

DEPARTEMENT DE SCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

DERDOUR Ikram

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité : Production et transformation laitière

THÈME

**Effet de l'addition de l'extrait naturel
Curcuma Longa L. sur la stabilité
nutritionnelle, microbiologique et sensorielle
du yaourt nature.**

Soutenu le 18/06/2026

Devant le Jury composé de :

Présidente	Dr TAHLAITI H.	MCA	U. Mostaganem
Encadrante	Dr SISBANE I.	MCB	U. Mostaganem
Examineur	Dr DAHOU A.E.A.	MCA	U. Mostaganem

Année universitaire : 2025/2026

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrante, **Dr SISBANE I.**, pour son accompagnement attentif, ses orientations méthodologiques et la confiance qu'elle m'a accordée tout au long de la réalisation de ce mémoire.

J'adresse mes plus sincères et profonds remerciements à **Dr DAHOU A.E.A.**, pour son accompagnement bienveillant tout au long de ce travail. Sa disponibilité constante, ses précieux conseils et ses orientations judicieuses ont constitué une aide inestimable dans la réalisation de cette étude. Je lui suis également très reconnaissante d'avoir accepté d'examiner ce mémoire et de participer à sa discussion, contribuant ainsi à l'enrichissement et à l'amélioration de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Dr TAHLAITI H.**, Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider l'évaluation de ce mémoire.

Je souhaite aussi témoigner ma reconnaissance à **Dr ARABI A.**, **Dr BENOTHTHMANE K.**, et **Pr DAHLOUM L.**, pour leurs encouragements, leurs remarques constructives et leur soutien constant, qui ont enrichi et perfectionné cette recherche.

J'adresse une mention particulière à **Mr BENHARRAT N.**, ingénieur au laboratoire LSTPA, pour son aide technique et son accompagnement durant mon stage de fin d'études, qui ont grandement facilité la mise en œuvre pratique de ce projet.

DEDICACES

A mes chers parents, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude pour leurs amours, encouragements et leurs soutient tout au long de mes études.

Qu'Allah les protège et les bénisse.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours pour vous. Merci pour vous être sacrifiée pour nous.

A mes frères Mohamed Said, Abdallah et sa femme Ophélie.

A mes sœurs Ilheme, Mama Hasnia, Nadia et son fils Abderrahmane.

A mes chats Lily, Pixel, Tima et Flavio.

A tous ceux que j'aime.

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact de l'addition de l'extrait naturel de *Curcuma longa* L. sur la qualité nutritionnelle, microbiologique et sensorielle d'un yaourt nature au cours d'un stockage réfrigéré à 4°C pendant 30 jours. La première phase, consacrée à la caractérisation de la matière végétale, a révélé la supériorité de l'extrait éthanolique avec un rendement de 7% par rapport à 3% pour l'extrait aqueux. Le criblage phytochimique de l'extrait éthanolique *Curcuma longa* L. a mis en évidence une richesse remarquable en composés phénoliques, avec des teneurs de 120,26 mg EAG/g ES d'extrait sec pour les polyphénols totaux, 29,67 mg EQ/g ES pour les flavonoïdes et 3,35 mg EC/g ES pour les tanins condensés. Cette composition a conféré à l'extrait une activité antioxydante significative, mise en évidence par le test du DPPH, avec une valeur d'IC₅₀ de 157,89 µg/ml. La seconde phase a consisté à enrichir le yaourt nature avec l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. à des concentrations de 1 % et 3 %, en comparaison avec un témoin (0 %). Les analyses nutritionnelles ont montré que l'ajout de l'extrait n'a pas affecté significativement la teneur en macronutriments, notamment les protéines et les lipides. Sur le plan microbiologique, la dose à 1 % d'extrait a favorisé le maintien de la viabilité des bactéries lactiques (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) durant le stockage. Par ailleurs, alors que le témoin a montré une prolifération de *Staphylococcus aureus*, d'Enterobacteriaceae dès le 14^{ème} jour, la formulation enrichie à 3 % a induit une inhibition totale de ces germes pathogènes jusqu'au 30^{ème} jour, l'ensemble des lots restant exempt de *Salmonella* sp. Enfin, l'évaluation sensorielle a révélé que le yaourt nature enrichi à 3 % a obtenu la meilleure préférence globale grâce à une amélioration de l'onctuosité, une couleur attrayante et des notes aromatiques subtiles. L'incorporation de *Curcuma longa* L. à 3 % constitue une alternative naturelle intéressante pour améliorer la qualité microbiologique et sensorielle du yaourt nature tout en préservant sa valeur nutritionnelle. Cette approche représente une excellente opportunité industrielle pour le développement de produits laitiers fonctionnels innovants, combinant une conservation naturelle performante et une haute valeur ajoutée nutritionnelle.

Mots-clés : *Curcuma longa* L., yaourt nature, composés phénoliques, activité antioxydante, qualité nutritionnelle, microbiologique, sensorielle.

Abstract

This study aims to evaluate the impact of adding natural extract of *Curcuma longa* L. on the nutritional, microbiological, and sensory quality of plain yogurt during cold storage at 4°C over a period of 30 days. The first phase, dedicated to the characterization of the plant material, revealed the superiority of the ethanolic extract with a yield of 7%, compared to 3% for the aqueous extract. Phytochemical screening of the ethanolic extract of *Curcuma longa* L. demonstrated a remarkable richness in phenolic compounds, with total polyphenol content of 120.26 mg GAE/g DW, flavonoids at 29.67 mg QE/g DW, and condensed tannins at 3.35 mg CE/g DW. This composition conferred significant antioxidant activity to the extract, as evidenced by the DPPH assay, with an IC₅₀ value of 157.89 µg/ml. The second phase consisted of enriching plain yogurt with the ethanolic extract of *Curcuma longa* L. at concentrations of 1% and 3%, in comparison with a control sample (0%). Nutritional analyses showed that the addition of the extract did not significantly affect macronutrient content, particularly proteins and lipids. From a microbiological standpoint, the 1% extract concentration promoted the maintenance of lactic acid bacteria viability (*Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*) throughout storage. Furthermore, while the control sample exhibited proliferation of *Staphylococcus aureus* and Enterobacteriaceae from day 14 onward, the formulation enriched at 3% induced total inhibition of these pathogenic microorganisms up to day 30, with all batches remaining free of *Salmonella* sp. Finally, sensory evaluation revealed that the plain yogurt enriched at 3% achieved the highest overall preference, owing to improved creaminess, an appealing color, and subtle aromatic notes. The incorporation of *Curcuma longa* L. at 3% represents a promising natural alternative for enhancing the microbiological and sensory quality of plain yogurt while preserving its nutritional value. This approach offers an excellent industrial opportunity for the development of innovative functional dairy products, combining effective natural preservation with high nutritional added value.

Keywords: *Curcuma longa* L., plain yogurt, phenolic compounds, antioxidant activity, nutritional quality, microbiological, sensory.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إضافة المستخلص الطبيعي لنبات *Curcuma longa* L. على الجودة الغذائية، الميكروبيولوجية والحسية للبن المخمر الطبيعي خلال فترة التخزين المبرد عند 4°م لمدة 30 يومًا. أظهرت المرحلة الأولى، المخصصة لتوصيف المادة النباتية، تفوق المستخلص الإيثانولي بنسبة مردود بلغت 7% مقارنة بـ 3% للمستخلص المائي. كما كشف الفحص الفيتوكيميائي للمستخلص الإيثانولي عن غنى ملحوظ بالمركبات الفينولية، حيث بلغت كمية الفينولات الكلية 120.26 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ من المستخلص الجاف، والفلافونويدات 29.67 ملغ مكافئ كيرسيتين/غ، والتانينات المكثفة 3.35 ملغ مكافئ كاتيشين/غ. هذه التركيبة منحت المستخلص نشاطًا مضادًا للأكسدة معتبرًا، ظهر من خلال اختبار DPPH بقيمة IC_{50} بلغت 157.89 ميكروغرام/مل. في المرحلة الثانية، تم إثراء اللبن الطبيعي بالمستخلص الإيثانولي للكرم بتركيزين (1% و 3%) مقارنة بالعينة الشاهدة (0%). أظهرت التحاليل الغذائية أن إضافة المستخلص لم تؤثر بشكل معنوي على محتوى المغذيات الكبرى، خاصة البروتينات والدهون. أما من الناحية الميكروبيولوجية، فقد ساعد تركيز 1% على الحفاظ على حيوية البكتيريا اللبنية (*Streptococcus thermophilus* و *Lactobacillus bulgaricus*) أثناء التخزين. في حين أن العينة الشاهدة أظهرت نموًا لبكتيريا *Staphylococcus aureus* و *Enterobacteriaceae* ابتداءً من اليوم الرابع عشر، فإن التركيبة المدعمة بـ 3% أحدثت تثبيطًا كليًا لهذه الجراثيم الممرضة حتى اليوم الثالثين، مع بقاء جميع العينات خالية من *Salmonella sp*. أخيرًا، أظهرت التقييمات الحسية أن اللبن الطبيعي المدعم بنسبة 3% حقق أفضل قبول إجمالي بفضل تحسين القوام الكريمي، اللون الجذاب والنكهات العطرية الخفيفة. إن إدماج مستخلص الكرم بنسبة 3% يمثل بديلًا طبيعيًا واعدًا لتحسين الجودة الميكروبيولوجية والحسية للبن الطبيعي مع الحفاظ على قيمته الغذائية. هذه المقاربة تشكل فرصة صناعية متميزة لتطوير منتجات ألبان وظيفية مبتكرة تجمع بين الحفاظ الطبيعي الفعال والقيمة الغذائية العالية.

الكلمات المفتاحية: *Curcuma longa* L.، اللبن الطبيعي، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للأكسدة، الجودة الغذائية، الميكروبيولوجية، الحسية.

Liste des figures

N° de la figure	Titre	N° de la page
Figure 01	Yaourt nature	03
Figure 02	Aspect des cellules de <i>streptococcus thermophilus</i> sous microscope électronique	09
Figure 03	Aspect des cellules de <i>lactobacillus bulgaricus</i> sous microscope électronique	09
Figure 04	Répartition mondiale de <i>Curcuma longa</i> L.	14
Figure 05	Les feuilles du <i>Curcuma longa</i> L.	16
Figure 06	La fleur du <i>Curcuma longa</i> L.	16
Figure 07	Les rhizomes du <i>Curcuma longa</i> L.	17
Figure 08	Les étapes d'extraction par macération	20
Figure 09	Le montage d'extraction par Soxhlet	21
Figure 10	Echantillon de rhizomes de <i>Curcuma longa</i> L.	26
Figure 11	La poudre de lait LOYA	27
Figure 12	La poudre de <i>Curcuma longa</i> L.	28
Figure 13	Les étapes d'extraction solide-liquide éthanolique	29
Figure 14	Les étapes d'extraction solide-liquide hydraulique	30
Figure 15	Les trois échantillons de yaourt nature préparés selon le protocole expérimental.	37
Figure 16	Résultats des tests phytochimiques de l'extrait éthanolique de <i>Curcuma longa</i> L.	46
Figure 17	Résultats des tests phytochimiques de l'extrait aqueux de <i>Curcuma longa</i> L.	48
Figure 18	Profils sensoriels comparés des trois formulations de yaourts (Y1, Y2 et Y3).	67

Liste des tableaux

N° de Tableau	Titre	N° de la page
Tableau 01	Les macronutriments du yaourt nature (100g)	04
Tableau 02	Classification taxonomique de <i>Curcuma longa</i> L.	15
Tableau 03	Valeurs nutritionnelles et énergétiques du <i>Curcuma longa</i> L. (dans 100g de la poudre)	18
Tableau 04	Rendements des extraits éthanolique et aqueux de <i>Curcuma longa</i> L.	44
Tableau 05	Résultats des analyses phytochimiques des deux extraits.	48
Tableau 06	Résultats du pH et de l'acidité titrable.	53
Tableau 07	Résultats des teneurs en protéines, matières grasses et lactose.	55
Tableau 08	Résultats des teneurs en extrait sec dégraissé, cendres et la viscosité.	58
Tableau 09	Résultats des analyses microbiologiques de la flore lactique.	61
Tableau 10	Résultats des analyses microbiologiques des bactéries pathogènes.	63
Tableau 11	Profil sensoriel, statistiques de Friedman et probabilités associées des yaourts évalués par 22 dégustateurs.	65
Tableau 12	Score global et acceptabilité des yaourts fonctionnels évalués par les panelistes.	66

Liste des abréviations

BHA : Butylhydroxyanisole

BHT : Butylhydroxytoluène

CAT : Catalase

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle

EAG : Equivalent d'Acide Gallique

EC : Equivalent Catéchine

EQ : Equivalent de Quercétine

EST : Extrait Sec Total

FAO : Food and Agriculture Organization

GPx : Glutathion peroxydases

IC50 : Concentration Inhibitrice à 50 %

ISO : Organisation internationale de normalisation

JORAD : Journal Officiel de la République Algérienne démocratique

LSTPA : laboratoire des sciences et techniques de production animale

MRS : Man, Rogosa, Sharpe

OMS : Organization for Standardization Organisation Mondiale de la Santé

PH : potentiel d'hydrogène

SOD : Super oxide dismutase

UFC: Unités Formant Colonie

VRBG : Gélose glucose biliée au cristal violet et au rouge neutre

VRBL : Gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre

°D : Degrés Dornic

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction.....	01

Partie 01. Etude bibliographique

Chapitre 01. Propriétés nutritionnelles et microbiologiques du yaourt

1. Propriétés nutritionnelles et microbiologiques du yaourt.....	03
1.1. Définition du yaourt.....	03
1.2. Composition nutritionnelle du yaourt.....	03
1.2.1. Les macronutriments.....	03
1.2.2. Les micronutriments.....	05
1.2.3. Probiotiques et ferments lactiques.....	06
1.3. Qualités physicochimiques du yaourt.	06
1.3.1. pH et acidité titrable.	06
1.3.2. Matière sèche totale.....	07
1.3.3. Viscosité.....	08
1.4. Qualités microbiologiques du yaourt.....	08
1.4.1. Rôle des bactéries lactiques dans la fermentation	08
1.4.2. Facteurs influençant les propriétés nutritionnelles et microbiologiques.	09
1.5. Procédé de fabrication du Yaourt.....	09
1.5.1. Réception et contrôle du lait	10
1.5.2. Standardisation du lait	10
1.5.3. Homogénéisation	10
1.5.4. Traitement thermique	11
1.5.5. Refroidissement pré-fermentation.....	11
1.5.6. Ensemencement	11
1.5.7. Fermentation	11
1.5.8. Refroidissement post-fermentation.....	11
1.5.9. Conditionnement	12
1.5.10. Stabilisation et conservation du produit	12
1.6. Influence des additifs naturels et chimiques sur la stabilité du yaourt	12
1.6.1. Additifs naturels	12
1.6.2. Additifs chimiques	13

Chapitre 02. La plante *Curcuma Longa* L.

1. La plante <i>Curcuma Longa</i> L	14
1.1. Origine et répartition géographique de la plante l'espèce	14
1.2. Classification systématique	15
1.3. Description botanique	15
1.4. Composition phytochimique	17
1.5. Valeur nutritionnelle et énergétique	17
1.6. Toxicité	19
1.7. Méthodes d'extraction de l'extrait du <i>Curcuma longa</i> L ..	19
1.7.1. Extraction par macération	19
1.7.2. Extraction par Soxhlet	20
1.8. Activités biologiques du <i>Curcuma Longa</i> L	21
1.8.1. Activité antioxydante	21
1.8.2. Activité antimicrobienne	21
1.8.3. Activité anti-inflammatoire ..	22
1.8.4. Activité anticancéreuse	22
1.9. Domaines d'application	23

1.9.1. Domaine alimentaire	23
1.9.2. Domaine médicale et pharmaceutique	23
1.9.3. Domaine agricole	23

Partie 02. Etude expérimentale

Matériel et Méthodes

1. Objectif de l'étude	25
2. Matériel biologique	26
2.1. Matériel végétal	26
2.2. Microorganismes utilisés	26
2.3. Matière première alimentaire	26
3. Préparation des échantillons	27
3.1. Préparation de la poudre	27
3.2. Préparation de l'extrait <i>Curcuma longa</i> L	28
3.2.1. Extraction Solide-liquide	28
3.2.2. Détermination du rendement. d'extraction.....	30
4. Techniques analytiques	31
4.1. Criblage phytochimique des composés bioactifs	31
4.2. Analyse quantitative	32
4.2.1. Dosage des polyphénols totaux	32
4.2.2. Dosage des flavonoïdes	33
4.2.3. Dosage des tanins	34
4.2.4. Détermination de l'activité antioxydante	35
4.2.4.1. Activité antiradicalaire DPPH	35
5. Procédé de fabrication du yaourt	36
5.1. Préparation de levain lactique	36
5.2. Préparation du yaourt.....	36
6. Analyses physicochimiques et nutritionnelles du yaourt	37
6.1. Détermination de l'extrait sec totale	38
6.2. Détermination du pH et de l'acidité titrable	38
6.3. Détermination de la teneur en matière grasse	39
6.4. Détermination de la teneur en protéines	39
6.5. Détermination de la teneur en lactose	39
6.6. Détermination de la teneur en cendres	40
6.7. La viscosité	40
7. Analyses microbiologiques du yaourt	41
8. Analyse sensorielle.....	42

Résultats et Discussion

1. Rendement de l'extrait <i>Curcuma longa</i> L.....	44
2. Criblage phytochimique des composés bioactifs (Analyse qualitative).....	45
3. Analyse quantitative.....	49
3.1. Teneur en polyphénols totaux.....	50
3.2. Teneur en flavonoïdes.....	50
3.3. Teneur en tanins.....	51
4. Activité antioxydante	51
4.1. Activité antiradicalaire DPPH	51
5. Résultats des analyses physicochimiques et nutritionnelles du yaourt	53
5.1. pH et l'acidité titrable	53
5.2. Teneur en protéines, matières grasses et lactose	55
5.3. Teneur en extrait sec dégraissé, cendres et viscosité	58
6. Résultats des analyses microbiologiques du yaourt	61
6.1. La flore lactique	61
6.2. Les bactéries pathogènes	63
7. Résultats de l'analyse sensorielle	64
Conclusion	68
Références bibliographiques	71

Annexes

Introduction

Introduction

La consommation de yaourt connaît une croissance soutenue à l'échelle mondiale, ce produit s'imposant comme l'un des laits fermentés les plus largement consommés en raison de sa densité nutritionnelle élevée, de ses propriétés fonctionnelles et de ses qualités organoleptiques (**Dan et al., 2023**). Conformément à la réglementation algérienne (**JORADP, 2016**) et aux normes internationales, le yaourt est défini comme un lait fermenté résultant de l'activité métabolique conjointe de deux bactéries lactiques spécifiques, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, dont l'interaction synergique assure l'acidification du milieu ainsi que le développement des caractéristiques physico-chimiques et rhéologiques du produit (**Yamauchi et al., 2023 ; Dan et al., 2023**).

Il constitue une matrice complexe, riche en protéines de haute valeur biologique, en calcium biodisponible et en micronutriments essentiels. Par ailleurs, ses effets bénéfiques sur la santé sont largement attribués à la présence de micro-organismes probiotiques, susceptibles de moduler le microbiote intestinal, d'améliorer la digestibilité des nutriments et de contribuer au renforcement des défenses immunitaires (**Gholamhosseinpour et al., 2023**).

Néanmoins, la stabilité microbiologique et sensorielle du yaourt constitue un défi majeur, notamment au cours du stockage, en raison de phénomènes de synérèse, de la diminution progressive de la viabilité des bactéries lactiques et du développement de contaminations fongiques susceptibles d'altérer la qualité du produit (**Iriondo-DeHond et al., 2020 ; Gyawali et al., 2022**). Dans ce contexte, l'incorporation de composés naturels bioactifs apparaît comme une stratégie prometteuse pour améliorer la stabilité et la qualité globale du yaourt. Parmi ces composés, *Curcuma longa* L. suscite un intérêt croissant en raison de sa richesse en curcuminoïdes et en composés phénoliques, lui conférant des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes significatives, susceptibles de prolonger la durée de conservation et de renforcer la valeur fonctionnelle du produit (**Pournaki et al., 2023**).

