle varie selon la concentration utilisée, avec des valeurs de $0,00136 \pm 0,00008$ g (0,25 %), $0,00874 \pm 0,00300$ g (0,5 %) et $0,00119 \pm 0,00031$ g (0,75 %). La diminution apparente de la teneur en protéines dans les produits fermentés par rapport au lait d'amande de départ peut être expliquée par les modifications structurales des protéines induites lors de la fermentation, notamment leur dénaturation et leur implication dans la formation du réseau gélifié. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Zhao *et al.* (2021)**, qui montrent que la coagulation des protéines s'accompagne de la formation d'une matrice gélatineuse à mesure que les protéines se dénaturent à un pH compris entre 4,5 et 5,5.

2.7 La densité

La densité obtenue dans notre étude pour le lait d'amande est de 1,023, Cette valeur est en parfaite adéquation avec les données de **Kiran *et al.* (2026)**, les auteurs ont rapporté une densité de $1.01 \pm 0,01$ pour le lait d'amande.

3. Résultats des analyses microbiologiques du lait et du yaourt végétal

3.1 Évaluation des microorganismes indésirables

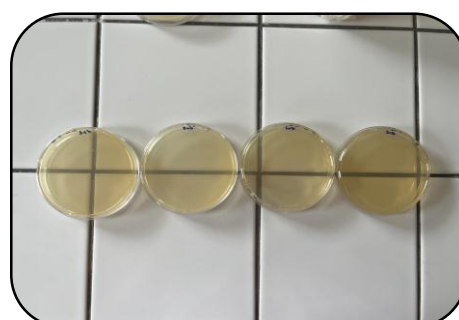
Le tableau 6 présente les résultats des analyses microbiologiques réalisées pour le lait et les échantillons au cours du stockage du yaourt végétal (1er, 7e, 15e et 21e jour). Les

résultats obtenus montrent une qualité microbiologique satisfaisante des trois échantillons, caractérisée par l'absence de coliformes totaux, de coliformes fécaux ainsi que de levures et moisissures durant toute la période de conservation. (Voir figure 14)

Cette absence de la flore pathogène est probablement due à la pasteurisation ou peut s'expliquer par l'effet inhibiteur du pH sur la croissance des micro-organismes, ces derniers étant sensibles à un pH acide. La diminution du pH est due à l'action des bactéries lactiques. Cela indique que la production de yaourt dans des conditions spécifiques est bénéfique pour la santé et qu'elle est bien conservée au froid (Conte, 2008).



(A) Coliformes



(B) Levures et Moisissures

Figure 14 : Résultats des analyses microbiologiques (Photo personnelle)

3.2 Évaluation des bactéries lactiques

Malgré la gélification observée, témoignant d'une activité fermentaire des bactéries lactiques, l'absence de colonies sur milieu MRS pourrait être liée à un état de stress physiologique des cellules bactériennes. En effet, les cellules bactériennes réagissent généralement aux conditions de stress en perdant leur capacité à former des colonies sur des milieux de culture standard, bien qu'elles puissent rester viables pendant de longues périodes (Pazos-Rojas *et al.*, 2024). De plus, ce phénomène pourrait également être lié au caractère stressant du milieu végétal pour certaines bactéries lactiques. Selon une étude réalisée sur *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* dans le lait de soja, les cellules bactériennes présentaient des signes de stress accompagnés d'une diminution des mécanismes de division cellulaire, ce qui pourrait entraîner une faible multiplication bactérienne et donc une absence de colonies détectables sur milieu de culture (Jan *et al.*, 2022).

Tableau 6 : Analyse microbiologique des trois échantillons du yaourt végétal

Bactéries (UFC/g)	Échantillons			
	E1	E2	E3	Le lait
Coliformestotaux	0 ufc/g	0 ufc/g	0 ufc/g	0 ufc/g
Coliformesfécaux	0 ufc/g	0 ufc/g	0 ufc/g	0 ufc/g
Levures et moisissures	0 ufc/g	0 ufc/g	0 ufc/g	0 ufc/g
La flore lactique	/	/	/	/

4. Etude de la cinétique de fermentation des yaourts préparés

La figure 15 présente l'évolution du pH et de l'acidité des trois échantillons de yaourt végétal à base de lait d'amande au cours de la fermentation, formulés avec différentes concentrations de FGC (0,25 %, 0,50 % et 0,75 %). Les résultats montrent une diminution progressive du pH pendant l'incubation, ce qui indique une acidification liée à l'activité des BL. D'après **Yaakob et al.**, les valeurs de pH des yaourts fabriqués à partir de lait de coco est d'environ 5 après la fermentation. Pour les produits de type yaourt à base de lait de soja, les valeurs de pH atteignent environ 4 (**Granata et Morr, 1996 ; Yaakob et al., 2012**), tandis que les YA, présentent également des valeurs de pH d'environ 4 à la fin de la fermentation (entre 4,43 et 4,84) (**Bernat et al., 2015**). Cependant, dans notre étude, le pH initial d'environ 6,6 a diminué progressivement pour atteindre des valeurs proches de 3 après 9 heures 30 minutes d'incubation, indiquant une acidification plus importante que celle généralement rapportée dans la littérature. Cette baisse du pH observée pourrait être liée, en partie, à la présence de la FGC. Ces résultats montrent que cette farine n'a pas empêché la fermentation ni la baisse du pH, ce qui est observé par **Froio et al. (2020)**. Parallèlement, l'acidité titrable augmente de manière significative dans les trois échantillons, évoluant d'une valeur initiale faible comprise entre 10 et 12 °D au début de l'incubation, pour atteindre des valeurs élevées situées entre 52,5 et 65 °D après 9 heures d'incubation. Cette évolution traduit une production accrue d'acides organiques, principalement l'acide lactique. En comparaison, l'étude de **Devnani et al., (2022)**, réalisée sur des YA, a rapporté des valeurs d'acidité titrable comprises entre 37°D et 70°D. Ainsi, nos valeurs s'inscrivent également dans cet intervalle.