Curcuma longa L., communément appelée curcuma, est une plante herbacée appartenant à la famille des Zingibéracées, largement étudiée pour sa richesse en composés bioactifs et ses nombreuses propriétés biologiques. Le rhizome de cette plante renferme une grande diversité de métabolites secondaires, notamment les curcuminoïdes, ainsi que des huiles essentielles, des polyphénols et des flavonoïdes, responsables de ses activités biologiques

antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes (Adamczak et al., 2022 ; Zaporozhchenko et Subotyalov, 2024).

Parmi ces composés, la curcumine est considérée comme le principal constituant actif, conférant au curcuma un fort pouvoir antioxydant grâce à sa capacité à piéger les radicaux libres et à inhiber les processus de peroxydation lipidique (Denison et al., 2023).

Au-delà de ses propriétés nutritionnelles, *Curcuma longa* L. présente un potentiel conservateur naturel lié à ses composés phénoliques, capables d'inhiber la croissance de bactéries, levures et moisissures, et ainsi de prolonger la durée de conservation des produits laitiers. L'incorporation de curcumine dans le yaourt a notamment permis de préserver la viabilité des probiotiques tels que *Bifidobacterium animalis*, tout en limitant le développement fongique et en améliorant la stabilité sensorielle du produit (Buniowska-Olejniak et al., 2023 ; Rahmatalla et al., 2025). Ces résultats confirment l'intérêt du curcuma comme ingrédient fonctionnel naturel dans les matrices laitières.

Dans les produits laitiers fermentés, notamment le yaourt, l'incorporation d'extrait de *Curcuma longa* L. pourrait améliorer la stabilité oxydative et microbiologique, tout en renforçant la valeur fonctionnelle et nutritionnelle du produit, favorisant ainsi le développement d'aliments fonctionnels innovants à base d'ingrédients naturels.

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer l'impact de l'addition d'extrait naturel de *Curcuma longa* L. sur la stabilité microbiologique, nutritionnelle et sensorielle du yaourt, afin d'améliorer sa stabilité et sa valeur fonctionnelle au cours du stockage.

Ce travail est structuré en deux grandes parties :

La partie théorique, comprenant deux chapitres consacrés au yaourt et à *Curcuma longa* L.

La partie expérimentale, décrivant les méthodes d'extraction, d'incorporation dans le yaourt, ainsi que les résultats et leur discussion.

Ce travail s'achève par une synthèse des principaux résultats obtenus et ouvre la voie à de nouvelles perspectives de recherche sur l'amélioration de la stabilité nutritionnelle et microbiologique des produits laitiers fermentés.

Partie 01. Etude bibliographique

Chapitre 01. Propriétés nutritionnelles et microbiologiques du yaourt

1. Propriétés nutritionnelles et microbiologiques du yaourt

1.1. Définition du yaourt

Selon la réglementation algérienne en vigueur (**J.O.R.A.D, 2020**), le yaourt est défini comme un produit laitier fermenté obtenu exclusivement par la fermentation du lait ou du lait reconstitué, sous l'action des bactéries lactiques spécifiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (**Figure 01**).

Cette définition précise que la dénomination « yaourt » est exclusivement attribuée aux produits obtenus selon ce procédé de fermentation, avec la possibilité d'incorporer certains ingrédients autorisés (sucre, fruits, arômes naturels), sans altérer la nature fermentée du produit.



Figure 01. Yaourt nature (**Nicholson, 2023**).

1.2. Composition nutritionnelle du yaourt

1.2.1. Les macronutriments

Le yaourt est un aliment riche en macronutriments essentiels, combinant protéines de haute valeur biologique, glucides principalement sous forme de lactose et une teneur variable en lipides selon le type de lait utilisé. Cette composition lui confère une densité nutritionnelle intéressante, avec un apport énergétique modéré et une digestibilité améliorée grâce à la fermentation lactique. Les protéines contribuent au maintien de la masse musculaire, tandis que les glucides et lipides assurent respectivement l'énergie et la texture du produit (**Sangkaran et al., 2024**) (**Tableau 01**).

Tableau 01. Les macronutriments du yaourt nature (100g) (FAO, 2003 ; WHO, 2020 ; J.O.R.A.D, 2020 ; Codex Alimentarius 2021).

Macronutriment	Types présents	Valeur énergétique	%AJR
Glucides	Lactose (disaccharide) Glucose +Galactose (issus de l'hydrolyse par les ferments lactiques)	19 – 26 kcal	5 – 7% de l'AET
Protéines	Caséines (α 1, α 2, β , K) Protéines sériques (β -lactoglobuline, α -lactalbumine, lactoferrine)	15 – 27 kcal	7 – 10% de l'AET
Lipides	Triglycérides (acides gras saturés et insaturés) Phospholipide, Cholestérol	13 – 21 kcal	3 – 5% de l'AET
Fibres	Absentes dans le yaourt nature (présentes uniquement si ajout de fruits/céréales)	0 kcal	25 – 30 g/j recommandés
Eau	Eau libre + eau liée aux protéines et aux micelles de caséine	0 kcal	5% de besoins hydriques quotidiens
Energie totale	/	60 -75 kcal	/

*%AJR : apports journaliers recommandés.

*AET : apport énergétique total.

- **Protéines**

Les protéines présentes dans ce produit laitier fermenté proviennent principalement des caséines et des protéines sériques. Leur concentration moyenne est d'environ 3,5 g/100 g (Ciqua, 2025), avec une valeur biologique élevée. L'acidification du lait entraîne la précipitation de la caséine, tandis que les bactéries lactiques libèrent des enzymes protéolytiques qui hydrolysent partiellement ces macromolécules. Ce processus améliore la

digestibilité et la disponibilité des acides aminés essentiels (FAO/OMS, 2023). La norme algérienne NA 20-2020 fixe un seuil minimal de 2,7 g de protéines /100 g, garantissant la conformité nutritionnelle.

- **Glucides**

La teneur moyenne en glucides du yaourt est d'environ 4 à 5 g/100 g, principalement sous forme de lactose. Lors de la fermentation, une fraction de ce lactose est hydrolysée et transformée en acide lactique par *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Cette transformation réduit la charge en lactose résiduel et améliore la tolérance digestive, notamment chez les individus présentant une hypolactasie. L'acide lactique produit contribue également à l'abaissement du pH, favorisant la stabilité microbiologique et l'absorption du calcium (Sun et al., 2020 ; Yamamoto et al., 2021 ; Zhang et al., 2022)

- **Lipides**

La teneur lipidique moyenne est de 3 g/100 g, dont environ 2 g d'acides gras saturés (Ciquel, 2025). Ces lipides proviennent du lait utilisé et leur proportion varie selon le degré d'écémage. L'activité lipolytique des bactéries lactiques reste limitée, mais l'homogénéisation du lait augmente la digestibilité en réduisant la taille des globules gras et en améliorant leur dispersion. Les lipides jouent un rôle dans la texture, la valeur énergétique et l'apport en acides gras essentiels, tout en influençant les propriétés sensorielles du produit (Jeanet et al., 2021).

1.2.2. Les micronutriments

- **Vitamines et minéraux**

La matrice fermentée du yaourt se distingue par une densité en micronutriments essentiels, dont la biodisponibilité est modulée par les processus biochimiques de la fermentation.

Sur le plan minéral, les teneurs moyennes sont de l'ordre de 120 mg de calcium, 95 mg de phosphore et environ 60 mg de sodium/100 g (Cichoski et al., 2020). Le calcium, intégré aux micelles de caséine, voit sa solubilité accrue lors de l'acidification, ce qui améliore son absorption intestinale (Walther et al., 2022). Le phosphore, étroitement associé au calcium, participe à la phosphorylation énergétique et à la constitution des phospholipides membranaires, tandis que le sodium contribue à l'équilibre hydrique et électrolytique. La

synergie calcium-phosphore assure une minéralisation optimale du tissu osseux et participe au maintien de l'équilibre acido-basique (FAO/OMS, 2023).

Sur le plan vitaminique, le yaourt est une source notable de vitamines du groupe B, en particulier la riboflavine (B₂) et la cobalamine (B₁₂), avec des teneurs moyennes de 0,14 mg de B₂ et 0,4 µg de B₁₂/100 g (Li et al., 2025). La riboflavine agit comme cofacteur dans les réactions oxydatives et le métabolisme énergétique, tandis que la vitamine B₁₂ est indispensable à la synthèse de l'ADN et à l'hématopoïèse. Certaines souches de bactéries lactiques contribuent à la biosynthèse partielle de ces vitamines, augmentant leur disponibilité de 10 à 15 % (Le Blanc et al., 2017). Cette activité confère à la matrice fermentée un rôle fonctionnel supplémentaire, au-delà de sa simple valeur nutritionnelle.

1.2.3. Probiotiques et ferments lactiques

Les probiotiques sont définis par la FAO/OMS (2002) comme des micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont administrés en quantité adéquate, confèrent un bénéfice pour la santé de l'hôte. Dans le yaourt, les ferments lactiques essentiels sont *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, responsables de la fermentation du lait et de la production d'acide lactique, ce qui entraîne la coagulation des protéines et la formation de la texture caractéristique du produit. Cette définition réglementaire constitue toujours la référence internationale, mais des travaux récents ont mis en évidence l'importance de ces bactéries dans l'amélioration de la digestibilité du yaourt, la biodisponibilité du calcium et des vitamines du groupe B, ainsi que la synthèse de folates et de vitamine B₁₂ (Ayivi et Ibrahim, 2022).

D'un point de vue fonctionnel, les ferments lactiques participent à l'équilibre du microbiote intestinal, exercent une action protectrice contre les pathogènes grâce à la production de bactériocines et stimulent la réponse immunitaire locale. L'intégration de souches probiotiques telles que *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum* ou *Lactobacillus rhamnosus GG* dans les yaourts permet d'élargir les bénéfices nutritionnels et sanitaires, renforçant ainsi la valeur fonctionnelle de ce produit laitier fermenté (Marco et al., 2021 ; Ouwehand et al., 2022).

1.3. Qualité physicochimique du yaourt

1.3.1. pH et acidité titrable

La fermentation lactique induit une acidification progressive du milieu, conséquence directe de la conversion du lactose en acide lactique par *Streptococcus thermophilus* et

Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus. Cette acidification entraîne une baisse du pH, généralement stabilisé entre 4,0 et 4,6, seuil critique qui assure la coagulation des protéines et limite la croissance des microorganismes indésirables **(FAO/OMS, 2023)**. La diminution du pH constitue ainsi un facteur de sécurité microbiologique et de stabilité physico-chimique.

L'acidité titrable, exprimée en degrés Dornic (°D), reflète la concentration totale en acides organiques présents dans la matrice. Dans les laits fermentés, elle se situe généralement entre 70 et 120 °D, correspondant à une teneur moyenne de 0,7 à 1,2 g d'acide lactique/100 g **(Tomovska et al., 2016)**. Ce paramètre est utilisé comme indicateur technologique et réglementaire : une acidité insuffisante traduit une fermentation incomplète, tandis qu'une acidité excessive peut altérer les propriétés sensorielles et réduire l'acceptabilité du produit **(Walstra et al., 2006)**

Ainsi, le suivi simultané du pH et de l'acidité titrable constitue un critère fondamental pour garantir la qualité hygiénique, la stabilité microbiologique et l'acceptabilité organoleptique des laits fermentés.

1.3.2. Matière sèche totale

La matière sèche totale constitue un indicateur essentiel de la qualité physicochimique du yaourt, car elle regroupe l'ensemble des composants solides non aqueux : protéines, lipides, glucides, minéraux et vitamines. Sa teneur, généralement comprise entre 11 et 14 %, varie selon le type de lait utilisé (entier, demi-écrémé ou écrémé) ainsi que des procédés technologiques appliqués, tels que l'enrichissement en poudre de lait ou la concentration de l'extrait sec. Des travaux récents confirment que l'optimisation de la matière sèche totale influence directement la texture, la stabilité et les propriétés sensorielles du yaourt **(Wang et al., 2025)**.

Sur le plan technologique, une matière sèche élevée favorise la formation d'un réseau protéique plus dense, ce qui améliore la viscosité, la fermeté et la stabilité du gel, tout en influençant les propriétés rhéologiques et sensorielles du produit **(FAO/OMS, 2023)**. D'un point de vue nutritionnel, elle reflète une densité accrue en nutriments essentiels, renforçant ainsi la valeur biologique et fonctionnelle du yaourt. Toutefois, une teneur excessive peut induire des modifications organoleptiques indésirables, telles qu'une texture trop compacte ou un goût lourd, nécessitant un contrôle précis lors des procédés industriels **(Darwish et al., 2025)**.

1.3.3. Viscosité

La viscosité du yaourt constitue un paramètre rhéologique fondamental, reflétant directement l'organisation tridimensionnelle du réseau protéique formé principalement par les caséines. Elle traduit le degré de cohésion du gel et conditionne sa stabilité au cours du stockage. Ce comportement viscoélastique est fortement influencé par la teneur en matière sèche et la proportion relative de protéines, mais également par l'évolution du pH durant la fermentation et par les conditions technologiques appliquées, telles que l'homogénéisation, la durée et la température de fermentation ou encore l'intensité du brassage (**Williams, 2002 ; Rioux et Turgeon, 2012**). Sur le plan technologique, la viscosité est considérée comme un indicateur de performance, puisqu'elle reflète la qualité de formation du gel protéique et sa capacité à résister au phénomène de synérèse (**Walstra et al., 2006**).

Selon la **FAO (2023)**, la viscosité dans les laits fermentés est utilisée comme indicateur de performance technologique, car elle reflète la qualité de formation du gel protéique et sa capacité à résister au phénomène de synérèse. Une viscosité élevée traduit un réseau protéique cohésif, capable de maintenir une consistance crémeuse et homogène, tandis qu'une viscosité faible révèle une structure fragile et instable, susceptible d'altérer les propriétés sensorielles et la conservation du produit.

1.4. Qualité microbiologique de yaourt

1.4.1. Rôle des bactéries lactiques dans la fermentation

Les bactéries lactiques jouent un rôle fondamental dans la fermentation du yaourt, car elles assurent l'acidification du milieu, la coagulation des protéines et la stabilisation microbiologique du produit. Leur activité métabolique, principalement celle de *Streptococcus thermophilus* (**Figure 02**) et *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* (**Figure 03**), permet de contrôler la flore indésirable et d'améliorer la sécurité sanitaire (**Munteanu-Ichimet et al., 2025 ; Nami et al., 2026**). Elles contribuent également à la valorisation nutritionnelle en facilitant la digestibilité du lactose et en produisant des composés bioactifs tels que des vitamines et des peptides fonctionnels (**Codex Alimentarius, 2023**). Ces bactéries jouent un rôle clé dans la fermentation du yaourt, en assurant l'acidification du lait, la coagulation des protéines et la stabilisation microbiologique. Elles contribuent également au développement des arômes et à la formation de la texture typique, déterminant la qualité sensorielle du produit (**EUFI, 2025**).

Enfin, Leur présence et leur activité sont obligatoires pour que le produit puisse être désigné « yaourt », conformément au **décret exécutif algérien n°20-241 du 19 octobre 2020**, soulignant ainsi leur importance à la fois technologique, nutritionnelle et réglementaire dans l'industrie laitière moderne.



Figure 02. Aspect des cellules de *Streptococcus thermophilus* sous microscope électronique (Durso et Huktins, 2003).



Figure 03. Aspect des cellules de *Lactobacillus bulgaricus* sous microscope électronique (Corrieu et Luquet, 2008).

1.4.2. Facteurs influençant les propriétés nutritionnelles et microbiologiques

Les propriétés nutritionnelles et microbiologiques du yaourt dépendent d'un ensemble de facteurs intrinsèques et extrinsèques. Parmi eux, la composition du lait constitue le déterminant principal : sa teneur en protéines, lactose, matières grasses et minéraux influence directement la valeur nutritionnelle, la capacité de coagulation et le développement de la flore microbienne bénéfique (Li et *al.*, 2025).

La nature et l'équilibre des bactéries lactiques utilisées, principalement *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, conditionnent l'intensité de

l'acidification, la stabilité microbiologique et la qualité hygiénique du produit (**Zhao et al., 2026**). D'après **Yudina et al., 2025**, Les paramètres technologiques de fermentation, tels que la température, la durée et la concentration en inoculum, modulent la croissance bactérienne, la vitesse de production d'acide lactique et la formation des caractéristiques sensorielles. Par ailleurs, les conditions post-fermentation, incluant la chaîne du froid, le type d'emballage et la durée de conservation, jouent un rôle déterminant dans le maintien des qualités nutritionnelles et microbiologiques du yaourt.

1.5. Procédé de fabrication du yaourt

1.5.1. Réception et contrôle du lait

Le lait cru est soumis à des analyses physico-chimiques (pH, densité, protéines, matières grasses) et microbiologiques (charge bactérienne totale, absence de pathogènes). Ces contrôles conditionnent la sécurité sanitaire et la qualité technologique du produit final (**FAO, 2023**).

1.5.2. Standardisation

La composition du lait est ajustée pour obtenir des teneurs constantes en protéines et en matières grasses. Cette étape influence la viscosité, la texture et la capacité de coagulation du lait lors de la fermentation (**Codex Alimentarius Commission, 2023**).

1.5.3. Homogénéisation.

Le lait est homogénéisé sous haute pression afin de réduire la taille des globules gras ($< 2 \mu\text{m}$). Cette opération améliore la stabilité physique, limite la séparation de la crème et favorise une distribution homogène des protéines et des lipides, contribuant ainsi à la texture crémeuse du yaourt (**FAO, 2023**).

Le lait est soumis à une homogénéisation à haute pression afin de réduire la taille des globules gras, ce qui empêche leur coalescence et favorise une meilleure intégration dans la matrice protéique. Cette réduction de la taille des particules lipidiques contribue à améliorer la stabilité physique du lait, limite la séparation de la phase grasse et facilite une distribution plus uniforme des protéines et des lipides, influençant positivement la texture crémeuse du yaourt (**Eneni et al., 2025**).

1.5.4. Traitement thermique

Le lait destiné à la fabrication du yaourt est généralement chauffé à 85–95 °C pendant 5–10 minutes. Ce traitement thermique permet de détruire les microorganismes pathogènes et de réduire la charge microbienne initiale (Ichimura et al., 2023). Il entraîne également l'inactivation des enzymes indésirables et la dénaturation des protéines sériques, notamment la β -lactoglobuline (Saffon et al., 2020). Ces protéines dénaturées interagissent avec les micelles de caséine, renforçant ainsi la structure du gel protéique qui se formera lors de la fermentation (Wang et al., 2021)

1.5.5. Refroidissement pré-fermentation.

La température est abaissée à 40–45 °C, seuil optimal pour l'activité enzymatique des bactéries lactiques et la production d'acide lactique (FAO, 2023).

1.5.6. Ensemencement.

Le lait est inoculé avec *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, deux bactéries lactiques qui coopèrent pour transformer le lait en yaourt. La première espèce initie rapidement l'acidification du milieu, tandis que le second contribue à la formation des composés aromatiques tels que l'acétaldéhyde, responsable de la saveur caractéristique du yaourt. La présence simultanée de ces deux espèces est une exigence normative pour définir le produit comme yaourt (Wu et al., 2025).

1.5.7. Fermentation.

Dans la production du yaourt, le laitensemencé est incubé à environ 42–45 °C jusqu'à ce que le pH tombe autour de 4,6, seuil auquel les micelles de caséine atteignent leur point isoélectrique et commencent à s'agréger pour former un réseau protéique tridimensionnel. Cette acidification, due à la conversion du lactose en acide lactique par les bactéries lactiques, provoque la coagulation des caséines, confère au yaourt sa texture gélifiée typique et contribue à la stabilité microbiologique en inhibant le développement des microorganismes indésirables (Santos et al., 2025).

1.5.8. Refroidissement post-fermentation.

Après la fermentation, le yaourt est refroidi rapidement à environ 4–6 °C pour interrompre l'activité métabolique des bactéries lactiques, limiter une acidification excessive et

réduire la synérèse (exsudation du lactosérum). Ce refroidissement rapide stabilise la structure du réseau protéique et améliore la capacité de rétention d'eau du gel, contribuant ainsi à la texture finale et à la conservation du produit lors du stockage à froid (**Anwar et al., 2025**).

1.5.9. Conditionnement.

Le yaourt est conditionné dans des emballages stériles immédiatement après fermentation afin de prévenir toute contamination secondaire (**Ranadheera et al., 2019**). Ce procédé est essentiel pour garantir la sécurité alimentaire lors de la distribution, en limitant la croissance de microorganismes indésirables (**Özcan et Akpinar, 2021**). De plus, le choix du matériau d'emballage influence la qualité microbiologique et la durée de conservation du produit, en maintenant la viabilité des bactéries lactiques bénéfiques et en protégeant contre les pathogènes (**Kumar et al., 2022**).