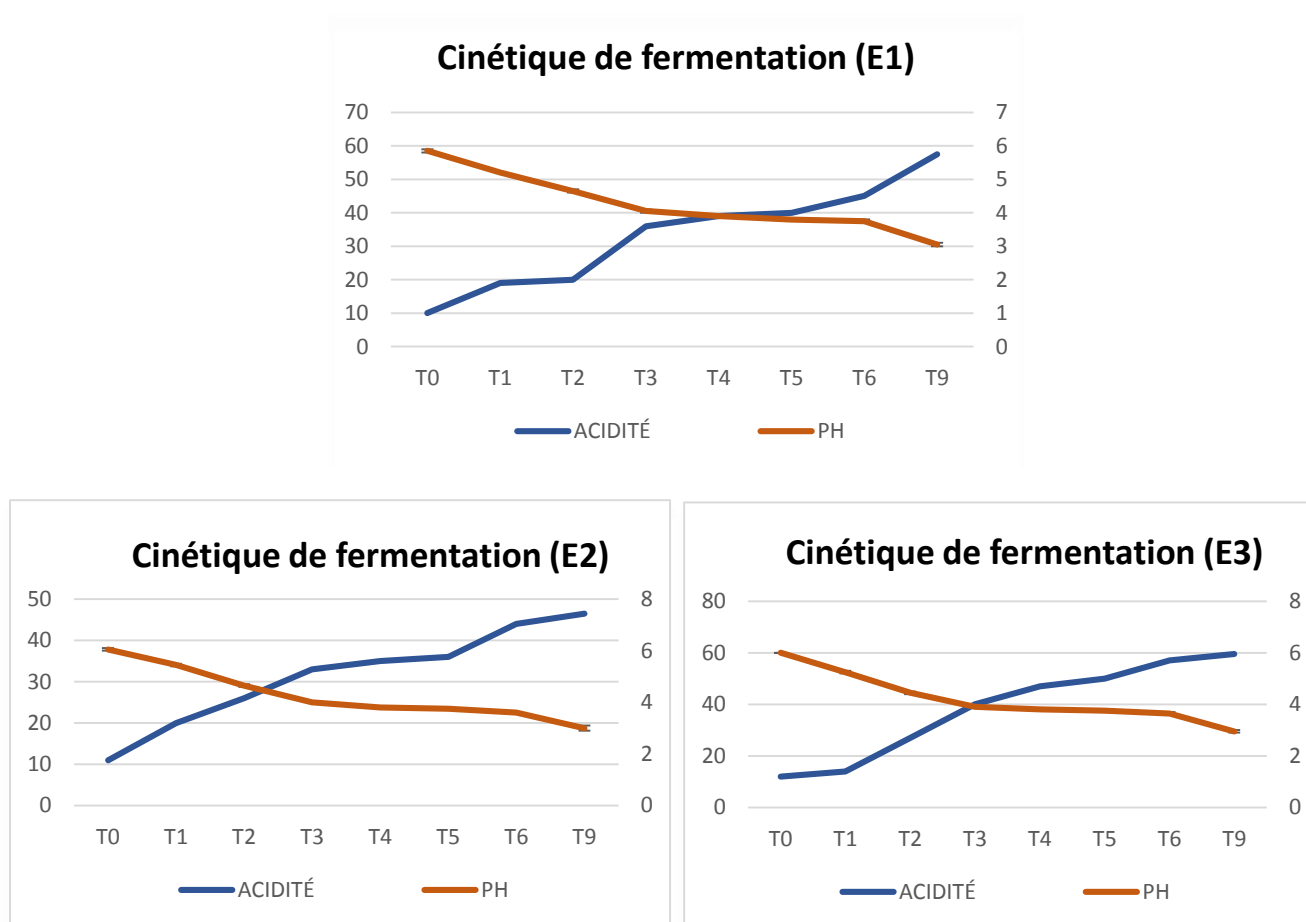


Figure 15 : Évolution du pH et de l'acidité au cours de la fermentation des yaourts végétaux

5. Suivi de la cinétique d'acidification

Le suivi des changements de pH et de l'acidité titrable depuis le premier jour de la préparation du yaourt, puis tous les 7 jours pendant la conservation sont présentés dans la figure 16

Les résultats du pH montrent une diminution progressive au cours des 21 jours. Au premier jour, les valeurs du pH variaient entre $3,4 \pm 0,05$ et $3,955 \pm 0,01$. Après 7 jours de conservation, les valeurs ont diminué pour atteindre des niveaux compris entre $2,85 \pm 0,01$ et $3,15 \pm 0,05$. Cette diminution s'est poursuivie au 14e jour avec des valeurs proches de $3,05 \pm 0,05$. Au 21e jour, les valeurs du pH sont restées relativement stables entre $3,15 \pm 0,05$ et $3,25 \pm 0,05$.

Cette baisse du pH est liée à l'activité des BL qui produisent de l'acide lactique durant la fermentation. La diminution du pH pendant la conservation des produits fermentés a

également été rapportée par **Tamime et Robinson (2007)**, qui expliquent ce phénomène par la poursuite de la fermentation même à basse température.

Les résultats de l'acidité montrent une augmentation progressive. Au premier jour, les valeurs de l'acidité variaient entre 42 ± 1 et $46,5 \pm 2,5$. Après 7 jours, l'acidité a augmenté pour atteindre des valeurs comprises entre $45,5 \pm 0,5$ et $48,5 \pm 2,5$. Au 14e jour, certaines valeurs ont atteint $56,5 \pm 0,5$. À la fin du stockage (21e jour), l'acidité variait entre $50,5 \pm 4,5$ et 56 ± 1 . Cette augmentation de l'acidité s'explique par la production continue d'acides organiques, par les BL. Ce phénomène de post-acidification est fréquent dans les produits fermentés et contribue à la stabilité microbiologique du produit. Des résultats similaires ont été observés par **Shori (2013)** dans les yaourts végétaux conservés au froid.

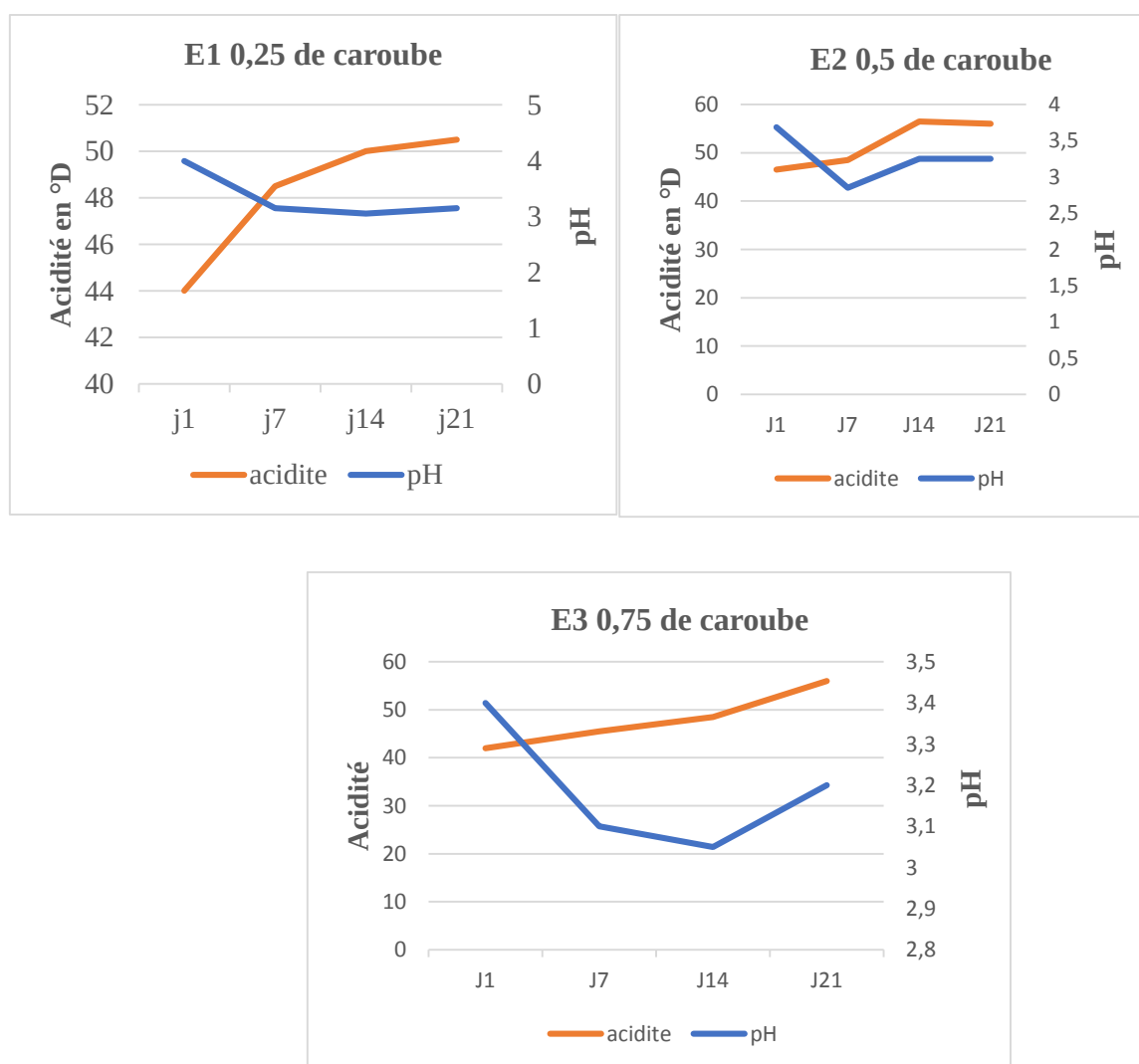


Figure16: Suivi de la cinétique durant la période de conservation

6. Évaluation sensorielle des échantillons de yaourt

Le diagramme en radar (Figure 17) présente les résultats de l'évaluation hédonique des trois yaourts végétaux formulés après optimisation. Ce graphique illustre l'effet de l'incorporation de la FGC à différentes concentrations (Échantillon 1 : 0,25 % ; Échantillon 2 : 0,5 % ; Échantillon 3 : 0,75 %) sur l'appréciation globale des consommateurs.

Les critères ayant obtenu des scores très faibles ou n'ayant montré aucune différence notable entre les échantillons n'ont pas été intégrés dans le diagramme afin d'en faciliter la lecture.

L'échantillon 2 (0,5 % de FGC) a obtenu la meilleure appréciation pour l'aspect visuel, avec une note proche de 4/5. Les dégustateurs ont jugé cet échantillon plus attractif et plus agréable à regarder. Cette amélioration pourrait être attribuée à l'effet stabilisant de la FGC, qui confère au produit une apparence plus homogène. Ces observations sont en accord avec celles rapportées par **Tu (2010)**.

Concernant la texture en bouche, les trois formulations ont reçu des notes d'appréciation relativement proches, comprises entre 3 et 4. Les dégustateurs ont particulièrement apprécié le caractère crémeux des échantillons ainsi que l'absence de dépôt ou de sensation granuleuse. Ces résultats confirment l'acceptabilité de la texture obtenue grâce à l'ajout de la FGC.

L'évaluation de l'odeur et de l'arôme révèle une augmentation progressive de l'appréciation avec l'élévation de la concentration en FGC. L'échantillon 3 (0,75 %) a obtenu les notes les plus faibles, tandis que l'échantillon 2 (0,5 %) a été davantage apprécié pour ses caractéristiques aromatiques.

L'amertume a été jugée faible et acceptable pour l'ensemble des formulations. L'échantillon 2 (0,5 %) a présenté le profil gustatif le plus apprécié, avec une saveur plus prononcée et une acidité légèrement perceptible mais bien acceptée par les dégustateurs. Toutefois, en considérant l'ensemble des critères évalués, l'échantillon 2 a obtenu la meilleure acceptabilité globale et a été classé comme l'échantillon préféré des dégustateurs.

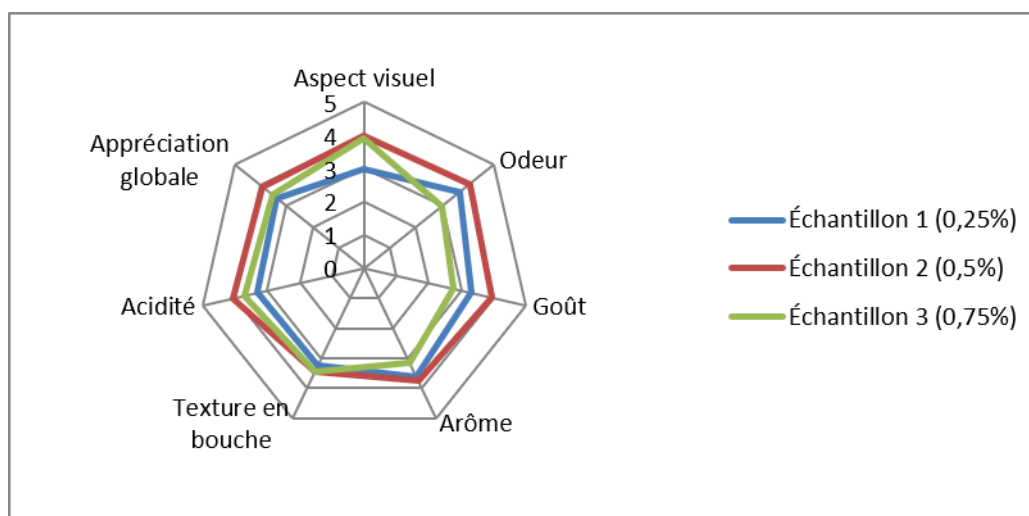


Figure 17 : Profil sensoriel comparatif des trois échantillons de yaourt végétal

7. Évaluation de l'acceptabilité des échantillons par les consommateurs

Le graphique de la figure 18 présente la répartition des réponses des consommateurs concernant l'intention de consommation des trois échantillons de yaourts végétal selon quatre modalités d'appréciation : « Oui certainement », « Probablement », « Probablement pas » et « Jamais ».

De manière générale, les résultats montrent une prédominance des intentions positives de consommation, comme en témoigne l'absence totale de réponses dans la catégorie « Jamais » pour les trois échantillons.

L'échantillon 2 se distingue par le pourcentage le plus élevé de réponses « Oui certainement » (environ 61 %), traduisant une forte acceptabilité auprès des consommateurs. Cette proportion est nettement supérieure à celles observées pour les échantillons 1 et 3, qui enregistrent respectivement environ 8 % et 15 %.

Concernant la catégorie « Probablement », l'échantillon 1 présente la valeur la plus élevée (près de 69 %), suivi de l'échantillon 3 (45 %) puis de l'échantillon 2 (30 %). Ces résultats indiquent que les consommateurs sont globalement favorables à la consommation de ces produits, bien que leur niveau de certitude varie selon l'échantillon.

Résultats et Discussions

Pour la modalité « Probablement pas », l'échantillon 3 affiche la proportion la plus importante (environ 38 %), suivi de l'échantillon 1 (22 %), tandis que l'échantillon 2 présente la valeur la plus faible (8 %). Cela suggère que l'échantillon 2 est le mieux accepté parmi les trois formulations étudiées.

Dans l'ensemble, les résultats mettent en évidence une meilleure intention de consommation pour l'échantillon 2, tandis que l'échantillon 3 suscite davantage d'hésitation de la part des consommateurs.

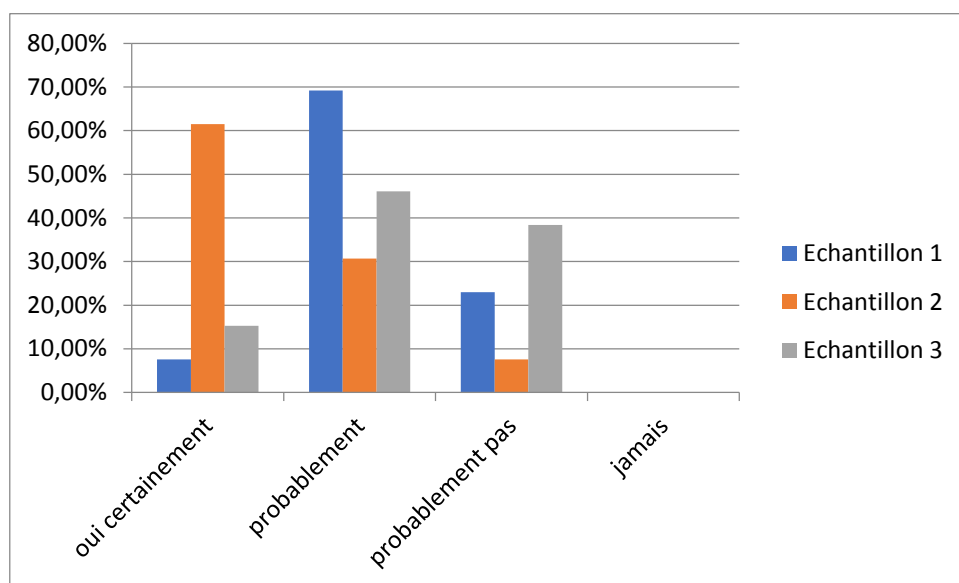


Figure 18 : L'intention de consommation des trois échantillons

Conclusion

Conclusion

Cette étude a permis de développer un YA enrichi en graines de caroube de différentes concentrations (0,25% _ 0,5% _ 0,75%) et d'évaluer ses caractéristiques physicochimiques, microbiologiques et sensorielles. Les résultats obtenus ont montré que le lait d'amande constitue une matrice adaptée à la fermentation, permettant le développement des bactéries lactiques et la formation d'une structure gélifiée capable de retenir l'eau et d'améliorer la texture du produit.