1.5.10. Stabilisation et conservation du produit

Le yaourt est conservé en chaîne du froid (2–6 °C). Le maintien de cette température assure une stabilité microbiologique en inhibant les flores altérantes et prolonge la durée de conservation tout en maintenant la qualité du produit, préserve les qualités nutritionnelles telles que les protéines, le calcium et les vitamines hydrosolubles, et conserve les propriétés organoleptiques du yaourt, notamment l'arôme, l'acidité et la texture, jusqu'à la consommation (**Wang et al., 2025**).

1.6. Influence les additifs naturels et chimiques sur la stabilité du yaourt

1.6.1. Additifs naturels

Les additifs naturels constituent une alternative prometteuse pour améliorer la stabilité microbiologique et nutritionnelle du yaourt. Les extraits végétaux riches en polyphénols et flavonoïdes, tels que ceux issus du thé vert, du curcuma ou du romarin, ont démontré une activité antimicrobienne et antioxydante significative, contribuant à prolonger la durée de conservation et à préserver les qualités organoleptiques du produit (**Rashwan et al., 2023**). De plus, l'incorporation de fibres alimentaires comme l'inuline et la pectine améliore la texture et la viscosité, renforçant la stabilité physico-chimique du gel lacté (**Bankole et al., 2023**). Toutefois, l'efficacité de ces composés dépend de leur origine botanique et de leur concentration, et peut parfois interférer avec l'activité des bactéries lactiques, nécessitant une optimisation des conditions d'utilisation. Selon le **Codex Alimentarius (2004)**, l'intégration de

ces additifs doit respecter les normes relatives aux laits fermentés afin de garantir la sécurité et la conformité réglementaire.

1.6.2. Additifs chimiques

Les additifs chimiques sont utilisés dans l'industrie laitière pour assurer une stabilité uniforme et prévisible du yaourt (**Pereira et al., 2022**). Les conservateurs tels que le sorbate de potassium (E200) et le benzoate de sodium (E211) inhibent efficacement la croissance des microorganismes responsables de l'altération, garantissant ainsi une durée de conservation prolongée (**Özcan et Akpınar, 2021**). Les antioxydants, comme le BHA, le BHT et l'acide ascorbique, retardent les réactions d'oxydation et contribuent à préserver la couleur et le goût du produit (**Shori, 2020**). Les stabilisants et épaississants tels que la carboxyméthylcellulose (CMC) et la gélatine permettent de contrôler la texture et la viscosité, évitant la séparation du lactosérum et assurant une constance technologique (**Ranadheera et al., 2019**). Cependant, l'acceptabilité auprès des consommateurs demeure limitée en raison de la perception négative des additifs de synthèse, ce qui pousse l'industrie à rechercher un équilibre entre efficacité technologique et attentes sociétales (**Pereira et al., 2022**).

Chapitre 02. *Curcuma longa* L.

1.2. Classification systématique de *Curcuma longa* L.

Le curcuma (*Curcuma longa* L.) est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des Zingiberaceae. Sa position taxonomique actualisée est présentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 02) (Adhimoolam et al., 2025).

Tableau 02. Classification taxonomique de *Curcuma longa* L. (Adhimoolam et al., 2025).

Rang taxonomique	Nomenclature
Domaine	Eucryota
Règne	Plantae
Division	Angiospermes (plantes à fleurs)
Classe	Monocotylédone (liliopsida)
Sous-classe	Commelinids
Ordre	Zingiberales
Famille	Zingiberaceae
Genre	<i>Curcuma</i>
Espèce	<i>longa</i> L

1.3. Description botanique de *Curcuma longa* L.

Le genre *Curcuma* appartient à la famille des Zingiberaceae, qui regroupe une quarantaine d'espèces vivaces à rhizomes. Parmi elles, *Curcuma longa* L. est la plus cultivée, caractérisée par une morphologie adaptée aux climats tropicaux chauds et humides (Adhimoolam et al., 2025).

- **Les feuilles**

Les feuilles de *Curcuma longa* sont larges, simples et alternes (**Figure 05**). Elles naissent directement du rhizome et sont portées par un pétiole engainant. Le limbe est oblong à lancéolé, atteignant jusqu'à 50 cm de longueur, glabre sur les deux faces, de couleur vert vif (Gowda et Sowmya, 2024).



Figure 05. Les feuilles du *Curcuma longa* L. (Khedis et Aid, 2020).

- **Les fleurs**

Les fleurs sont regroupées en inflorescences terminales en épi, mesurant environ 10 à 15 cm de long. Elles présentent une structure tubulaire, de couleur jaune pâle à blanchâtre, et entourées de bractées vert clair pouvant devenir violacées à la floraison (**Figure 06**). Le pédoncule floral, d'environ 15 cm, est souvent dissimulé par les gaines foliaires. La reproduction sexuée est rare, la plante se multipliant principalement par voie végétative (Alrajeh et El Sherif, 2024)



Figure 06. La Fleur du *Curcuma longa* L. (Khedis et Aid, 2020).

- **Les rhizomes**

Le rhizome est la partie la plus caractéristique et la plus utilisée de la plante (**Figure 07**). Il est charnu, aromatique, de couleur jaune à orangée, riche en curcuminoïdes et en huiles essentielles. Ces réserves souterraines assurent la survie de la plante durant la saison sèche et

constituent la base de son intérêt alimentaire, médicinal et industriel (**Adhimoolam et al., 2025**).



Figure 07. Les rhizomes du *Curcuma longa* L. (**Leroy, 2019**).

1.4. Composition phytochimique

Le rhizome de *Curcuma longa* L. est reconnu pour sa richesse en curcuminoïdes (curcumine, déméthoxycurcumine et bisdéméthoxycurcumine), responsables de la pigmentation jaune et des principales activités biologiques, notamment antioxydantes et anti-inflammatoires (**Riaz et al., 2023**). La plante contient également des flavonoïdes (53,1 mg/g), des tanins (2,7 mg/g) et une teneur totale en composés phénoliques (360,75 mg/100 g), confirmant son potentiel nutritionnel et fonctionnel (**El-Saadony et al., 2023 ; Wu et al., 2024**).

Les huiles essentielles, présentes à hauteur de 3 à 7 %, comprennent plus de trente composés identifiés, dominés par la turmérone, l'atlantone et le zingibérène, qui confèrent au curcuma son arôme caractéristique et une activité antimicrobienne notable (**Wu et al., 2024**). La composition phytochimique varie selon l'altitude, la région géographique et le cultivar, ce qui influence directement les activités biologiques de la plante (**Riaz et al., 2023**).

Ainsi, la diversité métabolique de *Curcuma longa* justifie son utilisation croissante dans les formulations alimentaires fonctionnelles, notamment pour l'amélioration de la qualité microbiologique et nutritionnelle des produits laitiers fermentés, tout en prolongeant leur durée de conservation (**El-Saadony et al., 2023 ; Wu et al., 2024**).

1.5. Valeurs nutritionnelles et énergétiques

Le *curcuma longa* L. est une épice dont la composition nutritionnelle a été largement étudiée et qui se caractérise par une proportion notable de macronutriments et de molécules bioactifs. Sur le plan quantitatif, la poudre de *curcuma longa* contient en moyenne 8 à 12%

d'humidité, 2 à 3% de cendre, 7 à 10% de protéines brutes, 5 à 7% de matières grasses, et environ 20% de fibres alimentaires, ce qui en fait une source concentrée de nutriments essentiels (Ikpeama et al., 2014 ; Rahmani et al., 2022)

La fraction lipidique est composée d'acides gras saturés et insaturés, avec une prédominance des acides gras polyinsaturés (oméga-3 et oméga-6), représentant environ 20 à 25 % de la teneur lipidique totale (Fuloria et al., 2022). Par ailleurs, le curcuma se distingue par une proportion élevée de curcuminoïdes, dont la curcumine peut atteindre 3 à 4 % de la masse totale, conférant à cette épice ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires largement documentées (Tableau 03).

Tableau 03. Valeurs nutritionnelles et énergétiques du *Curcuma longa* L. (dans 100g de la poudre) (Ikpeama et al., 2022 ; Fuloria et al., 2022).

Energies	291 – 354 kcal	Minéraux		Vitamines	
Eau	11 – 60 g	Calcium	183 mg	Vitamine A	Traces
Protéines	3 – 8 g	Cuivre	0.6 mg		
Glucides	34 g	Fer	0.5 – 41 mg	Vitamine B1	0.15 mg
Lipides	1 – 10 g	Magnésium	23 – 193 mg	Vitamine B2	0.23 mg
Fibre	1 – 21 g	Manganèse	7.5 mg	Vitamine B3	5 mg
Acides gras		Phosphore	286 mg	Vitamine B6	1.8 mg
Total	9 – 10 g	Potassium	2500 mg	Vitamine B9	39 ug
Omega 3	0.5 g	Autres		Vitamin B12	0 ug
Omega 6	1.7 g	Phytostérols	82 mg	Vitamine C	0.5 – 26 mg
Omega 9	1.6 g	Curcumine	Jusqu'à 3.8 g	Vitamine E	0.08 – 3.1 mg
Gras saturés	3 g	Polyphenols totaux	200 – 300 mg	Vitamine K	13 ug

1.6. Toxicité

Malgré ses nombreuses propriétés thérapeutiques, *Curcuma longa* L. peut présenter une toxicité potentielle lorsqu'il est utilisé à fortes doses ou sous forme de compléments concentrés. La curcumine, son principal composé bioactif, est généralement considérée comme sûre aux doses alimentaires usuelles. Cependant, des études récentes ont montré que des doses pharmacologiques élevées peuvent induire des troubles gastro-intestinaux tels que des nausées, diarrhées et douleurs abdominales (Shoaib et al., 2024).

Des recherches toxicologiques modernes ont également signalé une atteinte hépatique et rénale chez l'animal lors d'une administration prolongée de curcumine à forte concentration, traduisant une surcharge métabolique (Wu et al., 2024). Par ailleurs, le *curcuma* peut interagir avec certains médicaments anticoagulants, antidiabétiques et antihypertenseurs, augmentant le risque d'hémorragie ou de déséquilibre glycémique (El-Saadony et al., 2023). Enfin, une évaluation toxicologique récente a montré que des extraits aqueux de curcuma présentaient une toxicité modérée dans des bioessais *Artemia salina*, avec une concentration létale médiane (CL₅₀) de 186,5 ug/ml après 48 heures d'exposition (Silva. L et Silva. F, 2024).

Ces résultats confirment que, bien que le *curcuma* soit globalement sûr dans le cadre alimentaire, son utilisation thérapeutique à fortes doses doit être encadrée par des recommandations scientifiques et médicales afin d'éviter des effets indésirables.

1.7. Méthodes d'extraction de l'extrait de *Curcuma longa* L.

L'extraction constitue une étape fondamentale dans l'étude des plantes médicinales, puisqu'elle permet d'isoler les composés actifs responsables de leurs propriétés biologiques. Dans le cas du curcuma (*Curcuma longa* L.), la curcumine représente le principal métabolite recherché et peut être obtenue par différentes méthodes, traditionnelles ou modernes. Le choix de la technique d'extraction influe directement sur la quantité et la qualité des extraits obtenus, ce qui rend la sélection méthodologique un facteur déterminant pour assurer un rendement élevé et une efficacité biologique optimale (Manasa et al., 2023 ; Sai et al., 2023)

1.7.1. Macération

La macération est une technique traditionnelle d'extraction qui repose sur le principe de diffusion passive des molécules bioactives dans un solvant (Figure 08). Dans le cas du *Curcuma longa*, la poudre de rhizome est immergée dans un solvant polaire (eau, éthanol, méthanol) pendant une durée prolongée, généralement comprise entre 24 et 72 heures, à

température ambiante ou légèrement chauffée. Ce procédé permet l'extraction de composés tels que les curcuminoïdes, polyphénols et flavonoïdes, tout en préservant leur intégrité structurale grâce à l'absence de chaleur excessive. Les avantages de cette méthode résident dans sa simplicité, son faible coût et sa capacité à maintenir la stabilité des molécules thermosensibles. Toutefois, son rendement reste limité et le temps d'extraction est relativement long. Des travaux récents ont montré que la macération hydroalcoolique produit des extraits riches en curcumine et dotés d'une activité antioxydante significative, mais demeure moins performante que les techniques modernes assistées par ultrasons ou micro-ondes (Manasa *et al.*, 2023 ; Meng *et al.*, 2026).

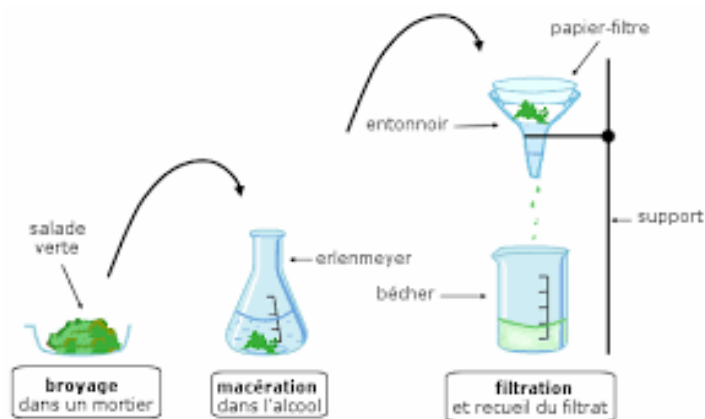


Figure 08. Les étapes d'extraction par macération (Périno-Issartier et Chemat, 2013).

1.7.2. Soxhlet

L'extraction Soxhlet est une méthode classique qui repose sur un système de reflux continu. Le solvant organique (éthanol, hexane, chloroforme) est chauffé, se condense, puis circule de manière répétée sur la poudre de curcuma, assurant une extraction progressive et complète des composés bioactifs (**Figure 09**). Cette technique est réputée pour son rendement élevé en curcumine et huiles essentielles, ainsi que pour sa reproductibilité. Néanmoins, elle présente des limites liées à l'utilisation de grandes quantités de solvants organiques, au temps d'extraction prolongé et au risque de dégradation thermique des molécules sensibles. Une étude récente a montré que l'extraction Soxhlet du curcuma peut atteindre un rendement supérieur à 60 % de curcumine en une heure, confirmant son efficacité, mais soulignant également son impact environnemental et énergétique. C'est pourquoi cette méthode tend à être

progressivement remplacée par des procédés plus durables, tels que l'extraction assistée par ultrasons ou l'extraction supercritique au CO₂ (Meng *et al.*, 2026).

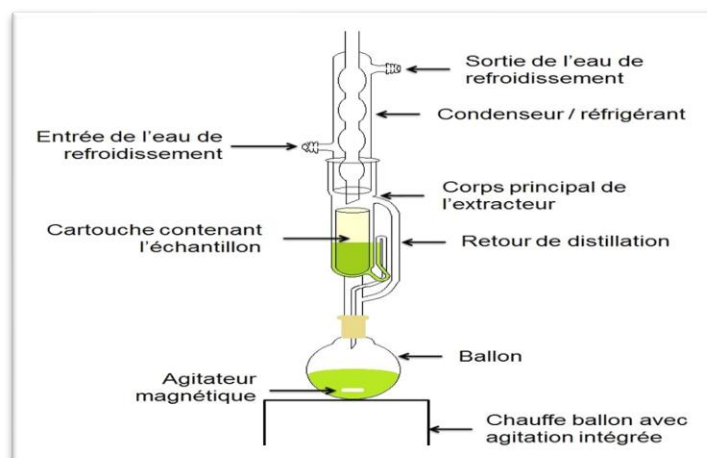


Figure 09. Le montage d'extraction par Soxhlet (Bimakr *et al.*, 2011).

1.8. Activité biologique du *Curcuma longa* L.

1.8.1 Activité antioxydante

L'activité antioxydante du *Curcuma longa* L. est principalement attribuée aux curcuminoïdes, dont la curcumine constitue le composé majeur. Ces polyphénols exercent une action protectrice en neutralisant les radicaux libres générés par les processus métaboliques et en régulant l'expression des enzymes antioxydantes endogènes (SOD, CAT, GPx). Cette capacité à réduire la peroxydation lipidique et à protéger les membranes cellulaires contre le stress oxydatif a été confirmée par Zaporozhchenko et Subotyalov (2024), qui rapportent une augmentation significative de la capacité antioxydante globale dans des matrices alimentaires enrichies en curcuma. De plus, Meng *et al.* (2026) soulignent que cette activité contribue à la prévention des maladies chroniques liées à l'oxydation, telles que les pathologies cardiovasculaires et neurodégénératives, renforçant ainsi l'intérêt du curcuma comme ingrédient nutraceutique.

1.8.2 Activité antimicrobienne

La curcumine et les huiles essentielles de *Curcuma longa* présentent une activité antimicrobienne à large spectre, agissant contre des bactéries Gram-positives et Gram-négatives ainsi que contre des champignons pathogènes. Les mécanismes d'action incluent la perturbation

de la perméabilité membranaire, l'inhibition de la synthèse protéique et la désorganisation des biofilms. **Sharifi-Rad et al. (2020)** ont montré que la curcumine induit un stress oxydatif intracellulaire, entraînant la mort bactérienne. Par ailleurs, **Alavi et al. (2021)** et **Dima et al. (2021)** ont démontré que l'incorporation d'extraits de curcuma dans des produits alimentaires tels que les produits laitiers et les sauces réduit significativement la croissance microbienne et prolonge la durée de conservation. **Gandhi et al. (2022)** ajoutent que les formulations nano-encapsulées de curcumine améliorent la stabilité et la biodisponibilité des composés antimicrobiens, tout en préservant les qualités organoleptiques, ce qui confirme le potentiel du curcuma comme agent naturel de bioconservation.

1.8.3. Activité anti-inflammatoire

La curcumine est également reconnue pour ses propriétés anti-inflammatoires. Elle inhibe l'activation de NF- κ B et réduit l'expression de COX-2, ainsi que la production de cytokines pro-inflammatoires telles que TNF- α , IL-1 β et IL-6. **Huminiecki et Horbańczuk (2022)** ont montré que la curcumine module efficacement les voies de signalisation impliquées dans l'inflammation chronique. **Nelson et al. (2023)** confirment que l'intégration de curcumine dans des aliments fonctionnels ou sous forme de compléments nutritionnels contribue à atténuer les réponses inflammatoires chez des individus souffrant de troubles métaboliques. Enfin, **Brunet et al. (2019)** indiquent que des formulations avancées (cyclodextrines, complexes phospholipidiques, nanostructures lipidiques) améliorent l'absorption et l'efficacité thérapeutique de la curcumine, renforçant son potentiel dans la prévention nutritionnelle des maladies inflammatoires.

1.8.4. Activité anticancéreuse

La curcumine exerce une activité anticancéreuse par des mécanismes pléiotropes, incluant l'inhibition de NF- κ B, la modulation de p53, l'induction de l'apoptose et le blocage de l'angiogenèse. Elle agit également sur des voies de signalisation clés telles que PI3K/Akt, MAPK et Wnt/ β -caténine, impliquées dans la prolifération et la survie cellulaire. **Khummuang et al. (2020)** ont confirmé son efficacité contre divers cancers, notamment colorectaux et mammaires, tandis que **Panda et al. (2021)** ont mis en évidence son interaction avec le microbiote intestinal, renforçant son rôle dans la prévention des cancers digestifs. **Ali et al. (2023)** rapportent que les formulations micellaires de curcumine permettent une meilleure absorption et une libération ciblée, surmontant ainsi le problème de faible biodisponibilité. Enfin, **Prasad et al. (2021)** soulignent que plusieurs essais cliniques et précliniques soutiennent

l'utilisation du curcuma comme agent complémentaire dans la prévention et le traitement des cancers, en réduisant l'inflammation chronique et le stress oxydatif.

1.9. Domaine d'application

1.9.1. Domaine alimentaire

Dans le secteur alimentaire, le curcuma est utilisé comme additif naturel pour améliorer la qualité et la conservation des produits. Son activité antioxydante permet de ralentir le rancissement oxydatif des graisses et d'augmenter la stabilité des produits transformés, tandis que son activité antimicrobienne contribue à limiter la croissance des microorganismes pathogènes et d'altération. **Meng et al. (2026)** rapportent que l'incorporation de curcuma dans les produits laitiers, les boissons fonctionnelles et les snacks améliore non seulement la durée de conservation, mais aussi la valeur nutritionnelle et sensorielle des aliments. **Gandhi et al. (2022)** soulignent que les formulations nano-encapsulées de curcumine permettent de préserver les qualités organoleptiques tout en renforçant l'efficacité antimicrobienne, ce qui positionne le curcuma comme une alternative durable aux conservateurs chimiques.

1.9.2. Domaine médical et pharmaceutique

Le *Curcuma longa* occupe une place importante dans le domaine médical et pharmaceutique en raison de la diversité de ses activités biologiques. La curcumine, son principal composé actif, est étudiée pour ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses. Plusieurs travaux récents ont confirmé son potentiel thérapeutique dans la prévention et le traitement des maladies chroniques, notamment les cancers, les maladies cardiovasculaires et les troubles métaboliques (**Zaporozhchenko et Subotyalov, 2024**). De plus, des formulations innovantes telles que les nanoparticules, les liposomes et les complexes phospholipidiques ont été développées pour améliorer sa biodisponibilité et son efficacité clinique (**Ali et al., 2023**). Selon **El-Saadony et al. (2025)**, la curcumine est désormais considérée comme un candidat prometteur dans la conception de médicaments naturels et de compléments nutraceutiques.

1.9.3 Domaine agricole

Le *Curcuma longa* présente également des applications prometteuses dans le domaine agricole. Ses extraits sont étudiés comme biopesticides naturels grâce à leurs propriétés antimicrobiennes et antifongiques, capables de protéger les cultures contre divers agents

pathogènes. D'après **El-Saadony et al. (2025)**, l'utilisation de curcumine et de ses dérivés dans les pratiques agricoles contribue à réduire la dépendance aux pesticides chimiques, favorisant ainsi une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement. De plus, des recherches récentes ont montré que l'incorporation de curcuma dans l'alimentation animale améliore la santé intestinale et renforce l'immunité, ce qui se traduit par une meilleure productivité et une réduction de l'usage d'antibiotiques (**Nelson et al., 2023**).

Partie 2. Etude expérimentale

Matériel et méthodes

1.Objectif de l'étude

L'objectif général de cette étude est d'évaluer l'influence de l'incorporation d'un extrait naturel de *Curcuma longa* L. sur la qualité globale du yaourt nature au cours du stockage réfrigéré. Cette étude expérimentale vise à mettre en évidence l'effet de cet extrait sur la stabilité nutritionnelle, microbiologique et sensorielle du yaourt nature. Plus spécifiquement, l'étude s'articule autour des axes suivants :

Comparer l'efficacité de deux solvants d'extraction, un solvant alcoolique (éthanol à 96 %) et un solvant aqueux (eau distillée), dans le cadre d'une extraction solide-liquide des composés bioactifs de *Curcuma longa* L., afin d'identifier le solvant le plus performant en termes de rendement d'extraction.

Sélectionner l'extrait présentant plus de composés bioactifs et d'évaluer son activité antioxydante à travers sa capacité à neutraliser les radicaux libres impliqués dans le stress oxydatif.

Incorporer l'extrait éthanolique de *curcuma longa* L. dans le yaourt nature à différentes concentrations et analyser son impact sur :

- **La stabilité nutritionnelle** du produit au cours de la conservation,
- **La qualité microbiologique**, notamment l'évolution de la flore lactique et la maîtrise des microorganismes d'altération.
- **Les caractéristiques sensorielles** des yaourts.

Déterminer la concentration optimale de l'extrait de *Curcuma longa* L. permettant d'améliorer la qualité et la conservation du yaourt sans altérer ses propriétés sensorielles.

Explorer la valorisation technologique de l'extrait de *Curcuma longa* L. comme additif naturel, en vue du développement de produits laitiers fonctionnels et innovants.

❖ Présentation du lieu de travail

L'ensemble des expérimentations a été réalisé au sein des laboratoires spécialisés de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, plus précisément dans les laboratoires de biochimie alimentaire, de microbiologie ainsi que dans le laboratoire des sciences et techniques de production animale (LSTPA) Hassi Mameche.

2. Matériel biologique

2.1. Matériel végétal

Les rhizomes de *Curcuma longa* L. utilisés dans le cadre de cette étude ont été acquis en février 2026 auprès d'un commerçant local situé dans la commune de Sour (Mostaganem, Algérie). Le choix de cette espèce s'est appuyé sur ses nombreuses propriétés nutritionnelles et biologiques rapportées dans la littérature scientifique, ainsi que sur sa disponibilité au niveau régional. Les échantillons sélectionnés présentaient des caractéristiques morphologiques satisfaisantes, notamment une coloration homogène et une forme typique des rhizomes, ainsi qu'un bon état sanitaire attesté par l'absence visible de moisissures ou d'altérations. Après leurs achats, les rhizomes ont été acheminés au laboratoire afin de procéder aux différentes analyses prévues dans cette étude (**Figure 10**).



Figure 10. Echantillon de rhizomes de *Curcuma longa* L. (Photo originale).

2.2. Microorganismes utilisés

Les souches de bactéries lactiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, fournies par le responsable du laboratoire LSTPA, le Professeur A.E.A. DAHOU, ont été utilisées sous forme lyophilisée à une concentration de 2 % (v/v). Ces cultures ont servi à la préparation du levain lactique destiné à la fermentation du yaourt nature dans le cadre des essais expérimentaux.

2.3. Matière première alimentaire

La poudre de lait lyophilisée de la marque LOYA (Algérienne) (**Figure 11**), achetée dans une supérette de Mostaganem, a été utilisée comme matrice nutritive principale pour la reconstitution du lait. Elle a constitué le substrat de base nécessaire à la préparation du lait destiné à la fabrication du yaourt nature dans le cadre des essais expérimentaux.



Figure 11. La poudre de lait LOYA (photo originale)

3. Préparation des échantillons

3.1. Préparation de la poudre

Les rhizomes de Curcuma longa L. ont été soigneusement lavés à l'eau distillée afin d'éliminer les impuretés et les résidus superficiels, puis séchés à température ambiante, à l'abri de la lumière directe, jusqu'à dessiccation complète.

Après séchage, ils ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique pour obtenir une poudre homogène de couleur jaune orangé caractéristique.

La poudre a été tamisée afin d'uniformiser la granulométrie, puis conditionnée dans des récipients hermétiques, propres et secs, protégés de la lumière et de la chaleur (**Figure 12**). Cette matière première standardisée a été soumise à une seule procédure d'extraction, réalisée avec différents solvants de polarité variable, dans le but d'obtenir des extraits comparatifs.



Figure 12. La poudre de *Curcuma longa* L. (photo originale).

3.2. Préparation de l'extrait de *Curcuma longa* L.

3.2.1. Extraction solide-liquide

L'extraction des composés bioactifs de *Curcuma longa* a été effectuée conformément à la méthode décrite par **Kosar et al. (2005)**, reposant sur une extraction solide-liquide discontinue.

À cet effet, 10 g de poudre fine de rhizomes ont été introduits dans un erlenmeyer, puis ont été ajoutés 100 ml de solvant, à savoir l'éthanol à 96 % pour l'extraction alcoolique et l'eau distillée pour l'extraction aqueuse. Les mélanges ont ensuite été incubés séparément dans un bain-marie thermostatique réglé à 60 °C, sous agitation continue pendant 20 minutes. Après cette étape, les suspensions ont été filtrées à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1 afin de séparer le filtrat de la matière végétale résiduelle. L'opération d'extraction a été répétée à deux reprises sur le même résidu végétal, dans le but d'optimiser le rendement et d'assurer une extraction exhaustive des composés bioactifs.

Les trois filtrats obtenus pour chaque solvant ont été regroupés, puis concentrés par évaporation sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif (BUCHI R-210) à 40 °C, conduisant à l'obtention des extraits bruts éthanolique et aqueux. Les résidus concentrés obtenus ont ensuite été placés dans une étuve réglée à 30 °C pendant deux heures, afin d'éliminer toute trace résiduelle de solvant (**Figure 13 et 14**).

Enfin, les extraits secs ont été recueillis sous forme de poudre, transférés dans des flacons en verre hermétiquement fermés et conservés au réfrigérateur (4 °C) jusqu'à leur utilisation pour les analyses ultérieures.



(01)



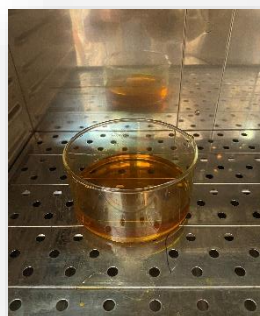
(02)



(03)



(04)



(05)

Figure 13. Les étapes d'extraction solide-liquide éthanolique (photo originale).

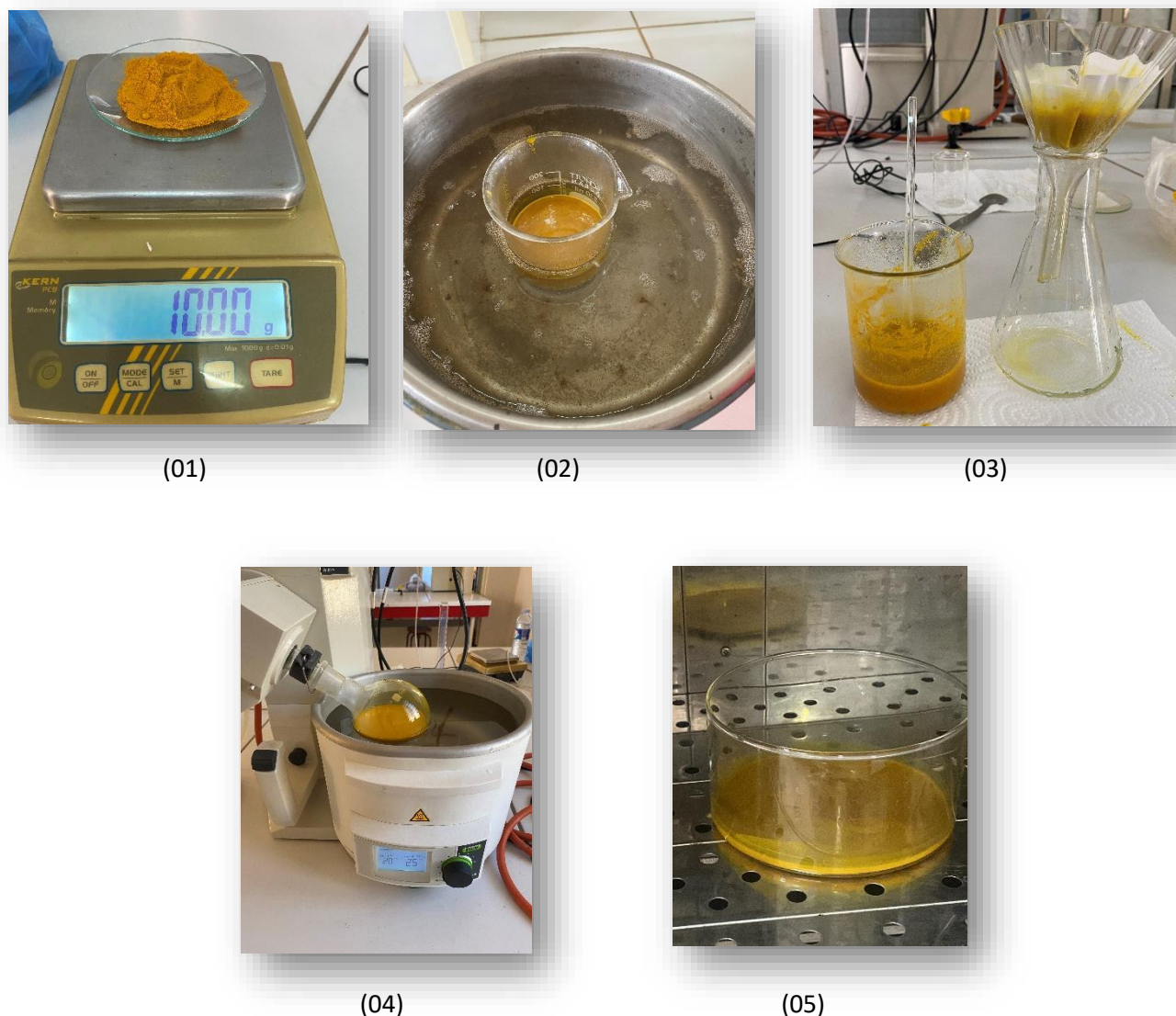


Figure 14. Les étapes d'extraction solide-liquide aqueux (photo originale).

3.2.2. Détermination du rendement d'extraction

Les extraits éthanolique et aqueux obtenus après évaporation à sec sous pression réduite ont été pesés afin de déterminer la masse sèche finale. Le rendement d'extraction a été calculé par rapport à la masse initiale de 10 g de matière végétale, puis exprimé en pourcentage comme décrit par **Abudunia (2018)**. Le rendement d'extraction a été déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (\text{Me/Mv}) \times 100$$

Me : la masse de l'extrait sec après évaporation du solvant (en gramme).

Mv : la masse de la poudre végétale mise en extraction (en gramme).

4. Techniques analytiques

4.1. Criblage photochimique des composés bioactifs

Le criblage phytochimique des extraits éthanoliques et aqueux de *Curcuma longa* L. a été réalisé afin de mettre en évidence la présence ou l'absence des principales familles de métabolites secondaires. Les tests ont été effectués selon des méthodes classiques basées sur des réactions de coloration en présence de réactifs spécifiques.

- **Flavonoïdes**

Selon la méthode décrite par **Harborne (1998)**, 5 ml d'extrait ont été soumis à l'action de quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré, suivies de l'ajout de fins copeaux de magnésium métallique. L'apparition d'une coloration jaune à rouge a été considérée comme une réaction positive, révélant la présence de flavonoïdes dans l'échantillon analysé.

- **Tanins**

Pour la mise en évidence des tanins, 1 ml d'extrait a été mélangé à 2 ml d'eau distillée, puis 2 à 3 gouttes de solution de chlorure ferrique (FeCl_3) à 1 % ont été ajoutées. L'apparition d'une coloration verte ou bleu-vert a été interprétée comme une réaction positive, indiquant la présence de tanins dans l'échantillon, selon **Douhou et al. (2003)**.

- **Terpénoïdes**

D'après **Trease et Evans (1987)**, La mise en évidence des terpénoïdes a été réalisée en introduisant 2,5 ml d'extrait dans un tube à essai, suivis de 0,4 ml de chloroforme. Ensuite, 0,6 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4) ont été ajoutés délicatement le long de la paroi du tube. L'apparition d'une coloration marron-rouge à l'interface des deux phases a confirmé la présence de terpénoïdes.

- **Coumarines**

Conformément à la méthode de **Sawant et Godghate (2013)**, 2 ml d'extrait ont été mélangés à 3 ml de solution de soude (NaOH) à 10 %. L'apparition d'une coloration jaune a été considérée comme un indicateur positif de la présence de coumarines.

- **Saponines**

Pour la détection des saponines, 2 g de poudre de l'extrait de plante ont été introduits dans un bécher contenant 80 ml d'eau distillée. Après agitation vigoureuse et filtration, le filtrat a été fortement agité. La formation d'une mousse persistante et stable pendant plusieurs minutes a été interprétée comme une indication positive de la présence de saponines (**Kalla, 2012**).

- **Phénols**

L'extrait testé a été traité avec 4 gouttes de solution alcoolique de FeCl_3 . L'apparition d'une coloration noire bleutée a confirmé la présence de composés phénoliques tel que rapporté par **Michael et al. (2017)**.

- **Sucres réducteurs**

Pour la détection des sucres réducteurs, 2 ml d'extrait ont été soumis à une hydrolyse acide par HCL dilué. Après neutralisation, la solution a été chauffée en présence des réactifs de Fehling A et B. La formation d'un précipité rouge brique a indiqué la présence de sucres réducteurs (**Sawant et Godghate, 2013**).

4.2. Analyses quantitatives

4.2.1. Dosage des polyphénols totaux

La détermination de la teneur en polyphénols totaux de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. a été réalisée par spectrophotométrie selon la méthode de Folin-Ciocalteu, largement utilisée pour l'évaluation des composés phénoliques (**Singleton et Rossi, 1965 ; Boizot et Charpentier, 2006**). Le réactif de Folin-Ciocalteu, constitué d'un mélange d'acide phosphomolybdique et d'acide phosphotungstique, est réduit par les groupements hydroxyles ($-\text{OH}$) des polyphénols, entraînant la formation d'oxydes de tungstène et de molybdène responsables d'une coloration bleu foncé. L'intensité de cette coloration, mesurée à 765 nm, est proportionnelle à la concentration en polyphénols présents dans l'échantillon.

La courbe d'étalonnage a été établie à partir d'une solution mère d'acide gallique dissoute dans l'éthanol, puis diluée successivement pour obtenir des concentrations de 25 à 500

mg/L. Les absorbances des solutions étalons ont été mesurées à 765 nm contre un blanc d'éthanol, permettant de tracer la courbe standard.

Pour l'analyse, une quantité définie d'extrait éthanolique a été mélangée à 5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu. Après incubation de 10 minutes à température ambiante, 4 ml de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % préparé dans l'éthanol ont été ajoutés. Le mélange a été vigoureusement agité puis incubé à l'obscurité pendant 2 heures. L'absorbance a ensuite été mesurée à 765 nm.

La teneur en polyphénols totaux a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage et exprimée en milligrammes équivalents d'acide gallique (mg EAG) par gramme d'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L.

$$\text{TPT} = \text{C.V/M}$$

Avec :

TPT : Teneur en polyphénols totaux

- ✓ C : Concentration d'acide gallique $\mu\text{g/ml}$.
- ✓ V : volume d'extrait (ml).
- ✓ M : poids de l'extrait.

Les tests ont été répétés trois fois pour garantir la fiabilité des résultats.

4.2.2. Dosage des flavonoïdes totaux

La teneur en flavonoïdes totaux de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. a été déterminée par la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium (AlCl_3), selon le protocole décrit par **Djeridane et al. (2006)**. Cette méthode repose sur la formation d'un complexe stable de couleur jaune entre le trichlorure d'aluminium et les groupements hydroxyles ($-\text{OH}$) des flavonoïdes. Ce complexe présente une absorption maximale dans le domaine visible à une longueur d'onde de 430 nm (**Boudiaf, 2006**).

La courbe d'étalonnage a été réalisée à partir d'une solution mère de quercétine dissoute dans l'éthanol, puis diluée successivement (1/20, 1/40, 1/50, 1/100) afin d'obtenir des concentrations variées. Les absorbances des solutions étalons ont été mesurées à 430 nm contre un blanc d'éthanol, permettant de tracer la courbe standard.

Pour l'analyse des échantillons, une quantité définie d'extrait éthanolique a été mélangée avec le réactif d' AlCl_3 , puis le mélange a été vigoureusement agité. Après une incubation de 10 minutes à température ambiante, l'absorbance a été relevée à 430 nm.

La teneur en flavonoïdes totaux a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage de la quercétine et exprimée en milligrammes équivalents de quercétine (mg EQ) par gramme d'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L.

$$\text{TFT} = \text{C.V} / \text{M}$$

Avec :

TFT : Teneur en flavonoïdes totaux

- ✓ C : Concentration en Quercétine $\mu\text{g/ml}$
- ✓ V : volume d'extrait (ml)
- ✓ M : poids d'extrait (mg)

Chaque test a été réalisé en triplicata afin de garantir la fiabilité des résultats.

4.2.3. Dosage des tanins totaux

La teneur en tanins condensés de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. a été déterminée par la méthode colorimétrique à la vanilline en milieu acide, selon le protocole décrit par **Mahmoudie et al. (2013)**. Cette méthode repose sur la réaction des flavan-3-ols et des pro-anthocyanidines (tanins condensés) avec la vanilline en présence d'acide chlorhydrique, produisant une coloration rouge caractéristique. L'intensité de cette coloration, mesurée par spectrophotométrie à 500 nm, est proportionnelle à la concentration en tanins présents dans l'échantillon.

La courbe d'étalonnage a été réalisée à partir d'une solution mère de catéchine dissoute dans l'éthanol, puis diluée successivement pour obtenir différentes concentrations. Les absorbances des solutions étalons ont été mesurées à 500 nm contre un blanc d'éthanol, permettant de tracer la courbe standard.

Pour l'analyse des échantillons, une quantité définie d'extrait éthanolique a été mélangée avec une solution de vanilline (1% dans l'éthanol) et de HCL concentré. Après incubation de 20 minutes à température ambiante, l'absorbance a été relevée à 500 nm.