L'ajout des graines de caroube a contribué à l'amélioration de la viscosité et de la stabilité du yaourt végétal, tandis que l'évolution du pH et de l'acidité au cours du stockage a confirmé le bon déroulement du processus fermentaire. Les analyses microbiologiques ont révélé une qualité sanitaire satisfaisante du produit tout au long de la période de conservation.

L'évaluation sensorielle a montré une acceptabilité globale favorable, indiquant que ce yaourt végétal peut constituer une alternative intéressante aux yaourts traditionnels. Toutefois, des améliorations restent possibles, notamment au niveau de la texture, de l'arôme et de la formulation, afin d'optimiser davantage ses qualités organoleptiques et sa stabilité durant le stockage.

En perspectives,

- Approfondir la compréhension microscopique des interactions entre les galactomannanes (les fibres de la caroube) et les protéines du lait d'amande lors de la gélification acide.
- Réalisée des études complémentaires portant sur l'enrichissement nutritionnel, l'utilisation de différentes souches probiotiques (comme *Lactobacillus acidophilus* ou *Bifidobacterium*) ;
- L'optimisation de la formulation pourraient contribuer au développement de produits végétaux innovants répondant aux attentes croissantes des consommateurs en matière d'alimentation saine et durable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Aït A K, & Djellouli, D. (2020).** *Optimisation et caractérisation d'une préparation laitière industrielle (yaourt brassé)* (Mémoire de fin de cycle, pp. 11–12)
- AlbanellTrullàs, E. (1990).** *Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (Ceratoniasiliqua L.) cultivadas en España* [Doctoral dissertation, Universitat Autònoma de Barcelona]. Barcelona, Spain. <https://ddd.uab.cat/record/64169>
- Amrouche, F. (2020).** Les laits végétaux ou véganes. *Génie Alimentaire*. <https://genie-alimentaire.com/spip.php?article294>
- Association française de normalisation. (1985).** *Contrôle de la qualité des produits laitiers : analyses physiques et chimiques* (3e éd., pp. 107–121, 125, 167, 251). AFNOR, Paris.
- Audigie, C., Figarella, J., & Zonszain, F. (1986).** *Manipulations d'analyse biochimique*. Doin, Paris.
- Axelsson, L. (1998).** Lactic acid bacteria: Classification and physiology. In S. Salminen & A. von Wright (Eds.), *Lactic acid bacteria: Microbiology and functional aspects* (2nd ed.). Marcel Dekker, New York, NY.
- Aydar, E. F., Tutuncu, S., & Ozcelik, B. (2020).** Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, 103975. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975>
- Batista, M. T., Amaral, M. T., & Proença Da Cunha, A. (1996).** Carob fruits as source of natural antioxidant. In *Proceedings of the III International Carob Symposium* (pp. 19–23). Cabanas-Tavira, Portugal.
- Béal, C., & Sodini, I. (2003).** Fabrication des yaourts et des laits fermentés (F6315). *Techniques de l'Ingénieur*. <https://doi.org/10.51257/a-v1-f6315>
- Benahmed-Djilali, A. (2012).** *Analyse des aptitudes technologiques de poudres de dattes (Phoenix dactylifera L.) améliorées par la spiruline : Étude des propriétés rhéologiques, nutritionnelles et antibactériennes* [Doctoral dissertation, Université M'hamed Bougara de Boumerdès]. Boumerdès, Algérie. <https://dspace.univ-boumerdes.dz/items/68ad69a5-a956-4ac5-85be-13db7c4eb5a4>
- Benmahioul, B., Kaïd-Harche, M., & Daguin, F. (2011).** Le caroubier (*Ceratoniasiliqua L.*), une espèce méditerranéenne à usages multiples. *Forêt Méditerranéenne*, 32(1), 51–58.

- Bentley, R., & Meganathan, R. (1982).** Biosynthesis of vitamin K (menaquinone) in bacteria. *Microbiological Reviews*, 46(3), 241–280. <https://doi.org/10.1128/mr.46.3.241-280.1982>
- Bernat, N., Cháfer, M., Chiralt, A., & González-Martínez, C. (2015).** Development of a non-dairy probiotic fermented product based on almond milk and inulin. *Food Science and Technology International*, 21(6), 440–453. <https://doi.org/10.1177/1082013214543705>
- Bintsis, T. (2018).** Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *AIMS Microbiology*, 4(4), 665–684. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.665>
- Bordenave, G. (2003).** Louis Pasteur (1822–1895). *Journal of Microbes and Infection*, 5(6), 553–556.
- Bottazzi, V., & Battistotti, B. (1972).** Influence des souches seules et associées de *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* dans le yaourt. *Le Lait*, 52, 295–305
- Bouzouita, N., Khaldi, A., Zgoulli, S., Chebil, L., Chekki, R., Chaabounia, M. M., & Thonart, P. (2007).** The analysis of crude and purified locust bean gum. *Food Chemistry*, 101, 1508–1515.
- Carnier, C., Bouriot, S., & Doublier, J. L. (2004).** Rôles des hydrocolloïdes en milieu laitier : Influence de l'environnement ionique. In *Minéraux et produits laitiers* (pp. 391–408). Lavoisier / Tec & Doc.
- Carrefour. (n.d.).** Produits de yaourts végétaux disponibles sur le marché [Photographie]. <https://www.carrefour.fr>
- Conte, S. (2008).** Évolution des caractéristiques organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques du lait caillé traditionnel (Mémoire de DEA en production animale, École Inter-États des Sciences et Médecine Vétérinaires [EISMV], Dakar).
- Corrieu, G., & Luquet, F. M. (2008).** *Bactéries lactiques et probiotiques* (2e éd.). Lavoisier, Tec & Doc.
- Craig, W. J., & Brothers, C. J. (2021).** Nutritional content and health profile of non-dairy plant-based yogurt alternatives. *Nutrients*, 13(11), 4069. <https://doi.org/10.3390/nu13114069>
- Cruz Alcedo, G. E. (1999).** *Production and characterisation of Prosopis seed galactomannan* [Doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich]. ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-003838586>