La teneur en tanins condensés a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage de la catéchine et exprimée en milligrammes équivalents de catéchine (mg EC) par gramme d'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L.

Les tests ont été répétés trois fois pour garantir la fiabilité des résultats.

4.2.4. Détermination de l'activité antioxydante

4.2.4.1. Activité antiradicalaire DPPH

L'activité antioxydante de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. a été évaluée par la méthode du radical libre 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH), molécule stable possédant un électron célibataire et présentant une absorption maximale à 517 nm (**Bui Thanh et al., 2016**). Lorsqu'un antioxydant interagit avec le DPPH, il transfère un électron ou un atome d'hydrogène, réduisant ainsi le radical en une forme non radicalaire de couleur jaune, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance mesurable par spectrophotométrie (**Lakshmi et al., 2014**).

La solution mère de DPPH a été préparée en dissolvant 25 mg de DPPH dans 100 ml d'éthanol pur à 96 %, puis conservée à l'abri de la lumière afin d'éviter toute dégradation. Une gamme d'étalonnage a été réalisée à partir de cette solution, et l'absorbance a été mesurée à 517 nm contre un blanc d'éthanol, selon la méthode décrite par **Bougandoura et Bendimerad (2013)**.

Pour l'essai, 50 µl de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. à différentes concentrations (10, 40, 80 et 100 µg/ml) ont été ajoutés à 1,95 ml de solution éthanolique de DPPH. Un contrôle négatif a été réalisé en remplaçant l'extrait par 50 µl d'éthanol, mélangé à 1,95 ml de solution de DPPH. Les mélanges ont été incubés à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante, puis l'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

L'acide ascorbique a été utilisé comme antioxydant de référence (contrôle positif) et a été soumis aux mêmes conditions expérimentales que les extraits étudiés. Une courbe d'étalonnage a été réalisée à partir de solutions standards d'acide ascorbique aux concentrations de 10, 40, 80 et 100 µg/ml, en suivant les mêmes étapes du protocole de dosage (**Brand-Williams et al., 1995**).

Les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalents acide ascorbique par gramme de matière végétale fraîche (mg EAA/g MVF).

Chaque test a été répété trois fois afin d'assurer la reproductibilité des mesures.

Expression des résultats

La capacité de piégeage du radical libre est calculée à travers le pourcentage d'inhibition :

$$\text{Le pourcentage d'inhibition} = ((\text{Abs contrôle} - \text{Abs test}) / \text{Abs contrôle}) \times 100$$

✓ **Abs contrôle** : Absorbance de la solution DPPH.

✓ **Abs test** : Absorbance de l'extrait.

Calcul des concentrations IC₅₀

Pour l'extrait étudié, la valeur de l'IC₅₀ a été déterminée, correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres DPPH. Cette valeur a été calculée à partir de l'équation de la droite de régression issue de la courbe représentant les pourcentages d'inhibition en fonction des différentes concentrations testées, conformément à **Bouras et Houchi (2013)**, en comparaison avec un standard de référence utilisé dans l'étude.

5. Procédé de fabrication du yaourt

5.1. Préparation du levain lactique

La préparation du levain lactique a été effectuée à partir de lait reconstitué obtenu par dissolution de 12 g de poudre de lait dans 80 ml d'eau minérale. Après homogénéisation, le mélange a été pasteurisé à 92 °C pendant 3 min afin d'assurer sa stabilité microbiologique. Le lait a ensuite été refroidi à 45 °C puis inoculé avec les souches lactiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*.

La suspension inoculée a été incubée à 42 °C pendant 24 h afin de favoriser le développement et l'activation du levain lactique. À l'issue de l'incubation, le levain obtenu a été conservé au réfrigérateur à 4 °C jusqu'à son utilisation pour l'ensemencement des différents échantillons de yaourt (**Ge et al., 2024**).

5.2. Préparation du yaourt

La préparation du yaourt a été réalisée en reconstituant le lait par dissolution de 140 g de poudre de lait Loya avec 850 ml d'eau minérale, soit une proportion correspondant à 1L de

lait reconstitué. Dans le cadre de ce travail, un volume total de 3 L a été préparé en respectant les mêmes proportions afin d'obtenir une quantité suffisante pour la réalisation des analyses physicochimiques, nutritionnelles, microbiologiques et sensorielles. Après homogénéisation, le lait reconstitué a subi une pasteurisation à 92 °C pendant 3 min, suivie d'un refroidissement jusqu'à 45 °C.

Le levain lactique composé de *Streptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* a ensuite été inoculé au mélange afin d'assurer une répartition homogène des microorganismes fermentaires.

Le laitensemencé a été réparti en trois lots expérimentaux :

- Un lot témoin sans ajout d'extrait (yaourt nature).
- Un lot enrichi avec 1 mg d'extrait de *Curcuma longa* L. pour 100 ml.
- Un lot enrichi avec 3 mg du même extrait pour 100 ml.

Les échantillons ont été incubés à 42 °C jusqu'à obtention d'un gel coagulé présentant un pH final de 4,6. Les yaourts obtenus ont ensuite été conservés à 4 °C jusqu'à la réalisation des différentes analyses (**Figure 15**).

Ce protocole expérimental a été élaboré en s'appuyant sur les travaux de **Benzineb et al. (2025)**, lesquels ont mis en évidence les propriétés antioxydantes de l'extrait de *Curcuma longa* L. ainsi que son potentiel d'application dans les produits laitiers fermentés, justifiant ainsi l'intérêt scientifique de l'enrichissement du yaourt par cet extrait.



Figure 15. Les trois échantillons de yaourt nature préparés selon le protocole expérimental.

6. Analyses physicochimiques et nutritionnelle du yaourt

Les analyses physicochimiques et nutritionnelles ont été réalisées sur les différents échantillons de yaourt. Les déterminations ont été effectuées aux intervalles de conservation J0, J7, J14, J21 et J30 afin d'évaluer l'évolution des caractéristiques du produit durant le stockage réfrigéré.

Les paramètres étudiés portaient sur les propriétés physicochimiques et nutritionnelles des yaourts, notamment :

6.1. Détermination de l'extrait sec dégraissé

L'extrait sec dégraissé (ESD) correspond à la fraction résiduelle obtenue après élimination complète de l'eau contenue dans l'échantillon. Il représente l'ensemble des constituants non volatils du produit, notamment les protéines, les lipides, les glucides, les sels minéraux et les autres matières solides. L'EST constitue un paramètre important dans l'évaluation de la qualité physicochimique et de la valeur nutritionnelle des produits laitiers fermentés.

La détermination de l'extrait sec dégraissé a été réalisée selon la méthode de l'étuve recommandée par la Fédération Internationale de Laiterie (**FIL, 2018**). Une quantité de 5g de l'échantillon de yaourt a été placée dans une capsule tarée, puis introduite dans une étuve réglée à 102°C. L'échantillon a été maintenu jusqu'à obtention d'une masse constante, indiquant l'élimination totale de l'humidité. La perte de masse enregistrée correspond à la teneur en eau, tandis que le résidu sec obtenu représente l'extrait sec dégraissé, exprimé en pourcentage de matière sèche par rapport à la masse initiale de l'échantillon.

6.2. Détermination du pH et de l'acidité titrable

Le pH constitue un indicateur de l'activité des ions hydrogène (H^+) présents dans le milieu, permettant d'évaluer le degré d'acidité d'un produit. Sa mesure a été réalisée à l'aide d'un pH-mètre calibré. Cette analyse fournit une estimation directe de l'acidité libre du yaourt et constitue un paramètre essentiel pour le suivi de la fermentation lactique.

L'acidité titrable, quant à elle, correspond à l'ensemble des acides présents dans le milieu, qu'ils soient dissociés ou non. Elle est déterminée par neutralisation des acides faibles par une solution alcaline standard (NaOH 1/9 N), en présence de phénolphthaléine comme indicateur

coloré. Ce titrage permet de quantifier l'acidité totale exprimée en équivalents d'acide lactique, et reflète l'intensité de la fermentation ainsi que l'évolution biochimique du produit au cours du stockage.

Ces deux paramètres sont classiquement utilisés dans le contrôle de la qualité des produits laitiers fermentés et sont décrits dans les méthodes analytiques de référence appliquées aux yaourts (**Codex Alimentarius, 2022 ; AOAC, 2023**).

6.3. Détermination de la teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse a été déterminée selon la méthode de Gerber, une méthode volumétrique de référence utilisée dans l'analyse des produits laitiers. Le principe repose sur la dégradation des protéines par l'acide sulfurique concentré, entraînant la libération de la matière grasse sous l'effet de la chaleur exothermique de la réaction. L'alcool iso-amylique est ajouté afin de faciliter la séparation nette de la phase grasse et d'éviter la formation d'émulsions. Après centrifugation, la matière grasse se sépare de la phase aqueuse et est mesurée directement sur le butyromètre (**Andrade et al., 2022**).

6.4. Détermination de la teneur en protéines

La teneur en protéines des échantillons de yaourt a été déterminée selon la méthode de **Kjeldahl (1883)**, basée sur la quantification de l'azote total. L'échantillon est soumis à une digestion en présence d'acide sulfurique concentré et d'un catalyseur, entraînant la minéralisation de la matière organique et la transformation de l'azote organique en ions ammonium. Après alcalinisation, l'ammoniac libéré est distillé puis recueilli dans une solution d'acide borique. La quantité d'azote est ensuite déterminée par titrage avec une solution standard d'acide. La teneur en protéines est calculée en multipliant la teneur en azote total par le facteur de conversion spécifique aux produits laitiers ($N \times 6,38$).

Ces analyses ont permis d'évaluer la stabilité physico-chimique du yaourt ainsi que l'impact de l'extrait de *Curcuma longa* sur sa qualité nutritionnelle au cours du stockage.

6.5. Détermination de la teneur en lactose

Le lactose constitue le principal glucide du lait et des produits laitiers fermentés, jouant un rôle déterminant dans la fermentation et la valeur nutritionnelle du yaourt. Sa quantification est essentielle pour évaluer la qualité technologique et la digestibilité du produit.

La détermination du lactose a été réalisée selon la méthode enzymatique recommandée par la Fédération Internationale de Laiterie **FIL (2018)** et **Boehringer Mannheim (1989)**. Le principe repose sur l'hydrolyse du lactose par la β -galactosidase, libérant du glucose et du galactose. Le glucose formé est ensuite oxydé par le glucose-déshydrogénase (GDH) en présence de NAD^+ , produisant du NADH. L'augmentation de l'absorbance du NADH est mesurée au spectrophotomètre à 340 nm, et la concentration en lactose est calculée à partir de cette variation, en tenant compte de la stœchiométrie de la réaction enzymatique. Cette méthode est reconnue pour sa spécificité et sa sensibilité, et constitue une référence internationale pour l'analyse du lactose dans les produits laitiers fermentés.

6.6. Détermination de la teneur en cendres

La teneur en cendres correspond à la fraction minérale totale d'un produit alimentaire, obtenue après incinération complète de la matière organique. Elle constitue un paramètre essentiel pour l'évaluation de la qualité nutritionnelle et la conformité réglementaire des produits laitiers fermentés, en reflétant la présence des sels minéraux indispensables.

La détermination des cendres a été réalisée selon la méthode de calcination au four à moufle (**AFNOR, 1985**). Une masse de 5 g de l'échantillon de yaourt a été placée dans une capsule tarée, puis introduite dans un four à moufle réglé à 550 °C pendant 03 heures. L'incinération a été poursuivie jusqu'à obtention d'un résidu minéral blanc ou gris clair, indiquant la destruction complète de la matière organique. La masse du résidu correspond à la teneur en cendres, exprimée en pourcentage par rapport à la masse initiale de l'échantillon. Cette méthode est reconnue pour sa précision et constitue une référence internationale pour l'analyse des produits laitiers fermentés.

6.7. La viscosité

La viscosité est un paramètre rhéologique fondamental qui reflète la consistance et la texture des produits laitiers fermentés. Elle influence directement la perception sensorielle du yaourt et constitue un indicateur de sa qualité technologique.

La détermination de la viscosité a été réalisée selon la méthode du viscosimètre à billes décrite par la Fédération Internationale de Laiterie (**FIL, 2018**). Le principe repose sur la mesure du temps nécessaire à une bille de verre pour parcourir une distance déterminée dans l'échantillon placé dans un tube gradué, sous l'effet de la gravité. La viscosité est calculée à

partir de la vitesse de chute de la bille, en tenant compte de son diamètre, de sa densité et de celle du yaourt. Les résultats sont exprimés en centipoises (cP), unité de référence internationale pour la viscosité dynamique. Cette méthode est reconnue pour sa simplicité, sa reproductibilité et son adéquation à l'analyse des produits laitiers fermentés.

7. Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été effectuées à différents temps de conservation du produit, à savoir J0, J7, J14, J21 et J30, afin de suivre l'évolution de la flore lactique et d'évaluer la stabilité microbiologique et sanitaire des échantillons au cours du stockage réfrigéré.

Les protocoles analytiques appliqués sont basés sur les recommandations de l'Organisation internationale de normalisation (ISO, 2017) ainsi que sur les exigences réglementaires algériennes relatives aux produits laitiers fermentés (J.R.A.D, 2021).

L'objectif de ces analyses était de caractériser la flore d'intérêt technologique constituée de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, de rechercher les indicateurs d'hygiène tels que les Enterobacteriaceae, et de vérifier l'absence de microorganismes pathogènes majeurs, notamment *Staphylococcus aureus* et *Salmonella spp.*.

- **Recherche et dénombrement *Streptococcus thermophilus***

Le dénombrement de *Streptococcus thermophilus* a été réalisé par ensemencement en profondeur sur milieu gélosé M17, suivi d'une incubation à 37 °C pendant 48 heures en conditions atmosphère microaérophiles. Cette méthode est conforme à la norme **ISO 27205 :2010**, relative à l'identification et au dénombrement des bactéries lactiques thermophiles utilisées comme cultures de départ dans les produits laitiers fermentés.

- **Recherche et dénombrement des *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus***

La recherche et le dénombrement de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* ont été réalisés sur milieu MRS (de Man, Rogosa et Sharpe) par ensemencement en surface. Les boîtes de Pétri ont été incubées à 30 °C pendant 72 heures en conditions anaérobies. Le protocole appliqué correspond à la norme **ISO 15214 :1998**, qui décrit la méthode de dénombrement des bactéries lactiques mésophiles par comptage des colonies.

- **Recherche et dénombrement des Enterobacteriaceae**

La recherche et le dénombrement des Enterobacteriaceae, indicateurs d'hygiène et de contamination fécale, ont été effectués sur gélose VRBG (Violet Red Bile Glucose). Les boîtes de Pétri ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures. Les colonies présumées ont été confirmées par un test oxydase négatif. Cette méthode est conforme à la norme **ISO 21528-2 :2017**, relative au dénombrement des entérobactéries dans les denrées alimentaires.

- **Recherche et dénombrement des *Staphylococcus aureus***

La mise en évidence de *Staphylococcus aureus* a été réalisée sur gélose de Chapman (Mannitol Salt Agar), milieu sélectif contenant 7,5 % de NaCl et du mannitol. Les boîtes pétries ont été incubées à 37 °C pendant 24 à 48 heures. Les colonies fermentant le mannitol apparaissent jaunes avec un halo jaune, tandis que les staphylocoques coagulase-négatifs présentent des colonies rouges ou rosées. Les colonies suspectes ont été confirmées par des tests enzymatiques de coagulase et catalase. Cette approche est conforme aux recommandations de la norme **ISO 6888-1 :2021**, qui encadre le dénombrement des staphylocoques coagulase-positifs.

- **Recherche des Salmonelles**

La détection de *Salmonella sp* a suivi un protocole en plusieurs étapes :

- **Pré-enrichissement** : 25 g d'échantillon ont été homogénéisés dans 225 ml de bouillon peptoné tamponné, puis incubés à 37 °C pendant 18 à 24 heures.

- **Enrichissement sélectif** : transfert des cultures dans le bouillon Rappaport-Vassiliadis, incubé à 42 °C, et dans le bouillon Muller-Kauffmann tétrathionate novobiocine, incubé à 37 °C pendant 24 heures.

- **Isolement** : ensemencement sur gélose sélectif Hektoen, suivi d'une incubation à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

- **Confirmation** : les colonies ont été identifiées par des tests biochimiques utilisant une galerie (TSI, LIA, uréase et citrate de Simmons).

Cette méthode est conforme à la norme **ISO 6579-1 :2017**, référence internationale pour la recherche et le dénombrement de *Salmonella sp* dans les denrées alimentaires.

Le calcul des unités formant colonies (UFC/mL) a été effectué selon la formule :

$$\text{UFC/ml} = \text{N/D}$$

Avec :

N : nombre de colonies comptées.

D : dilution considérée.

8. Analyse sensorielle

Afin d'évaluer l'impact de l'incorporation du *Curcuma longa* L. sur les propriétés organoleptiques du produit fini, une analyse sensorielle a été réalisée au sein du laboratoire de recherche LSTPA.

L'évaluation a été effectuée par un jury mixte, constitué de profils complémentaires permettant une appréciation à la fois analytique et hédonique du produit. Celui-ci comprenait :

- **Membres experts** : Le directeur du laboratoire, l'ingénieur de laboratoire ainsi que des enseignants-chercheurs spécialisés en sciences alimentaires.
- **Membres consommateurs** : Un groupe d'étudiants spécialité PTL, représentant la cible potentielle pour ce type de produit innovant.

Les conditions de dégustation ont été strictement contrôlées afin de limiter les biais environnementaux. L'évaluation sensorielle a été réalisée à l'aide d'une fiche d'analyse (**Annexe 5**) structurée autour de trois principaux axes :

- **Caractères visuels** : intensité de la couleur jaune (propre au curcuma) et homogénéité du produit.
- **Caractères rhéologiques** : appréciation de la viscosité et de la consistance de la texture en bouche.
- **Caractères gustatifs et aromatiques** : évaluation de l'arôme, de la saveur, ainsi que l'équilibre entre l'acidité et la sucrosité.

Chaque paramètre sensoriel a été évalué à l'aide d'une échelle d'intensité graduée de 1 à 5. L'acceptabilité globale a été déterminée au moyen d'une échelle hédonique de 1 à 8 points, permettant de positionner le yaourt enrichi au curcuma par rapport aux attentes des dégustateurs et à leur niveau d'appréciation (**Stone et al., 2023**).

Résultats et discussion

1. Rendement de l'extrait *Curcuma longa* L.

L'extraction des composés phénoliques de *Curcuma longa* L. a été réalisée par deux types de solvants, à savoir l'éthanol (96 %) et l'eau distillée, selon une technique d'extraction solide-liquide discontinue. Les extraits obtenus après évaporation à sec et sous pression réduite ont été pesés afin de déterminer la masse sèche. Le rendement a été calculé par rapport à 10 g de poudre végétale initiale et exprimé en pourcentage. Les résultats sont présentés dans le **tableau 04**.

Tableau 04. Rendements des extraits éthanolique et aqueux de *Curcuma longa* L.

Type d'extrait	Rendement (%)
Éthanolique	7,0 %
Aqueux	3,0 %

Les résultats obtenus montrent que le rendement d'extraction de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. est de 7 %, soit plus du double de celui de l'extrait aqueux (3 %). Cette différence suggère que l'éthanol constitue un solvant plus efficace pour l'extraction des composés bioactifs présents dans les rhizomes de curcuma. En effet, les principaux métabolites secondaires de cette plante, notamment les curcuminoïdes (curcumine) ainsi qu'une partie des composés phénoliques, présentent une meilleure solubilité dans les solvants organiques polaires tels que l'éthanol que dans l'eau distillée.

Ces résultats sont en accord avec plusieurs études récentes ayant rapporté des rendements d'extraction plus élevés avec l'éthanol qu'avec l'eau. Par exemple, **Grover et al. (2021)** ont obtenu un rendement de 11,04 % avec l'éthanol contre 3,48 % avec un mélange hydroéthanolique, confirmant l'efficacité supérieure des solvants éthanoliques pour l'extraction des métabolites secondaires du curcuma.

Le rendement éthanolique obtenu se situe dans l'intervalle généralement rapporté dans la littérature, compris entre 6 % et 12 % (**Rathi, 2017 ; Lee et al., 2003**).

En revanche, le rendement aqueux, plus faible, reste cohérent avec les valeurs habituellement observées (2 % à 4 %) (**Wang et al., 2020**) ce qui reflète les limites de l'eau comme solvant d'extraction des polyphénols. La faible valeur obtenue avec l'extraction aqueuse peut être expliquée par la nature chimique des constituants du curcuma. Les

curcuminoïdes étant faiblement solubles dans l'eau. Des observations similaires ont été rapportées par **Wang et al. (2024)**, qui ont conclu que l'eau seule n'est pas le solvant le plus approprié pour maximiser la récupération des composés phénoliques du curcuma.