- D'Andrea, A. E., Kinchla, A. J., & Nolden, A. A. (2023).** A comparison of the nutritional profile and nutrient density of commercially available plant-based and dairy yogurts in the United States. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1195045. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1195045>
- Dąbrowski, G., Paulauskienė, A., Baltušnikienė, A., Kłębukowska, L., Czaplicki, S., & Konopka, I. (2022).** Changes in selected quality indices in microbially fermented commercial almond and oat drinks. *Applied Sciences*, 12(19), 9983. <https://doi.org/10.3390/app12199983>
- Dahmani, W., Elaouni, N., Abousalim, A., Akissi, Z. L. E., Legssyer, A., Ziyat, A., & Sahpaz, S. (2023).** *Exploring Carob (Ceratonia siliqua L.): A comprehensive assessment of its characteristics, ethnomedicinal uses, phytochemical aspects, and pharmacological activities.* *Plants*, 12, 3303. <https://doi.org/10.3390/plants12183303>
- Dakia, P. A. (2011).** Carob (*Ceratonia siliqua* L.) seeds, endosperm and germ composition, and application to health. In V. R. Preedy, R. R. Watson, & V. B. Patel (Eds.), *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 293–299). Academic Press (Elsevier).
- Dakia, P. A., Blecker, C., Robert, C., Wathelet, B., & Paquot, M. (2008).** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, 22(5), 807–818. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.03.007>
- Daszkiewicz, T., Florek, M., Murawska, D., & Jabłońska, A. (2024).** A comparison of the quality of ultra-high-temperature milk and its plant-based analogs. *Journal of Dairy Science*, 107(12), 10299–10309. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25098>
- Desfemmes, C. (2023, November 27).** Amande : origine, intérêt nutritionnel et utilisation. *Gerbeaud*. <https://www.gerbeaud.com/fruit-legume-de-saison/amande.php>
- Devnani, B., Ong, L., Kentish, S. E., Scales, P. J., & Gras, S. L. (2022).** Physicochemical and rheological properties of commercial almond-based yoghurt alternatives to dairy and soy yoghurts. *Future Foods*, 6, 100185. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100185>
- Devnani, B., Ong, L., Kentish, S., & Gras, S. (2020).** Heat induced denaturation, aggregation and gelation of almond proteins in skim and full fat almond milk. *Food Chemistry*, 325, 126901. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126901>
- Dhakal, S., Liu, C., Zhang, Y., Roux, K. H., Sathe, S. K., & Balasubramaniam, V. M. (2014).** Effect of high pressure processing on the immunoreactivity of almond milk. *Food Research International*, 62, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.021>

- Donkor, O. N., Henriksson, A., Vasiljevic, T., & Shah, N. P. (2007).** α -Galactosidase and proteolytic activities of selected probiotic and dairy cultures in fermented soymilk. *Food Chemistry*, 104(1), 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.065>
- Dönmez, Ö., Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2017).** Syneresis and rheological behaviors of set yogurt containing green tea and green coffee powders. *Journal of Dairy Science*, 100(2), 901–907. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11262>
- Drider, D. (2009).** Bactéries lactiques : physiologie, métabolisme, génomique et applications
- Driessen, F. M., & Kingma, F. (1982).** Evidence that *Lactobacillus bulgaricus* in yogurt is stimulated by carbon dioxide produced by *Streptococcus thermophilus*. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 36, 135–144.
- El Batal, H., Hasib, A., Ouatmane, A., Jaouad, A., & Naïmi, M. (2012).** Rheology and influence factor of locust bean gum solution. *Revue de Génie Industriel*, 8, 55–62
- Franklin, L. M., & Mitchell, A. E. (2019).** Review of the sensory and chemical characteristics of almond (*Prunus dulcis*) flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(10), 2743–2753. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b06606>
- Fredot, E. (2009).** *Connaissance des aliments : Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique*. Tec & Doc, Lavoisier, pp. 10–14.
- Froio, F., Cristiano, M. C., Mancuso, A., Iannone, M., & Paolino, D. (2020).** Vegetable-milk-based yogurt-like structure: Rheological properties influenced by gluten-free carob seed flour. *Applied Sciences*, 10(19), 6963. <https://doi.org/10.3390/app10196963>
- Ganter, J. L. M. S., & Reicher, F. (1999).** Water-soluble galactomannans from seeds of *Mimosaceae* spp. *Bioresource Technology*, 68, 55–62.
- Goldblatt, P. (1981).** Cytology and the phylogeny of the Leguminosae. In R. M. Polhill & P. H. Raven (Eds.), *Advances in legume systematics* (Vol. 2, pp. 427–464). Royal Botanic Gardens, Kew.
- Gradziel, T. M. (2017).** Almond (*Prunus dulcis*). In R. Socias i Company & T. M. Gradziel (Eds.), *Almonds: Botany, production and uses* (pp. 1–52). CAB International.
- Granata, L. A., & Morr, C. V. (1996).** Improved acid, flavor and volatile compound production in a high protein and fiber soymilk yogurt-like product. *Journal of Food Science*, 61(2), 331–336. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1996.tb14188.x>
- Grasso, N., Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2020).** Composition, physicochemical and sensorial properties of commercial plant-based yogurts. *Foods*, 9(3), 252. <https://doi.org/10.3390/foods9030252>

- Guide pratique. (2010).** *Transformer les produits laitiers frais à la ferme* (2e éd.). Dijon, France: Educagri.
- Guo, J., & Yang, X. Q. (2015).** Texture modification of soy-based products. In *Modifying food texture* (pp. 237–255). <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-333-1.00011-5>
- Gupta, M. K., Torrico, D. D., Ong, L., Gras, S. L., Dunshea, F. R., & Cottrell, J. J. (2022).** Plant and dairy-based yogurts: A comparison of consumer sensory acceptability linked to textural analysis. *Foods*, 11(3), 463. <https://doi.org/10.3390/foods11030463>
- Hartono, A. P., Purwanto, D. E., Zulaikha, S., Rizkaprilisa, W., Paramastuti, R., & Hapsari, M. W. (2024).** Innovation of alternative yogurt products from nuts: Systematic review. *Science, Technology and Management Journal*, 4(1), 22–27. <https://doi.org/10.53416/stmj.v4i1.225>
- Hasan, N. A. (2012).** Almond milk production and study of quality characteristics. *Journal of Academia*, 2(1), 1–8. <https://ir.uitm.edu.my/id/eprint/29166/>
- Jan, G., Tarnaud, F., Rosa do Carmo, F. L., Illikoud, N., Canon, F., Jardin, J., Briard-Bion, V., Guyomarc'h, F., & Gagnaire, V. (2022).** The stressing life of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* in soy milk. *Food Microbiology*, 106, 104042. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104042>
- Jeantet, R. (2008).** Dans Bessas, F. et al., *Contrôle de la qualité bactériologique et physico-chimique du lait cru et du lait pasteurisé*.
- Kalyankar, S. D., Khedkar, C. D., Patil, A. M., & Deosarkar, S. S. (2016).** Milk: Sources and composition. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 741–747). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00463-3>
- Kehinde, B. A., Panghal, A., Garg, M. K., Sharma, P., & Chhikara, N. (2020).** Vegetable milk as probiotic and prebiotic foods. In A. Gomez de Cruz, E. S. Prudencio, E. A. Esmerino, & M. C. da Silva (Eds.), *Advances in food and nutrition research* (Vol. 94, pp. 115–160). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.06.003>
- Kiran, Pradeep K., Shipra K., Seema, Savita K., Mahesh K., Sudhir P., Ajeet K., Geeta K., Aman J., & Nilanjaya. (2026).** *Chemical and physical properties of cow milk and plant-based milk – A comparative study*. *Plant Science Today*, 13(sp2), 1–7. <https://doi.org/10.14719/pst.12305>
- Koksoy, A., & Kılıç, M. (2004).** Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, 18(4), 593–600. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.10.002>

- Kosikowski, F. V. (1982).** *Cheese and fermented milk foods* (2nd ed.). F. V. Kosikowski and Associates.
- Lapointe-Vignola, C. L. (2002).** *Science et technologie du lait : transformation du lait*. Presses internationales Polytechnique.
- LeBlanc, J. G., Laiño, J. E., Juarez del Valle, M., Vannini, V., van Sinderen, D., Taranto, M. P., Font de Valdez, G., Savoy de Giori, G., & Sesma, F. (2011).** B group vitamin production by lactic acid bacteria—Current knowledge and potential applications. *Journal of Applied Microbiology*, 111(6), 1297–1309. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05157.x>
- LeBlanc, J. G., Milani, C., de Giori, G. S., Sesma, F., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2013).** Bacteria as vitamin suppliers to their host: A gut microbiota perspective. *Current Opinion in Biotechnology*, 24(2), 160–168. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.08.005>
- Lewis, G. P., Schrire, B. D., Mackinder, B., & Lock, M. (Eds.). (2005).** *Legumes of the world*. Royal Botanic Gardens, Kew. <https://doi.org/10.1017/S0960428606190198>
- Lindgren, C. C. (1945).** Yeast genetics: Life cycles, cytology, hybridization, vitamin synthesis, and adaptive enzymes. *Bacteriological Reviews*, 9(3–4), 111–170. <https://doi.org/10.1128/MMBR.9.3-4.111-170.1945>
- Madrigal, C., Sánchez, M., Varas, M. A., Sánchez, A., Moral, A., & Mañes, V. (2019).** Carob (*Ceratonia siliqua* L.) as a new source of protein. *Journal of Cereal Science*, 85, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.003>
- Mahaut, M., Jeantet, R., Brulé, G., & Schuck, P. (2000).** *Les produits industriels laitiers : Techniques et documentation*. Lavoisier.
- Mahdad, M. Y. (2022).** *Caractérisation par l'outil morphométrique, physico-chimique et moléculaire de la diversité génétique chez Ceratonia siliqua L.* [Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen]. Tlemcen, Algérie. <https://dspace.univ-tlemcen.dz/items/dee7212c-1bdf-4168-aa39-1a1a14de0d81>
- Mäkinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2016).** Foods for special dietary needs: Non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339–349. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.761950>
- Marakis, S., Kalaitzakis, J., & Mittrakos, K. (1988).** Criteria for recognizing carob tree varieties. In P. Fito & A. Mulet (Eds.), *Proceedings of the II International Carob Symposium* (pp. 558–566). Valencia, Spain

- McKinley, M. C. (2005).** The nutrition and health benefits of yoghurt. *International Journal of Dairy Technology*, 58(1), 1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2005.00180.x>
- McWilliam, V., Koplin, J., Lodge, C., Tang, M., Dharmage, S., & Allen, K. (2015).** The prevalence of tree nut allergy: A systematic review. *Current Allergy and Asthma Reports*, 15(9), 54. <https://doi.org/10.1007/s11882-015-0555-8>
- Medical News Today. (2026, February 10).** Almond, hemp, oat, soy, and coconut milk: Nutritional comparison with cow's milk. <https://www.medicalnewstoday.com/articles/325425>
- Montemurro, M., Pontonio, E., Coda, R., & Rizzello, C. G. (2021).** Plant-based alternatives to yogurt: State-of-the-art and perspectives of new biotechnological challenges. *Foods*, 10(2), 316. <https://doi.org/10.3390/foods10020316>
- Neukom, H. (1988).** Carob bean gum: Properties and applications. In P. Fito & A. Mulet (Eds.), *Proceedings of the II International Carob Symposium* (pp. 551–555). Generalitat Valenciana, Valencia, Spain.
- Ngounou, C. J., Ndjouenkeu, R., Mbofung, C. M. F., & Noubi, L. (2003).** Mise en évidence de la biodisponibilité du calcium et du magnésium au cours de la fermentation du lait par des bactéries lactiques isolées du lait caillé de zébu. *Journal of Food Engineering*, 57(3), 301–304. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00302-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00302-5)
- Özcan, M. M. (2023).** A review on some properties of almond: Impact of processing, fatty acids, polyphenols, nutrients, bioactive properties, and health aspects. *Journal of Food Science and Technology*, 60(5), 1493–1504. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05398-0>
- Part, N., Kazantseva, J., Rosenvald, S., Kallastu, A., Vaikma, H., Kriščiunaite, T., Pismennõi, D., & Viiard, E. (2023).** Microbiological, chemical, and sensorial characterisation of commercially available plant-based yoghurt alternatives. *Future Foods*, 7, 100212. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100212>
- Pazos-Rojas, L. A., Cuellar-Sánchez, A., Romero-Cerón, A. L., Rivera-Urbalejo, A., Van Dillewijn, P., Luna-Vital, D. A., Muñoz-Rojas, J., Morales-García, Y. E., & Bustillos-Cristales, M. d. R. (2024).** The viable but non-culturable (VBNC) state, a poorly explored aspect of beneficial bacteria. *Microorganisms*, 12(1), 39. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12010039>
- Pistollato, F., Iglesias, R. C., Ruiz, R., Aparicio, S., Crespo, J., Lopez, L. D., et al. (2018).** Nutritional patterns associated with the maintenance of neurocognitive functions

- and the risk of dementia and Alzheimer's disease: A focus on human studies. *Pharmacological Research*, 131, 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2017.12.013>
- Polhill, R. M. (1981).** Advances in legume systematics (pp. 371–374). The University of Chicago Press.
- Prado, F. C., Parada, J. L., Pandey, A., & Soccol, C. R. (2008).** Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International*, 41(2), 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.010>
- Rachedi Kounouz, K., Bekhouche Sena, S., Boughachiche, F., & Zerizer, H. (2021).** Contrôle microbiologique de denrées alimentaires servies en restauration collective. *Algerian Journal of Nutrition and Food Sciences*, 1(3), 22–30.
- Radke-Mitchell, L., & Sandine, W. E. (1984).** Associative growth and differential enumeration of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*: A review. *Journal of Food Protection*, 47(3), 245–248. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-47.3.245>
- Rebour, H. (1968).** *Fruits méditerranéens*. La Maison rustique.
- Rinaldoni, A. N., Campderros, M. E., & Pérez Padilla, A. (2012).** Physico-chemical and sensory properties of yogurt from ultrafiltered soy milk concentrate added with inulin. *LWT - Food Science and Technology*, 45(2), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.009>
- Rousseau, M. (2005).** La fabrication du yaourt, les connaissances, INRA, 9 P.
- Sebastian, R. S., Wilkinson Enns, C., & Goldman, J. D. (2018).** Plant-based milk market trends in the United States: Forecasts and drivers of consumer adoption. *USDA Economic Research Service Report*, ERS-290, 1–15. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=93099>
- Serres, L., Amariglio, S., & Petransxiene, D. (1974).** *Contrôle de la qualité des produits laitiers*. Direction des services vétérinaires, Ministère de l'Agriculture, France.
- Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016).** Plant-based milk alternatives: An emerging segment of functional beverages: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
- Shori, A. B. (2013).** Comparative study of yogurt and soy yogurt during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 50(2), 262–268.
- Swati, M., Singh, A., & Kumar, R. (2016).** Effect of homogenization on particle size distribution and stability of plant-based milk emulsions. *Journal of Food Processing & Technology*, 7(6), [1000595](#).