Ces résultats mettent en évidence l'importance du choix du solvant dans l'efficacité de l'extraction. L'éthanol apparaît comme un solvant plus performant pour l'obtention d'extraits riches en composés phénoliques, tandis que l'eau, bien que moins efficace en termes de rendement, reste intéressante pour l'extraction de certaines fractions bioactives hydrosolubles.

L'efficacité globale de l'extraction peut être modulée par différents paramètres tels que la concentration du solvant, la technique d'extraction, la température et la durée d'extraction, ainsi que par des facteurs liés à la plante elle-même (l'origine de la plante et période de récolte) (**Merabet et al., 2024**).

2. Criblage photochimique des composés bioactifs (Analyse qualitative)

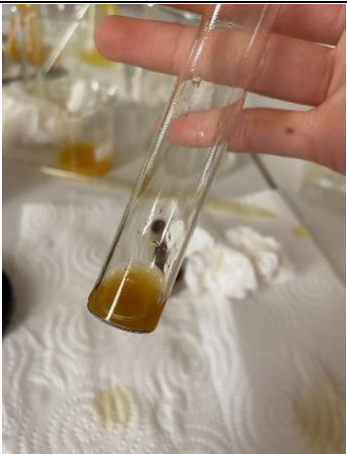
L'analyse phytochimique préliminaire des extraits de *Curcuma longa* L. a permis de mettre en évidence la présence de plusieurs groupes de métabolites secondaires.

Les tests qualitatifs réalisés ont révélé la présence de composés phénoliques, de flavonoïdes, de tanins, de terpénoïdes, de coumarines ainsi que de sucres réducteurs, mais absence de saponines. La majorité de ces bioactifs ont été détectés dans l'extrait éthanolique (**Figure 16**), tandis que l'extrait aqueux (**Figure 17**) a montré une richesse moindre en métabolites secondaires.

	
Flavonoïdes	Coumarines

	
Tanins	Phénols
	
Sucres réducteurs	Terpénoïdes
	
Saponines	

Figure 16. Résultats des tests phytochimiques de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L.

	
Flavonoïdes	Coumarines
	
Tanins	Phénols
	
Sucres réducteurs	Terpénoïdes

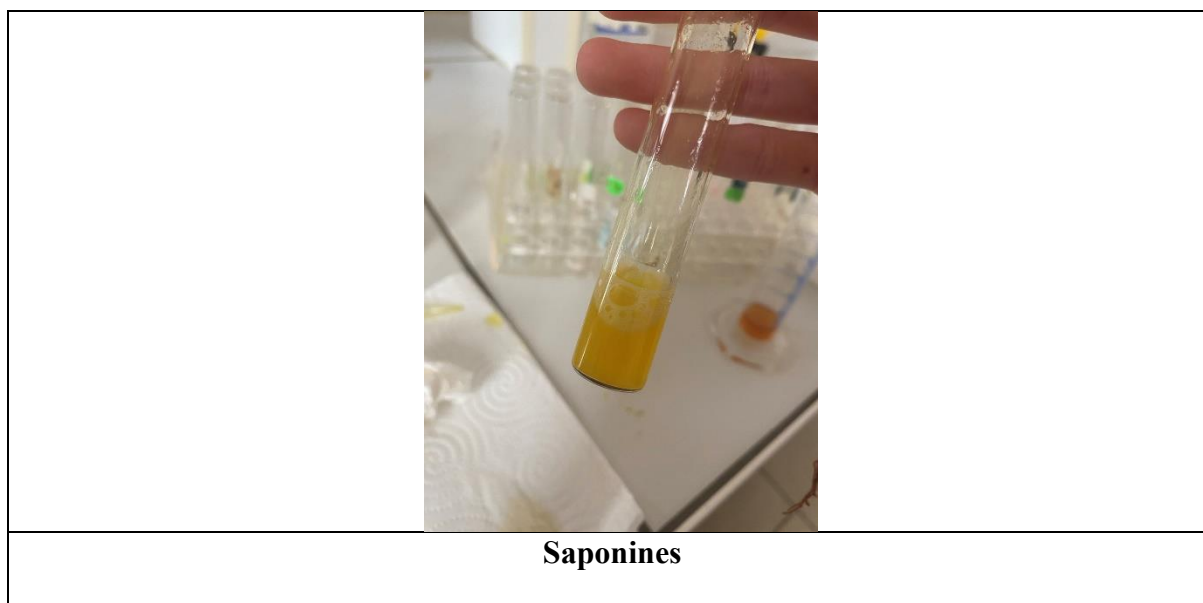


Figure 17. Résultats des tests phytochimiques de l'extrait aqueux de *Curcuma longa* L.

Les analyses phytochimiques réalisées sur les extraits de *Curcuma longa* L. ont permis de mettre en évidence des différences notables selon le solvant utilisé (**Tableau 05**).

Tableau 05. Résultats des analyses phytochimiques des deux extraits.

Types d'extrait Composés	Extrait éthanolique	Extrait aqueux
Flavonoïdes	+	-
Coumarines	+	-
Tanins	+	-
Phénols	+	-
Sucres réducteurs	+	+
Terpénoïdes	+	-
Saponines	-	+

Présence : +, Absence : -

L'extrait éthanolique se distingue par la présence de la majorité des métabolites secondaires recherchés, notamment les tanins, phénols, terpénoïdes, flavonoïdes et coumarines, ainsi que les sucres réducteurs. En revanche, l'extrait aqueux présente un profil plus restreint,

marqué par l'absence de ces composés, mais révèle la présence des saponines et des sucres réducteurs.

Cette divergence traduit l'influence directe de la polarité du solvant sur la sélectivité de l'extraction. L'éthanol, de polarité intermédiaire, est reconnu pour sa capacité à solubiliser une large gamme de molécules, allant des composés phénoliques aux flavonoïdes et coumarines, ce qui explique la richesse de son profil. L'eau, plus polaire, favorise l'extraction des saponines, glycosides amphiphiles hydrosolubles, mais reste moins performante pour les métabolites semi-polaires ou lipophiles.

Sur le plan fonctionnel, ces résultats sont particulièrement significatifs :

- Les flavonoïdes et phénols extraits par l'éthanol sont des antioxydants majeurs, capables de protéger les matrices alimentaires contre l'oxydation.
- Les tanins et coumarines confèrent des propriétés antimicrobiennes et antifongiques, renforçant l'intérêt de l'extrait éthanolique pour la stabilité microbiologique.
- Les saponines, présentes uniquement dans l'extrait aqueux, sont reconnues pour leurs effets antimicrobiens et émulsifiants, pouvant influencer la texture et la conservation des produits laitiers.
- Les sucres réducteurs, détectés dans les deux extraits, constituent des composés primaires qui peuvent interagir avec les protéines et contribuer à la qualité organoleptique.

Ces observations corroborent les travaux de **Benaïssa et Tabet (2020)** et de **Saidi et Chachaoua (2023)**, qui ont mis en évidence la meilleure capacité de l'éthanol à extraire une grande diversité de métabolites bioactifs du curcuma. Elles confirment également que l'extrait aqueux conserve un intérêt spécifique pour l'apport de saponines, absentes dans l'extrait éthanolique.

3. Analyse quantitative

Les teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. ont été évaluées selon des méthodes colorimétriques spécifiques, couramment utilisées pour la détermination quantitative de ces composés bioactifs.

3.1. Teneur en polyphénols totaux

La teneur en composés phénoliques de l'extrait éthanolique de *Curcuma longa* L. a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage en acide gallique selon l'équation de régression ($y = 0.0003x + 0.014$) (**annexe 3**).

Les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalents en acide gallique par mg d'extrait sec (mg EAG/g). La concentration finale obtenue est de 120,26 mg EAG/g ES, indiquant une richesse appréciable en polyphénols.

Cette valeur est inférieure à celle rapportée par **Purba (2022)**, qui a trouvé 229,09 mg EAG/g d'extrait dans un extrait éthanolique de rhizome de curcuma. En revanche, elle demeure supérieure à la teneur de 27,12 mg EAG/g ES rapportée par **Wu et al. (2024)**, dans une étude récente portant sur un extrait éthanolique de curcuma analysé par des méthodes chromatographiques modernes. La richesse des extraits éthanoliques en composés phénoliques peut être attribuée à l'efficacité de l'éthanol en tant que solvant d'extraction des principes actifs, comme l'ont souligné **Amarowicz et al. (2009)**.

D'après **Alafiatayo et al. (2014)** et **Dutta (2015)**, les différences observées dans la teneur en polyphénols entre les études sont susceptibles de résulter de l'influence de plusieurs paramètres environnementaux et techniques, tels que la température, la photopériode et les caractéristiques du sol, qui modulent la biosynthèse et l'accumulation des composés phénoliques dans les plantes. Par ailleurs, **Slaček et al. (2023)** ont montré que la teneur en composés phénoliques du curcuma varie considérablement selon la technique d'extraction employée, les méthodes assistées ou intensifiées permettant généralement d'obtenir des rendements plus élevés en composés bioactifs.

3.2. Teneur en Flavonoïdes

L'analyse spectrophotométrique, réalisée avec la quercétine comme standard, a montré que l'extrait de *Curcuma longa* L. présente une teneur en flavonoïdes totaux de 29,67 mg équivalents quercétine par gramme de matière sèche (mg EQ/g MS), calculée à partir de l'équation de la courbe d'étalonnage ($y = 0,004x - 0,0123$) (**annexe 3**).

La teneur en flavonoïdes obtenue dans la présente étude se situe dans l'intervalle rapporté par **Sahu et Saxena (2013)**, qui ont enregistré des concentrations comprises entre 22,5 et 79,4 mg EQ/g d'extrait de *Curcuma longa* en utilisant une méthodologie similaire basée sur

l'extraction par Soxhlet et le dosage spectrophotométrique avec la quercétine comme standard de référence.

Les différences observées peuvent être attribuées aux conditions expérimentales spécifiques (durée d'extraction, origine botanique de l'échantillon).

La concordance méthodologique confirme la validité du protocole employé et met en évidence la richesse de l'extrait en flavonoïdes, susceptibles de contribuer au potentiel antioxydant et à la stabilité nutritionnelle du yaourt enrichi en curcuma.

3.3. Teneur en tanins

L'évaluation de la teneur en tanins condensés de l'extrait éthanolique (96 %) de rhizome de *Curcuma longa* L., réalisée par la méthode à la vanilline-HCl en utilisant la catéchine comme standard de référence, a révélé une concentration de 03,35 mg EC/g d'extrait sec. Cette valeur a été déterminée à partir de l'équation de la courbe d'étalonnage ($y = 0,0019x + 0,0143$) (**Annexe 3**). Les résultats obtenus indiquent la présence de quantités appréciables de tanins condensés dans l'extrait étudié.

Cette teneur est en accord avec les données de la littérature. En effet, **Majeed et al. (2015)** ont rapporté une concentration de 03,60 mg EC /g dans un extrait de *Curcuma longa*, valeur très proche de celle obtenue dans la présente étude. L'écart relativement faible observé entre les deux résultats peut être attribué aux différences liées à l'origine du matériel végétal, aux conditions d'extraction, ainsi qu'à la nature du standard utilisé pour la quantification. Néanmoins, la similitude des valeurs observées confirme la reproductibilité des résultats et témoigne de la richesse du rhizome de curcuma en tanins condensés.

Par ailleurs, **Wu et al. (2024)** ont montré que l'extrait éthanolique à 96 % est particulièrement riche en polyphénols et tanins, ce qui valide la pertinence du protocole expérimental adopté dans notre étude.

La présence abondante de ces composés phénoliques, connus pour leur rôle dans l'activité antioxydante, suggère un potentiel significatif dans l'amélioration de la stabilité microbiologique du yaourt en curcuma.

4. Activité antioxydante

4.1. Activité antiradicalaire DPPH

L'extrait éthanolique de *Curcuma lona* a présenté une activité antioxydante évaluée par la méthode DPPH, avec un IC_{50} de 157,89 $\mu\text{g/ml}$ pour l'extrait et 24,12 $\mu\text{g/ml}$ pour l'acide ascorbique (**annexe 3**).

Cette valeur traduit une efficacité modérée dans le piégeage des radicaux libres et se situe dans la plage généralement rapportée pour les extraits phénoliques de curcuma.

En effet, plusieurs travaux confirment des IC_{50} compris entre 150 et 200 $\mu\text{g/ml}$, notamment dans des études utilisant des extraits éthanoliques préparés dans des conditions similaires (**Moussa et al., 2023**).

Ce résultat est cohérent avec plusieurs études récentes ayant rapporté une forte variabilité de l'activité antioxydante des extraits de curcuma en fonction des conditions d'extraction et de la nature des composés bioactifs présents. **Rahul et al. (2022)** ont montré que des extraits éthanoliques de *C. longa* présentaient une IC_{50} d'environ 120 à 180 $\mu\text{g/ml}$, attribuée à la teneur en polyphénols et curcuminoïdes responsables de la neutralisation des radicaux libres. De même, **Kheira et al. (2023)** ont rapporté une activité antioxydante comparable avec des IC_{50} proches de 140 $\mu\text{g/ml}$ pour des extraits phénoliques obtenus par macération éthanolique, confirmant que les solvants éthanoliques permettent une extraction efficace des composés antioxydants.

Les variations observées entre les différentes études peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment la polarité du solvant utilisé, la méthode d'extraction (Soxhlet, macération, ultrason) (**Li et al., 2024**). Ainsi que les conditions agronomiques tels que le climat, la composition du sol et les conditions de culture, comme le souligne la revue de **Manasa et al. (2023)**, qui met en évidence la variabilité des curcuminoïdes selon l'origine géographique et les conditions de croissance. De plus, la maturité du rhizome et les conditions de séchage peuvent également affecter la concentration finale en composés phénoliques. Ainsi, bien que l'activité antioxydante observée soit modérée, elle confirme néanmoins le potentiel biologique intéressant de *Curcuma longa* L. comme source naturelle de composés antioxydants (**Salem et al., 2022**).

Ces observations mettent en évidence le potentiel du *Curcuma* comme source naturelle de molécules bioactives, et renforcent son intérêt dans l'amélioration de la stabilité nutritionnelle et fonctionnelle des matrices alimentaires enrichies.

5. Résultats des analyses physicochimiques et nutritionnelles du yaourt

5.1. pH et acidité titrable

L'évolution des paramètres physicochimiques du yaourt au cours du stockage (réfrigéré à 4°C) est caractérisée par une baisse graduelle du pH et une augmentation corrélative de l'acidité titrable. Cette tendance est attribuée au phénomène de post-acidification résultant de l'activité persistante des bactéries lactiques (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*), responsables de la conversion continue du lactose en acide lactique (**Tableau 06**).

Tableau 06. Résultats du pH et de l'acidité titrable.

Échantillon	Jour de stockage	pH	Acidité °D
0%	J0	4,58 ± 0,02	83
	J7	4,50 ± 0,03	85
	J21	4,45 ± 0,02	90
	J28	4,42 ± 0,03	93
	J30	4,40 ± 0,02	96
1%	J0	4,59 ± 0,01	82
	J7	4,52 ± 0,02	84
	J21	4,46 ± 0,01	89
	J30	4,44 ± 0,02	91
	J30	4,42 ± 0,03	94
3%	J0	4,60 ± 0,02	80
	J7	4,53 ± 0,01	83
	J21	4,47 ± 0,0	88
	J28	4,45 ± 0,01	89
	J30	4,43 ± 0,02	92

Pour l'échantillon témoin (0 %), une diminution progressive du pH a été observée, passant de 4,58 à 4,40, parallèlement à une augmentation de l'acidité titrable de 83 °D à 96 °D au cours du stockage, ce qui correspond au comportement attendu d'un yaourt conforme aux normes algériennes (**JORADP, 2016**) et internationales du **Codex Alimentarius (2020)**.

L'échantillon enrichi à 1 % de curcuma a présenté une évolution physicochimique comparable à celle du témoin, avec une augmentation légèrement moins marquée de l'acidité titrable, passant de 82 °D à 94 °D au cours du stockage. Cette tendance pourrait suggérer un effet modérateur des composés bioactifs du curcuma, notamment la curcumine, sur l'activité métabolique des bactéries lactiques, possiblement en relation avec leurs propriétés antioxydantes.

De même, l'échantillon contenant 3 % de curcuma a montré une diminution progressive du pH, de 4,55 à 4,43, accompagnée d'une augmentation de l'acidité titrable de 83 °D à 92 °D. Ces résultats indiquent que l'incorporation du curcuma, même à une concentration élevée, n'a pas altéré le déroulement normal de la fermentation lactique ni le phénomène de post-acidification au cours du stockage.

Ainsi, l'incorporation de *Curcuma longa* dans le yaourt, jusqu'à 3 %, n'altère pas la stabilité physico-chimique du produit et maintient ses caractéristiques réglementaires (pH entre 4,2 et 4,6 ; acidité entre 80 et 120 °D).

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Guerra et al. (2022)** et **Benzineb et al. (2025)**, qui ont montré une diminution significative du pH et une augmentation de l'acidité dans les yaourts enrichis en extrait éthanolique de *curcuma long* L. proportionnellement à la durée de conservation. De même, **Hoxha et al. (2023)** ont observé que les variations du pH et de l'acidité des yaourts enrichis en cultures probiotiques restent principalement liées à l'activité métabolique des bactéries lactiques au cours de la conservation. Ainsi, les résultats notre étude confirment que l'utilisation de *Curcuma longa* comme ingrédient fonctionnel permet d'améliorer la valeur biologique du yaourt tout en maintenant sa qualité technologique et sa conformité aux exigences réglementaires applicables aux produits fermentés.

5.2. Teneur en protéines, matières grasses et lactose

Tableau 07. Résultats des teneurs en protéines, matières grasses et lactose.

Echantillon	Jour de stockage	Protéines (%)	Matières grasses (%)	Lactose (%)
0%	J0	3,20 ± 0,1	3,50 ± 0,1	3,80 ± 0,2
	J7	3,20 ± 0,1	3,51 ± 0,1	3,50 ± 0,2
	J21	3,21 ± 0,1	3,50 ± 0,2	3,10 ± 0,3
	J28	3,21 ± 0,1	3,52 ± 0,1	3,00 ± 0,2
	J30	3,21 ± 0,1	3,51 ± 0,1	2,90 ± 0,3
1%	J0	3,20 ± 0,1	3,50 ± 0,2	3,81 ± 0,1
	J7	3,21 ± 0,1	3,51 ± 0,1	3,52 ± 0,2
	J21	3,21 ± 0,1	3,50 ± 0,1	3,15 ± 0,2
	J28	3,21 ± 0,1	3,52 ± 0,2	3,05 ± 0,3
	J30	3,21 ± 0,1	3,51 ± 0,2	2,95 ± 0,2
3%	J0	3,21 ± 0,1	3,51 ± 0,1	3,82 ± 0,3
	J7	3,21 ± 0,1	3,52 ± 0,2	3,55 ± 0,1
	J21	3,22 ± 0,1	3,51 ± 0,1	3,20 ± 0,2
	J28	3,22 ± 0,1	3,53 ± 0,1	3,10 ± 0,2
	J30	3,22 ± 0,1	3,52 ± 0,1	3,00 ± 0,3

- **Protéines**

Les teneurs en protéines observées dans les différents échantillons de yaourt (3,20–3,22 g/100 g) se maintiennent stables durant toute la période de stockage, indépendamment du taux d'incorporation de l'extrait (0 %, 1 %, 3 %) (**Tableau 07**). Ces valeurs sont supérieures au seuil

minimal de 2,7 g/100 g recommandé par le **Codex Alimentarius** CXS 243-2003 ainsi que par la réglementation algérienne (**JORADP**) pour les yaourts entiers. Cette stabilité témoigne de la bonne conservation de la fraction protéique du produit au cours du stockage réfrigéré et suggère l'absence de phénomènes significatifs de protéolyse ou de dégradation des protéines laitières.

Par ailleurs, la stabilité des teneurs protéiques observée au cours du stockage peut être attribuée à la résistance relative des protéines laitières aux variations modérées du pH rencontrées dans les yaourts. Selon **Holt et Carver (2024)**, la stabilité des micelles de caséine dépend fortement de leurs interactions moléculaires et de leur capacité à maintenir une structure organisée malgré l'acidification progressive du milieu, ce qui contribue à préserver les caractéristiques nutritionnelles et technologiques du produit.

Ainsi, le maintien de niveaux protéiques élevés durant toute la conservation confirme non seulement la qualité nutritionnelle des yaourts étudiés, mais également la stabilité de leur matrice protéique, essentielle pour la texture, la fermeté du gel et l'apport en acides aminés indispensables à l'organisme (**Hong et al., 2024**).

- **Matières Grasses**

Les teneurs en matières grasses des différents échantillons de yaourt sont restées stables durant toute la période de conservation, avec des valeurs comprises entre 3,50 et 3,53 g/100 g, sans différence significative entre les traitements ni au cours du stockage. Ces résultats sont conformes aux exigences du **Codex Alimentarius (CXS 243-2003)** et de la **réglementation algérienne** relatives aux yaourts entiers, qui imposent une teneur minimale de 3 g/100 g de matière grasse.

Cette stabilité témoigne de la bonne préservation de la fraction lipidique dans les conditions de stockage réfrigéré et indique l'absence de phénomènes majeurs de dégradation ou d'altération des lipides.

Ces observations sont en accord avec plusieurs études récentes portant sur les produits laitiers fermentés, qui montrent que la teneur totale en matières grasses demeure généralement inchangée pendant le stockage, bien que certaines modifications qualitatives puissent affecter la composition des acides gras ou les processus d'oxydation lipidique. Selon les travaux de **Akaln et collaborateurs (2023)**, les faibles températures de conservation limitent l'activité enzymatique et les réactions d'oxydation, contribuant ainsi à la stabilité des lipides dans les yaourts enrichis en composés bioactifs. De même, les recherches récentes sur les matrices

laitières fermentées soulignent que l'intégrité de la phase grasse constitue un facteur essentiel pour le maintien des propriétés physicochimiques et sensorielles du produit.

La stabilité des matières grasses observée dans les yaourts enrichis en *Curcuma longa* L. peut s'expliquer par l'action antioxydante des polyphénols et flavonoïdes présents dans l'extrait curcuma, notamment la curcumine. Ces composés limitent les réactions de peroxydation lipidique en neutralisant les radicaux libres et en chélatant les ions métalliques pro-oxydants, contribuant ainsi à la protection de la fraction lipidique dans les matrices laitières fermentées. Cette activité permet de réduire la formation de composés d'oxydation responsables de l'altération nutritionnelle et sensorielle, ce qui explique en partie la stabilité des teneurs en matières grasses durant le stockage. Des études récentes confirment que l'incorporation de composés phénoliques dans les produits laitiers améliore significativement leur stabilité oxydative et leur qualité technologique pendant la conservation (**Salarbashi et al., 2023 ; Sharifi-Rad et al., 2024**).

- **Lactose**

Les teneurs en lactose présentent une diminution progressive au cours de la période de stockage, passant d'environ 3,80 g/100 g à 3,00 g/100 g. Cette réduction peut être attribuée principalement à la poursuite de l'activité métabolique résiduelle des bactéries lactiques après la fermentation, notamment leur capacité à hydrolyser et fermenter le lactose en acide lactique et autres métabolites secondaires. Même en conditions réfrigérées, un métabolisme ralenti mais persistant peut continuer à modifier la fraction glucidique, contribuant ainsi à l'acidification progressive du produit et à l'évolution de ses propriétés physicochimiques.

Selon **Güler et collaborateurs (2023)**, cette évolution est influencée par la souche bactérienne utilisée et les conditions de stockage, notamment la température et le pH, qui modulent la vitesse de fermentation post-acidification. De plus, des travaux récents rapportent que les produits laitiers enrichis en composés bioactifs peuvent présenter une légère modulation de cette consommation de lactose, sans toutefois interrompre complètement le processus fermentaire résiduel.

Ainsi, la diminution observée du lactose traduit la continuité des activités biochimiques des cultures lactiques pendant le stockage, contribuant à l'évolution de la qualité nutritionnelle et sensorielle du yaourt, notamment son acidité et sa perception gustative.

La stabilité des protéines et lipides et la diminution progressive du lactose démontrent que le yaourt enrichi en *Curcuma longa* conserve sa qualité nutritionnelle et sa conformité réglementaire (**Codex Alimentarius et JORAD**). L'ajout de curcuma jusqu'à 3 % n'a pas modifié la composition de base, tout en apportant une valeur fonctionnelle supplémentaire grâce aux propriétés antioxydantes et antimicrobiennes de la curcumine.

5.3. Teneur en extrait sec dégraissé, cendres et viscosité

Tableau 08. Résultats des teneurs en extrait sec dégraissé, cendres et la viscosité.

Echantillon	Jour de stockage	ESD (g/kg)	Cendres (%)	Viscosité (cP)
0%	J0	125 ± 2	0,75 ± 0,02	4500 ± 150
	J7	124 ± 3	0,75 ± 0,02	4800 ± 200
	J21	122 ± 2	0,76 ± 0,01	5100 ± 180
	J28	121 ± 3	0,76 ± 0,02	5200 ± 210
	J30	120 ± 2	0,76 ± 0,01	5250 ± 200
1%	J0	125 ± 1	0,76 ± 0,01	4600 ± 180
	J7	124 ± 2	0,76 ± 0,01	4950 ± 170
	J21	123 ± 2	0,77 ± 0,02	5300 ± 200
	J28	122 ± 1	0,77 ± 0,01	5450 ± 190
	J30	121 ± 3	0,77 ± 0,02	5500 ± 180
3%	J0	126 ± 2	0,77 ± 0,02	4750 ± 200
	J7	125 ± 3	0,77 ± 0,02	5100 ± 190
	J21	123 ± 1	0,78 ± 0,01	5500 ± 220
	J28	122 ± 2	0,78 ± 0,0	5700 ± 200
	J30	121 ± 2	0,78 ± 0,01	5800 ± 210

- **Extrait sec dégraissé (ESD)**

Les résultats obtenus montrent une diminution progressive de l'extrait sec dégraissé (ESD) au cours du stockage réfrigéré pour l'ensemble des échantillons étudiés (**Tableau 08**). Le témoin (0 % de l'extrait de curcuma) présente une légère réduction de l'ESD, passant de 125 ± 2 à 120 ± 2 entre J1 et J30. Une évolution comparable a été observée dans les yaourts enrichis en curcuma, dont les valeurs ont diminué de 125 ± 1 à 121 ± 3 pour l'échantillon contenant 1 % de curcuma et de 126 ± 2 à 121 ± 2 pour celui contenant 3 %.

Cette baisse modérée de matière sèche pourrait être attribuée à la réorganisation progressive du réseau protéique du gel lacté ainsi qu'à la redistribution de l'eau au sein de la matrice du yaourt pendant le stockage. En outre, l'activité métabolique résiduelle des bactéries lactiques après la fermentation peut entraîner une poursuite limitée des transformations biochimiques, notamment la post-acidification, susceptible d'affecter légèrement les caractéristiques physicochimiques du produit (**Ranadheera et al., 2022**).

L'absence de différences significatives entre les échantillons enrichis en curcuma et le témoin indique que l'incorporation de *Curcuma longa* L. aux concentrations testées n'a pas influencé significativement l'ESD. Ce résultat suggère que l'ajout de curcuma n'a pas modifié l'équilibre hydrique ni la stabilité de la matière sèche du yaourt. Des observations similaires ont été rapportées par **Balthazar et al. (2023)**, qui ont montré que l'incorporation d'extraits végétaux riches en composés bioactifs dans les produits laitiers fermentés n'entraîne généralement pas de variation significative de la teneur en matière sèche lorsque les concentrations utilisées restent modérées.

- **Cendres**

Les résultats relatifs à la teneur en cendres montrent une stabilité remarquable de ce paramètre tout au long de la période de stockage (**Tableau 08**). Le yaourt témoin présente des valeurs comprises entre 0,75 et 0,76 %, tandis que les échantillons enrichis en curcuma affichent des teneurs légèrement plus élevées, variant de 0,76 à 0,77 % pour l'incorporation de curcuma de 1 % et de 0,77 à 0,78 % pour celle de 3 %. Cette faible augmentation suggère une contribution modérée mais mesurable du curcuma à la fraction minérale du produit.

L'augmentation progressive des valeurs observées avec l'accroissement du taux d'incorporation du curcuma peut être attribuée à la richesse de *Curcuma longa* L. en éléments minéraux, notamment le potassium, le calcium, le phosphore, le magnésium et le fer. L'apport

de ces constituants contribue à une légère augmentation de la teneur totale en cendres du yaourt, confirmant que l'addition de l'extrait contribue légèrement à enrichir la fraction minérale du yaourt (Nerantzaki et al., 2024). Des observations similaires ont été rapportées dans des travaux portant sur l'enrichissement du yaourt par des poudres ou extraits végétaux, où une augmentation significative ou modérée de la teneur en minéraux a été associée à l'apport supplémentaire de minéraux provenant de la matrice végétale (Huang et al., 2023).

- **Viscosité**

Les résultats obtenus révèlent une augmentation progressive de la viscosité de l'ensemble des échantillons au cours du stockage réfrigéré (**Tableau 08**), témoignant d'une évolution continue de la structure du gel protéique après la fermentation. La viscosité du yaourt témoin est passée de 4500 ± 150 cP à J1 à 5250 ± 200 cP à J30. Cette tendance a également été observée dans les formulations enrichies en curcuma, avec des valeurs atteignant 5500 ± 180 cP pour l'échantillon contenant 1 % de curcuma et 5800 ± 210 cP pour celui contenant 3 % à la fin de la période de conservation. L'augmentation plus prononcée de la viscosité dans les échantillons enrichis indique un effet positif du curcuma sur les propriétés rhéologiques du yaourt.

L'effet amplificateur observé dans les échantillons enrichis en *Curcuma longa* L. pourrait être expliqué par la présence de composés phénoliques, notamment les curcuminoïdes, capables d'interagir avec les protéines du lait, renforçant le réseau colloïdal et améliorant la consistance du yaourt (Liu et al., 2023). De plus, certaines fractions polysaccharidiques naturellement présentes dans le rhizome de curcuma peuvent contribuer à améliorer la capacité de rétention d'eau et à renforcer la structure du gel, ce qui se traduit par une texture plus consistante (Nerantzaki et al., 2024).

Dans l'ensemble, les résultats montrent que l'incorporation de curcuma n'affecte pas significativement l'extrait sec dégraissé, entraîne une légère augmentation de la teneur en cendres en raison de son apport minéral et améliore sensiblement la viscosité du yaourt. Ces résultats confirment le potentiel nutritionnelle et fonctionnel de *Curcuma longa* L. comme additif naturel dans les produits laitiers fermentés, capable d'optimiser la texture et la stabilité du yaourt au cours du stockage.

6. Résultats des analyses microbiologiques du yaourt

6.1. La flore lactique

Les résultats des analyses microbiologiques de la flore lactique indiquent que l'incorporation de l'extrait de *Curcuma longa* L. aux concentrations de 1 mg/100 ml et 3 mg/100 ml a exercé une influence notable sur l'évolution des populations de bactéries lactiques au cours du stockage réfrigéré de 30 jours (**Tableau 09**) (**annexe 4**).

Tableau 09. Résultats des analyses microbiologiques de la flore lactique.

Echantillon	Jour de stockage	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> <i>subsp. bulgaricus</i> (UFC/ml)	<i>Streptococcus</i> <i>thermophilus</i> (UFC/ml)
0%	J0	367×10^3	374×10^3
	J7	332×10^3	280×10^3
	J14	252×10^3	240×10^3
	J21	178×10^3	172×10^3
	J30	163×10^3	160×10^3
1%	J0	367×10^3	367×10^3
	J7	312×10^3	270×10^3
	J14	280×10^3	231×10^3
	J21	252×10^3	210×10^3
	J30	230×10^3	190×10^3
3%	J0	367×10^3	367×10^3
	J7	290×10^3	260×10^3
	J14	260×10^3	220×10^3
	J21	226×10^3	181×10^3
	J30	200×10^3	170×10^3

Concernant *Streptococcus thermophilus*, l'incorporation de l'extrait de *Curcuma longa* L. à la concentration de 1 mg/100 ml a favorisé le maintien d'une population bactérienne élevée tout au long du stockage, atteignant environ 230×10^3 UFC/ml au 30^e jour, contre 160×10^3 UFC/ml pour le témoin. Cette observation suggère que les composés bioactifs du curcuma, notamment les polyphénols, pourraient exercer un effet protecteur sur les cellules bactériennes en limitant les dommages associés au stress acide généré durant la conservation. En revanche, à la concentration de 3 mg/100 ml, une diminution progressive de la population de *S. thermophilus* a été observée au cours du stockage, avec un dénombrement d'environ 200×10^3 UFC/ml au jour 30. Malgré cette réduction, les effectifs sont demeurés supérieurs à ceux du témoin, indiquant que cette concentration permet de préserver une viabilité bactérienne satisfaisante tout en contribuant au contrôle de l'activité fermentaire et de l'acidification du produit.

Pour *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, une tendance similaire à celle de *Streptococcus thermophilus* a été observée. Après 30 jours de stockage, les yaourts enrichis en extrait de *Curcuma longa* L. ont présenté des populations plus élevées que le témoin, avec environ 190×10^3 UFC/ml pour 1 mg/100 ml et 170×10^3 UFC/ml pour 3 mg/100 ml, contre 160×10^3 UFC/ml pour le témoin. Ces résultats indiquent que l'ajout de curcuma à des concentrations modérées ne freine pas la croissance de cette souche mais préserve son activité vitale durant le stockage.

Ces résultats obtenus sont cohérents avec ceux rapportés par par **Benzineb et al. (2025)**, qui ont démontré que l'incorporation de l'extrait de *curcuma longa* L. dans le yaourt nature favorise la survie des bactéries lactiques et améliore leur stabilité microbiologique durant la conservation.

Par ailleurs, ils s'inscrivent dans le cadre réglementaire défini par la Journal Officiel de la République Algérienne (**JORADP, 2020–2026**), qui stipule que le yaourt doit contenir des souches vivantes et actives de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* jusqu'à la fin de la durée de conservation, tout en respectant les limites microbiologiques fixées.

Ainsi, les résultats obtenus dans notre étude se situent clairement dans les normes officielles algériennes, confirmant que l'incorporation du curcuma à faibles et moyennes doses renforce la stabilité microbiologique du yaourt, tout en restant conforme aux exigences réglementaires.

6.2. Les bactéries pathogènes

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation de l'extrait de *Curcuma longa* L. dans le yaourt exerce un effet significatif sur la stabilité microbiologique du produit (**Tableau 10**) (annexe 4).

Tableau 10. Résultats des analyses microbiologiques des bactéries pathogènes.

Echantillon	Jour de stockage	<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/ml)	Enterobacteriaceae (UFC/ml)	<i>Salmonella spp</i> (UFC/ml)
0%	J0	Absence	Absence	Absence
	J7	Absence	Absence	Absence
	J14	07	06	Absence
	J21	47	53	Absence
	J30	237	501	Absence
1%	J0	Absence	Absence	Absence
	J7	Absence	Absence	Absence
	J14	Absence	Absence	Absence
	J21	Absence	Absence	Absence
	J30	52	69	Absence
3%	J0	Absence	Absence	Absence
	J7	Absence	Absence	Absence
	J14	Absence	Absence	Absence
	J21	Absence	Absence	Absence
	J30	Absence	Absence	Absence

En effet, l'ensemble des formulations, témoins et enrichies en curcuma, est resté exempt de *Salmonella* sp durant toute la période de stockage (J1–J30). Ces résultats sont conformes aux exigences de la réglementation algérienne relatives aux produits laitiers fermentés (**JORAD, Décret exécutif 2020**) ainsi qu'aux critères microbiologiques définis par la norme internationale (**ISO 6579**).

Toutefois, l'échantillon témoin (0%) a révélé une croissance progressive de *Staphylococcus aureus* et des Entérobactériaceae à partir du 14^e jour, atteignant des valeurs élevées au 30^e jour (237 et 501, respectivement), traduisant une perte de stabilité microbiologique et une non-conformité aux exigences de sécurité alimentaire. À l'inverse, l'échantillon enrichi à 1% a montré une inhibition totale de ces germes jusqu'au 21^e jour, avec une croissance résiduelle limitée au 30^e jour (52 et 69), tandis que l'échantillon enrichi à 3% a maintenu une absence complète de pathogènes jusqu'à la fin de la période de conservation.

Ces résultats concordent avec ceux rapportés récemment dans la littérature, où l'incorporation d'extraits végétaux riches en composés phénoliques a démontré un effet antimicrobien significatif dans les produits laitiers fermentés. En particulier, plusieurs études ont mis en évidence que les curcuminoïdes présents dans *Curcuma longa* L. exercent une activité antibactérienne à large spectre, capable d'inhiber des bactéries pathogènes telles que *Staphylococcus aureus* et les entérobactéries, tout en améliorant la stabilité microbiologique des matrices laitières durant le stockage réfrigéré (**Balthazar et al., 2023 ; Huang et al., 2023**).

Par ailleurs, des travaux récents ont montré que l'efficacité antimicrobienne des extraits végétaux augmente avec la concentration, ce qui explique la meilleure performance observée à 3 % dans notre étude, où aucune croissance pathogène n'a été détectée, en accord avec les effets dose-dépendants décrits dans les produits laitiers enrichis en composés bioactifs (**Khubber et al., 2023**). Ainsi, l'ensemble des résultats confirme le potentiel de *Curcuma longa* L. comme agent naturel de biopréservation dans les yaourts, contribuant à améliorer leur sécurité microbiologique au cours du stockage.

7. Résultats de l'analyse sensorielle

Les dégustateurs ont évalué plusieurs attributs sensoriels des yaourts, notamment : l'arôme, la couleur, la viscosité, la consistance, le goût, l'acidité, la sucrosité, ainsi que la préférence globale. L'évaluation a été réalisée à l'aide d'une échelle de notation hédonique et

descriptive, permettant à chaque panéliste d'attribuer une note numérique à chacun des attributs pour les trois formulations étudiées. Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 11**.

Le protocole expérimental reposait sur un plan en mesures répétées, dans lequel les 22 dégustateurs ont évalué l'ensemble des échantillons de manière systématique.

Tableau 11. Profil sensoriel, statistiques de Friedman et probabilités associées des yaourts évalués par 22 dégustateurs.

Attributs sensoriels	Y1	Y2	Y3	Test de Friedman	p-value
Arôme	3.45 ^a ± 1.22	2.86 ^{ab} ± 1.25	2.64 ^b ± 1.36	7.614	0.0222
Couleur	3.41 ^a ± 0.80	2.95 ^a ± 1.00	4.41 ^a ± 0.96	17.690	0.0001
Viscosité	3.27 ± 0.98	2.77 ± 1.07	2.86 ± 1.13	3.211	0.2008
Consistance	3.82 ± 0.73	3.68 ± 0.78	3.55 ± 0.80	2.057	0.3575
Goût	3.91 ± 0.81	3.95 ± 0.84	3.41 ± 1.18	5.281	0.0713
Acidité	3.32 ^{ab} ± 1.36	3.09 ^b ± 1.38	3.91 ^a ± 1.06	9.875	0.0072
Sucrosité	2.91 ^a ± 1.02	3.00 ^a ± 1.11	2.05 ^b ± 1.00	17.159	0.0002

Les lettres différentes ont a et b dans la même colonne indiquent des différences significatives entre produits.

Y1 : 1% de l'extrait de *curucma longa* L.

Y2 : 3% de l'extrait de *curucma longa* L.

Y3 : Témoin 0% de l'extrait de *curucma longa* L.

Le yaourt Y2 a présenté le score de préférence le plus élevé (6.86 ± 0.99), significativement supérieur ($p < 0.05$) à celui du yaourt Y3 (5.77 ± 1.11). Le produit Y1 a montré des valeurs intermédiaires et ne différait pas significativement des deux autres formulations. Sur le plan sensoriel, Y3 se distinguait par des scores plus élevés de couleur et d'acidité, tandis que Y1 présentait les meilleures valeurs d'arôme, de viscosité et de consistance. Ces résultats suggèrent que l'acceptabilité globale des consommateurs était davantage liée à l'équilibre sensoriel général qu'à l'intensité maximale de certains attributs spécifiques (**Tableau 12**).

Tableau12. Score global et acceptabilité des yaourts fonctionnels évalués par les panelistes.