- Tamime, A. Y., & Deeth, H. C. (1980).** Yoghurt: technology and biochemistry. *Journal of Food Protection*, 43(12), 939–977.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2003).** *Yogurt: Science and technology* (2nd ed.). CRC Press.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007).** *Yoghurt: Science and Technology* (3rd ed.). Woodhead Publishing.
- Tamime, A. Y., Hickey, M., & Muir, D. D. (2014).** Strained fermented milks: A review of existing legislative provisions, survey of nutritional labelling of commercial products in selected markets and terminology of products in some selected countries. *International Journal of Dairy Technology*, 67(3), 305–333. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12129>
- Tammam, J. D., Williams, A. G., Noble, J., & Lloyd, D. (2000).** Amino acid fermentation in non-starter *Lactobacillus* spp. isolated from Cheddar cheese. *Letters in Applied Microbiology*, 30(5), 370–374.
- Tangyu, M., Müller, J., Bolten, C. J., & Wittmann, C. (2019).** Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(23–24), 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>
- Tejada, L., Abellán, A., Cayuela, J., Martínez-Cacha, A., & Fernández-Salguero, J. (2008).** Proteolysis in goat's milk cheese made with calf rennet and plant coagulant. *International Dairy Journal*, 18(2), 139–146
- Trachoo, N. (2002).** Yogurt: The fermented milk. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 24(4), 727–738.
- Vierling, E. (2008).** *Aliments et boissons : Filières et produits* (3e éd.). Éditions Dion.
- Walther, B., Guggisberg, D., Badertscher, R., Egger, L., Portmann, R., Dubois, S., Haldimann, M., Kopf-Bolan, K., Rhyn, P., Zoller, O., Veraguth, R., & Rezzi, S. (2022).** Comparison of nutritional composition between plant-based drinks and cow's milk. *Frontiers in Nutrition*, 9, 988707. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.988707>
- Yaakob, H., Ahmed, N. R., Daud, S. K., Abd Malek, R., & Rahman, R. A. (2012).** Optimization of ingredient and processing levels for the production of coconut yogurt using response surface methodology. *Food Science and Biotechnology*, 21(4), 933–940. <https://doi.org/10.1007/s10068-012-0123-0>
- Yadav, A. K., Ronya, N., Rathaur, A., Rai, D. C., Trivedi, H., & Patel, V. (2026).** Plant-based milk alternatives: processing, nutritional profile, bioactive compounds and health implications. *Food and Nutrition Research*, 2(1), 100061. <https://doi.org/10.1016/j.fnutr.2026.100061>

Yaygin, H. (1970). Recherches sur les températures optimales de développement de *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* et influence de quelques facteurs sur leurs activités communes. *Le Lait*, 49, 439–445.

Yildiz, F. (2016). *Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products*. CRC Press.

Zhao, J., Bhandari, B., Gaiani, C., & Prakash, S. (2021). Physicochemical and microstructural properties of fermentation-induced almond emulsion-filled gels with varying concentrations of protein, fat and sugar contents. *Current Research in Food Science*, 4, 577–587. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.08.007>

Zhu, B. J., Zayed, M. Z., Zhu, H. X., & Zhao, J. (2019). Functional polysaccharides of carob fruit: A review. *Chinese Medicine*, 14, 40. <https://doi.org/10.1186/s13020-019-0261-x>

Tu, V. P. (2010). « Pour moi, le goût du soja n'est pas une barrière à la consommation. Et pour vous ? » : Effet de la culture sur les croyances, attitudes et préférence vis-à-vis des produits à base de soja (Thèse de doctorat, Université de Bourgogne ; Institut Polytechnique de Hanoï). HAL. <https://theses.hal.science/tel-00750851>

Annexes

Annexe 1 : préparation de l'eau péptonée

- Peptone de viande: 10 grammes
- Chlorure de sodium (NaCl): 5 grammes
- Eau distillée: 1 litre

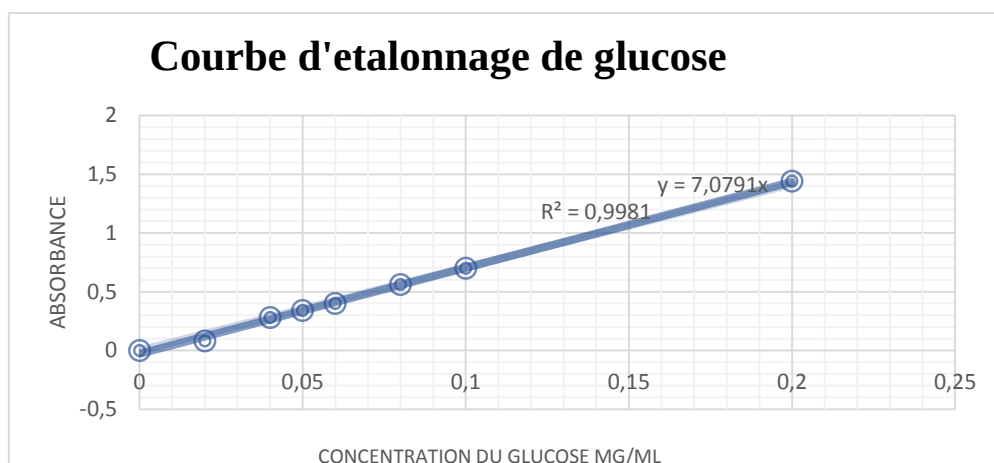
Annexe 2 : Préparation de la solution de NaOH 0,1 N

La solution de NaOH 0,1 N a été préparée en pesant 4 g de NaOH. Environ 800 mL d'eau distillée ont été versés dans un bécher de 1 L, puis les 4 g de NaOH ont été ajoutés lentement tout en agitant pour éviter la formation de grumeaux. Une fois le NaOH complètement dissous, la solution a été transférée dans un ballon jaugé de 1 L et complétée avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Enfin, le ballon a été bouché et la solution homogénéisée en retournant plusieurs fois le récipient.

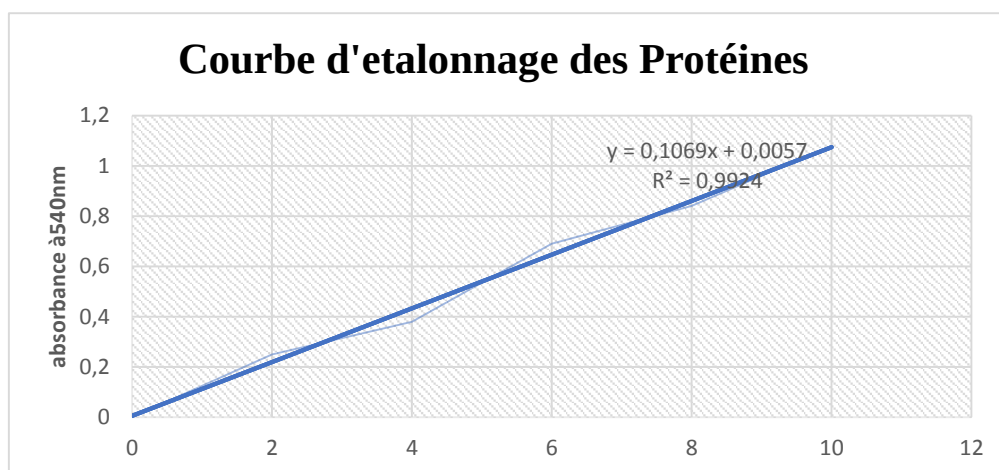
Annexe 3 : Tableau de cinétique

		T=0	T=1	T=2	T=3	T=4	T=5	T=6	T=9
E1 (0,25%)	pH	5,85 ± 0,05	5,2 ± 0	4,65 ± 0,05	4,05 ± 0,05	3,9 ± 0	3,8 ± 0	3,75 ± 0,05	3,05±0,05
	Acidité	10	19	20	36	39	40	45	57,5±7,5
E2 (0,5%)	pH	6,05 ± 0,05	5,45 ± 0,05	4,65 ± 0,05	4 ± 0	3,8 ± 0	3,75 ± 0	3,6 ± 0	3±0,1
	Acidité	11	20	26	33	35	36	44	46,5±6
E3 (0,75%)	pH	6 ± 0	5,25 ± 0,05	4,45 ± 0,05	3,9 ± 0	3,8 ± 0	3,75 ± 0,05	3,65 ± 0,05	2,95±0,05
	Acidité	12	14	27	40	47	50	57	59,5±0,5

Annexe 4 : La courbe d'étalonnage de glucose



Annexe 5 : Lacourbe d'étalonnage des protéines



Annexe6 : Tableau d'évaluation sensorielle

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3
Aspect visuel	3 ± 0,307	4 ± 0,461	3,923 ± 0,426
Odeur	3,692 ± 0,473	4,076± 0,426	3 ± 0,461
Gout	3,307 ± 0,745	3,923± 0,579	2,769 ± 0,473
Arome	3,615 ±0,473	3,769± 0,662	3,166 ± 0,277
Texture en bouche	3,23 ± 0,355	3,461±0,65	3,461 ±0,497
Acidité	3,307 ± 0,639	4,076± 0,426	3,692 ± 0,473
Appréciation globale	3,384 ± 0,473	3,923± 0,284	3,538 ± 0,497

Annexe 7 :Fiche d'évaluation sensorielle

Fiche d'évaluation sensorielle Fiche d'évaluation sensorielle

1/ Test hédonique

Produit : yaourt au lait d'amande Code d'échantillon :.....

Sexe :.....

Age :.....

Veillez cocher la case qui correspond le mieux à votre ressenti générale :

Critère	Très désagréable (1)	Désagréable (2)	Neutre (3)	Agréable (4)	Très agréable (5)
Aspect visuel					
Odeur					
Gout					
Arome					
Texture en bouche					
Acidité					
Appréciation globale					

2/ Profil descriptif

Veillez noter l'intensité des descripteurs suivant sur une échelle de 0 à 5 (nulle – très forte)

Onctuosité (texture lisse) : 0 1 2 3 4 5

Fermenté (terme à la cuillère) : 0 1 2 3 4 5

Acidité perçue : 0 1 2 3 4 5

Arome d'amande..... 0 1 2 3 4 5

Amertume en fin de bouche.....0 1 2 3 4 5

3/ Intention d'achat

Si ce produit était commercialisé l'achèteriez -vous

- Oui certainement
- Probablement
- Probablement pas
- Jamais

Résumé

Les yaourts végétaux représentent une alternative intéressante aux produits laitiers traditionnels, mais leur texture, leur stabilité et leurs propriétés rhéologiques nécessitent souvent une amélioration technologique. Dans notre étude, des yaourts végétaux formulés avec différentes concentrations de farine de graines de caroube ont été élaborés et fermentés à l'aide d'un levain composé de *Streptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. Les performances de ces bactéries ont été évaluées au cours de la fermentation ainsi que durant la conservation du produit à travers des analyses physicochimiques, microbiologiques et sensorielles. Les souches ont présenté des aptitudes différentes à fermenter la matrice à base de lait d'amande et de farine de graines de caroube. Les résultats ont montré que les yaourts à base de lait d'amande enrichi par la farine de caroube ont différentes concentrations présentant un pH entre $3,98 \pm 0,01$ et $3,4 \pm 0,01$, une acidité entre 42 ± 1 et $46,5 \pm 2,5$ °D, un extrait sec entre $8,66 \pm 0,02\%$ et $15,35 \pm 0,09\%$, le taux de sucres $1,50 \pm 0,17$ g/100g et $1,56 \pm 0,09$ g/100g, le taux de protéines de $0,00119 \pm 0,00031$ à $0,00874 \pm 0,003$, une synérèse de 0,5% à 5,625% avec absence totale des coliformes totaux, des coliformes fécaux, des levures et des moisissures.

L'évaluation technologique met en évidence qu'une concentration de 0,5 % à 0,75 % en farine de graines de caroube confère aux formulations une stabilité optimale et un profil rhéologique satisfaisant. En somme, cet ingrédient s'impose comme une alternative prometteuse pour structurer efficacement les matrices laitières végétales

Mots-clés : Yaourt végétal ; lait d'amande ; farine de graines de caroube ; fermentation lactique

المخلص

يعد الزبادي النباتي بديلاً جذاباً لمنتجات الألبان التقليدية، لكن قوامه وثباته وخصائصه الريولوجية غالباً ما تتطلب تحسيناً تكنولوجياً. في دراستنا، تم تحضير الزبادي النباتي المصنوع بتركيزات مختلفة من دقيق بذور الخروب وتخميره باستخدام خميرة مكونة من *Streptococcus thermophilus* و *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*.

تم تقييم أداء هذه البكتيريا أثناء التخمير وحفظ المنتج من خلال التحليلات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية والحسية. وأظهرت السلالات قدرات مختلفة لتخمير خليط حليب اللوز ودقيق بذور الخروب. وأظهرت النتائج أن الزبادي المعتمد على حليب اللوز المزود بدقيق الخروب بتركيزات مختلفة، حيث يتراوح الرقم الهيدروجيني بين 3.98 ± 0.01 و 3.4 ± 0.01 ، ومستوى السكريات 42 ± 1 و 46.5 ± 2.5 °D، المستخلص الجاف بين $8.66 \pm 0.02\%$ و $15.35 \pm 0.09\%$ ، محتوى البروتين من 0.00119 ± 0.00031 إلى 0.00874 ± 0.003 ، وخرج المصل من 0.5% إلى 5.625% مع غياب القولونيات الكلية والقولونيات البرازية والخميرة والعفن تماماً. يسلط التقييم التكنولوجي الضوء على أن تركيز 0.5% إلى 0.75% في دقيق بذور الخروب يمنح التركيبات الثبات الأمثل والملف الريولوجي المرضي. باختصار، يبرز هذا المكون كبديل واعد لتحسين الألبان النباتية بكفاءة.

الكلمات المفتاحية: الزبادي النباتي؛ حليب اللوز؛ دقيق بذور الخروب؛ التخمير اللبني

Abstract

Plant-based yogurts offer an attractive alternative to traditional dairy products, but their texture, stability, and rheological properties often require technological improvement. In our study, plant-based yogurts formulated with different concentrations of carob seed flour were prepared and fermented using a starter culture composed of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. The performance of these bacteria was evaluated during fermentation as well as during product storage through physicochemical, microbiological, and sensory analyses. The strains exhibited different abilities to ferment the matrix made from almond milk and carob seed flour. The results showed that the almond milk-based yogurts enriched with carob flour at different concentrations had a pH ranging from 3.98 ± 0.01 to 3.4 ± 0.01 , acidity ranging from 42 ± 1 to 46.5 ± 2.5 °D, dry matter ranging from $8.66 \pm 0.02\%$ to $15.35 \pm 0.09\%$, sugar content ranging from 1.50 ± 0.17 g/100g to 1.56 ± 0.09 g/100g, protein content ranging from 0.00119 ± 0.00031 to 0.00874 ± 0.003 , and syneresis ranging from 0.5% to 5.625%, with a complete absence of total coliforms, fecal coliforms, yeasts, and molds.

The technological evaluation shows that a concentration of 0.5% to 0.75% carob seed flour provides formulations with optimal stability and a satisfactory rheological profile. In summary, this ingredient emerges as a promising alternative for effectively structuring plant-based dairy matrices.

Keywords: Plant-based yogurt, almond milk, carob seed flour, lactic fermentation.