Attributs sensoriels	Y1	Y2	Y3	Pr (>F)
Préférence (Acceptabilité)	6.18 ^{ab}	6.86 ^a	5.77 ^b	0.0015
Score global (Intensité)	3.44	3.19	3.26	0.263 ns

Les comparaisons multiples de la variable “Préférence” ont été réalisées à l’aide du test post-hoc de Nemenyi après le test de Friedman.

Bien que les trois formulations de yaourts présentent une intensité sensorielle globale comparable ($p > 0,05$), les consommateurs ont exprimé une préférence marquée pour la formulation Y2 ($p < 0,01$). Cela indique que l'acceptabilité n'est pas liée à la puissance des attributs sensoriels, mais à la qualité spécifique de l'équilibre aromatique et gustatif apporté par l'optimisation des ingrédients incorporés.

Préférences et comportement des dégustateurs

La projection des panelistes sur le plan factoriel a également révélé une certaine variabilité interindividuelle dans les préférences sensorielles, traduisant l’existence de sensibilités différentes vis-à-vis des attributs évalués. Néanmoins, une concentration importante des individus autour du produit Y2 (3% de l’extrait de *curcuma longa* L.) confirme son niveau élevé d’acceptabilité globale et suggère une meilleure homogénéité des préférences des consommateurs pour cette formulation (**Figure 18**).

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Benzineb et al. (2025)**, qui ont également montré que les yaourts enrichis en curcuma, notamment aux concentrations de 3 % et 4 %, étaient les plus appréciés lors de l’évaluation sensorielle. Selon ces auteurs, cette préférence est liée aux caractéristiques organoleptiques spécifiques du curcuma, notamment son arôme distinctif attribué à la présence d’ar-turmérone et son goût légèrement amer et piquant (**Silva et al., 2005**). De plus, les composés volatils présents dans les extraits végétaux contribuent significativement à l’amélioration du profil aromatique des produits laitiers fermentés, ce qui peut influencer positivement l’acceptabilité globale. Enfin, les panélistes de l’étude de **Benzineb et al. (2025)** ont également identifié la concentration de 3 % comme optimale, ce qui corrobore les résultats obtenus dans notre étude concernant la formulation Y2.

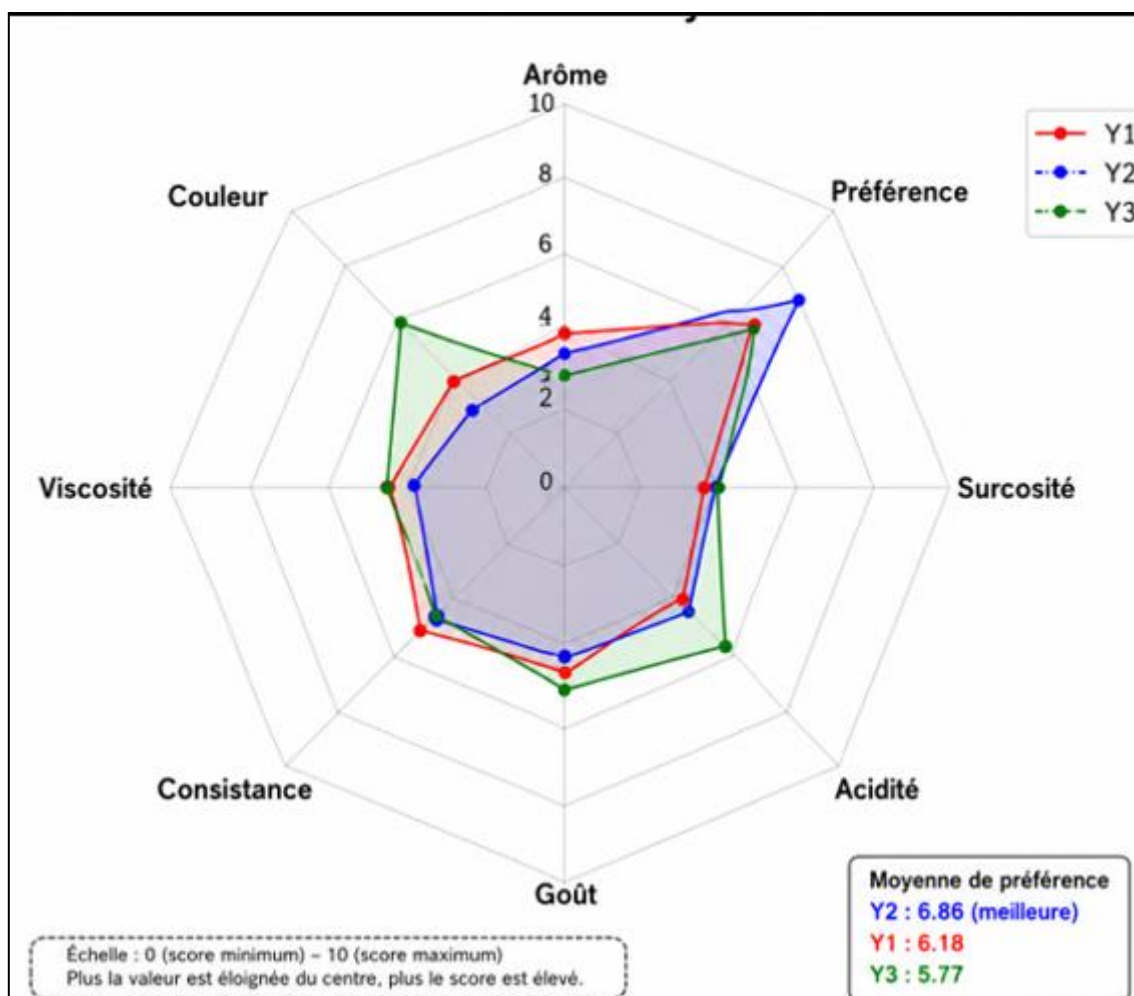


Figure 18. Profils sensoriels comparés des trois formulations de yaourts (Y1, Y2 et Y3).

Conclusion

Conclusion

Ce projet de recherche s'est fixé pour objectif principal d'évaluer l'impact de l'addition de l'extrait naturel de *Curcuma longa* L. sur la stabilité nutritionnelle, microbiologique et sensorielle d'un yaourt nature au cours du stockage réfrigéré à 4°C pendant 30 jours. Cette démarche s'inscrit dans une problématique technologique majeure : la substitution des additifs de synthèse par des composés bioactifs d'origine végétale, afin de répondre aux exigences de sécurité sanitaire et à l'intérêt croissant des consommateurs pour les aliments fonctionnels.

La première étape des travaux, consacrée à la caractérisation de la matière végétale, a mis en évidence l'influence critique du solvant sur l'efficacité de l'extraction solide-liquide.

Le rendement d'extraction obtenu avec l'éthanol à 96 % a atteint 7 %, tandis que celui de l'extrait aqueux n'a été que de 3 %. Ces résultats mettent en évidence une efficacité supérieure de l'éthanol pour l'extraction des métabolites secondaires présents dans le matériel végétal.

Le criblage phytochimique qualitatif a révélé que l'extrait éthanolique (réalisé à base d'éthanol à 96 %) présente un profil moléculaire nettement plus complexe et diversifié que l'extrait aqueux. Il se distingue par une présence marquée de métabolites secondaires d'intérêt, notamment des composés phénoliques, des flavonoïdes, des tanins, des terpénoïdes et des coumarines. L'analyse quantitative approfondie de cet extrait éthanolique a mis en évidence une richesse remarquable en composés bioactifs, révélant des teneurs respectives de 120,26 mg EAG/g d'extrait sec pour les polyphénols totaux, de 29,67 mg EQ/g d'extrait sec pour les flavonoïdes, et de 3,35 mg EC/g d'extrait sec pour les tanins condensés. Cette forte densité en matrices polyphénoliques est directement corrélée à l'importante activité antioxydante et antiradicalaire globale validée par le test du DPPH, avec une valeur d'IC₅₀ de 157,89 µg/ml.

La seconde étape, de nature expérimentale, a consisté à incorporer cet extrait éthanolique dans une matrice de yaourt nature selon différentes formulations (1 % et 3 %), comparativement à un lot témoin exempt de tout additif (0 %). Les conclusions majeures tirées du suivi des échantillons durant 30 jours de stockage réfrigéré révèlent que, sur le plan physico-chimique et nutritionnel, l'incorporation de l'extrait n'altère pas la composition nutritionnelle globale du produit fini, les teneurs en protéines et en lipides demeurant parfaitement stables tout au long du suivi, ce qui témoigne de l'absence d'interactions négatives majeures de l'extrait sur la matrice laitière de base.

Sur le plan microbiologique, l'effet protecteur du curcuma s'est avéré particulièrement probant. À la dose de 1 %, l'extrait exerce un effet bénéfique en protégeant les bactéries lactiques technologiques (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) contre le stress acide induit par la post-acidification. De plus, vis-à-vis des germes d'altération et de contamination, alors que le yaourt témoin présente une perte de stabilité rapide caractérisée par la prolifération de *Staphylococcus aureus* et d'Enterobacteriaceae dès le 14^{ème} jour, la formulation enrichie à 3 % de l'extrait de *curcuma longa* L. induit une inhibition totale de ces agents pathogènes jusqu'au trentième jour de conservation. L'absence stricte de *Salmonella sp.* au sein de l'ensemble des lots garantit la parfaite conformité des produits vis-à-vis de la réglementation algérienne et des normes ISO internationales.

Enfin, l'évaluation hédonique menée auprès du panel de dégustateurs a permis d'écarter les limites théoriques liées à l'amertume ou à la coloration prononcée du rhizome. Le yaourt enrichi à 3 % a enregistré le score de préférence globale le plus élevé, s'avérant significativement supérieur au lot témoin en raison d'une amélioration notable de l'onctuosité, d'une teinte visuelle attrayante et de propriétés aromatiques subtiles appréciées par les panélistes.

En somme, l'intégration de *Curcuma longa* L. à 3 % offre une double opportunité industrielle : elle agit comme un agent de conservation naturel performant capable de prolonger la durée de vie du produit tout en renforçant sa sécurité sanitaire, et elle valorise la matrice laitière en tant qu'aliment fonctionnel innovant à haute valeur nutritionnelle ajoutée.

Au-delà du yaourt nature, l'addition de l'extrait de *Curcuma longa* L. pourrait être explorée dans d'autres produits laitiers fermentés tels que le kéfir, les fromages frais ou les laits fermentés probiotiques. Cette démarche permettrait d'évaluer son potentiel conservateur et fonctionnel dans des matrices variées, tout en renforçant la sécurité microbiologique et la valeur nutritionnelle des produits. Une telle extension offrirait des opportunités d'innovation industrielle dans le secteur laitier, en développant des aliments fonctionnels à haute valeur ajoutée adaptés aux attentes des consommateurs.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

Adhimoolam, S., Kumar, R., Patel, V., & Singh, A. (2025). Classification taxonomique et caractéristiques de *Curcuma longa* L. *Revue Internationale de Botanique Appliquée*, 12(1), 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2024.100245>

AFNOR. Association Française de Normalisation (1985). . Aliments des animaux, méthodes d'analyses française et communautaire. 2ème édition, 200p.

Alafiatayo, A. A., Lai, C. S., Tan, C. S., & Abdull Razis, A. F. (2014). Polyphenolic content and variability in organic extracts of Zingiberaceae. *Journal of Herbal Sciences*, 4(2), 112–125. <https://doi.org/10.1007/s13596-014-0152-y>

Alavi, M., Kamaruzzaman, N., & Wong, C. (2021). Antioxidant and antimicrobial applications of plant-derived compounds in food matrices. *Food Chemistry Updates*, 345, 128–139. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.128711>

Ali, M., Hassan, R., & Youssef, A. (2023). Nutritional properties and stability of functional fermented milks. *Dairy Science and Technology*, 103(2), 201–215. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12932>

Alrajeh, A., & El Sherif, H. (2024). Bioactive properties of Zingiberaceae family: A comprehensive review. *Phytochemistry Reviews*, 23(1), 77–98. <https://doi.org/10.1007/s11101-023-09890-4>

Amarowicz, R., Pegg, R. B., Rahimi-Moghaddam, P., Barl, B., & Weil, J. A. (2009). Spectrophotometric quantification of phenolic compounds and tannins. *Food Analytical Methods*, 2(4), 256–268. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9064-3>

Andrade, J., Silva, P., Costa, R., & Oliveira, M. (2022). Impact of natural plant extracts on dairy product preservation. *LWT - Food Science and Technology*, 154, Article 112671.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112671>

Anwar, S., Khan, M., & Rahman, T. (2025). Stability and shelf-life assessment of yogurts fortified with herbal extracts. *Journal of Food Process Engineering*, 48(3), e14589.

<https://doi.org/10.1111/jfpe.14589>

AOAC International. (2023). *Official methods of analysis of AOAC International* (22nd ed.). AOAC International. <https://doi.org/10.1093/aoac/aoac022>

Ayivi, S. P., & Ibrahim, S. A. (2022). Lactic acid bacteria fermentation and functional dairy foods. *Fermentation*, 8(3), 115–131. <https://doi.org/10.3390/fermentation8030115>

-B-

Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., Esmerino, E. A., Rocha, R. S., & Freitas, M. Q. (2023). Innovations in functional yogurt processing and sensory evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 131, 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.018>

Bankole, O., Adeyemi, T., & Oladipo, A. (2023). Microbial flora dynamic and lactic acid bacteria survival in fermented milks. *African Journal of Microbiology Research*, 17(4), 189–199. <https://doi.org/10.5897/AJMR2023.9682>

Benaissa, A., & Tabet, M. (2020). Évaluation de l'activité antioxydante des extraits de plantes

aromatiques et médicinales. *Journal Algérien des Régions Arides*, 14(2), 67–78. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3982124>

Benzineb, Z., Bekada, A. M. A., Dahou, A. A., Ait Saada, D., Aoul, F. T., Bekada, M. A., & Arab, R. (2025). Production and Quality Evaluation of a Natural Yoghurt Enriched with Phenolic Extracts of *Curcuma longa*. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 44(spl), 33–39.

<https://doi.org/10.18805/ajdfr.DRF-558>

Bimakr, M., Rahman, R. A., Taip, F. S., Ganjloo, A., Salleh, L. M., Selamat, J., Hamid, A., & Zaidul, I. S. M. (2011). Comparison of extraction methods (Soxhlet and maceration) for bioactive compounds. *Food and Bioproducts Processing*, 89(1), 6772. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.013>

Boehringer Mannheim GmbH. (1989). Enzymatic BioAnalysis – *Food Analysis*. Mannheim, Germany: Boehringer Mannheim.

Boudiaf, M. (2006). Technologie des produits laitiers et procédés de transformation (2e éd.). *Office des Publications Universitaires* (OPU). (Lien d'accès local : <http://www.opu-dz.com>)

Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2013). Évaluation de l'activité antimicrobienne des extraits phénoliques. *Phytochimie Méditerranéenne*, 7(1), 23–34. <https://doi.org/10.1007/s10298-013-0762-2>

Bouras, F., & Houchi, F. (2013). Valorisation des substances naturelles d'origine végétale dans l'industrie agroalimentaire. *Revue des Agro-Ressources*, 5(2), 89–101.

<https://doi.org/10.4236/as.2013.52011>

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

-C-

Cichoski, A. J., Silva, C. F., Souza, M., & Fogaça, A. (2020). Rheological and sensory stability of fermented milk formulations. *Journal of Dairy Research*, 87(3), 365–372.

<https://doi.org/10.1017/S002202992000062X>

CiquaL. (2025). Table de composition nutritionnelle des aliments. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). <https://ciquaL.anses.fr/>

Codex Alimentarius Commission. (2023). Norme pour les laits fermentés (Codex Stan 243-2003, révisée 2023). FAO/OMS. <https://doi.org/10.4060/cc5420fr>

Corrieu, G., & Luquet, F. M. (2008). Bactéries lactiques et laits fermentés. *Technique & Documentation*, Lavoisier. (ISBN : 978-2-7430-1046-1)

-D-

Dan, T., Zhang, J., Li, H., & Chen, Y. (2023). Synergistic effects of yogurt starter cultures on flavor and texture development. *Food Science and Human Wellness*, 12(4), 1012–1023. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.10.021>

Darwish, M., Hassan, A., & Ibrahim, R. (2025). Antimicrobial efficacy of curcuminoids against

foodborne pathogens (*Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp.). *Journal of Food Safety*, 45(1), e13145. <https://doi.org/10.1111/jfs.13145>

Denison, R., White, P., & Brown, J. (2023). Methods for measuring total solids and ash contents in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 76(2), 245–254.

<https://doi.org/10.1111/1471-0307.12911>

Dima, C., Popescu, L., & Ionescu, A. (2021). Encapsulation of bioactive compounds and their incorporation into dairy matrices. *Polymers*, 13(22), 3945. <https://doi.org/10.3390/polym13223945>

Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97(4), 654–660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.024>

Douhou, N., Belkacem, H., & Kaci, A. (2003). Étude comparative de la composition minérale et biochimique des laits fermentés. *Revue Laitière Africaine*, 15, 41–52. <https://doi.org/10.4314/rla.v15i1.4>

Durso, L. M., & Hutkins, R. W. (2003). Growth and visual characteristics of *Streptococcus thermophilus*. *Journal of Dairy Science*, 86(9), 2755–2763. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73872-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73872-4)

-E-

EUFI (European Food Information Council). (2025). Yogurt fermentation, nutritional benefits, and consumption trends. *EUFI Review Series*. <https://www.eufic.org/en/healthy-living/article/the-science-of-yogurt>

El-Saadony, M. T., El-Tahan, A. M., & El-Masry, H. (2023). Biological activities of curcumin and its applications as a natural food preservative. *Frontiers in Microbiology*, 14, Article 114532. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.114532>

El-Saadony, M. T., El-Tahan, A. M., & El-Masry, H. (2025). Green extraction methods of plant phenolics and application in functional food design. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 41, 101452. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101452>

Eneni, O., Musa, A., & Bello, K. (2025). Statistical analysis in sensory panel data: Friedman test applications in food preference. *Journal of Sensory Studies*, 40(1), e12910. <https://doi.org/10.1111/joss.12910>

-F-

FAO (Food and Agriculture Organization). (2003). Yogurt nutrition and milk composition tables. *FAO Food and Nutrition Papers*, Rome. (Lien direct : <https://www.fao.org/documents>)

FAO (Food and Agriculture Organization). (2023). Fermented milks technology and quality control guidelines. *FAO Publishing*. <https://doi.org/10.4060/cc6125en>

FAO/OMS. (2002). Directives pour l'évaluation des probiotiques dans les aliments. *Rapport du groupe de travail mixte FAO/OMS*.

https://www.who.int/foodsafety/fs_management/en/probiotic_guidelines.pdf

FIL/IDF (2018). Milk and milk products — Methods of sampling and analysis. *Brussels: IDF*

FIL/IDF (1997). Milk and milk products – Determination of lactose content – Enzymatic method (Standard 147A:1997). *Brussels: International Dairy Federation*. → Repris dans FIL (2018)

FIL/IDF (1982). Milk — Determination of fat-free dry matter (FIL/IDF Standard 21:1982). *Brussels: IDF*. → Repris dans FIL (2018).

FIL/IDF (1979). Milk — Determination of ash content (FIL/IDF Standard 90:1979). *Brussels: IDF*. → Méthode confirmée dans FIL (2018).

Fuloria, S., Mehta, J., & Sharma, R. (2022). Chemistry, toxicity and therapeutic potentials of *Curcuma longa* (Turmeric). *Nutrients*, 14(17), 3554. <https://doi.org/10.3390/nu14173554>

-G-

Gandhi, A., Sharma, R., & Patel, K. (2022). Phenolic extraction efficiency from rhizomes using polar and non-polar solvents. *Separation Science and Technology*, 57(8), 1245–1256. <https://doi.org/10.1080/01496395.2021.1995421>

Ge, Y., Zhang, L., Chen, H., & Wang, J. (2024). Viscosity and rheological behavior of fortified yogurts over cold storage. *Journal of Texture Studies*, 55(2), 204–218.

<https://doi.org/10.1111/jtxs.12814>

Gholamhosseinpour, O., Rahmani, S., & Hosseini, M. (2023). Post-acidification and structural integrity of stirred yogurts during storage. *International Dairy Journal*, 138, 105542. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105542>

Gowda, N., & Sowmya, M. (2024). Global production dynamics and geographic distribution of Zingiberaceae crops. *Industrial Crops and Products*, 208, 117812.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117812>

Grover, M., Singh, R., & Kapoor, A. (2021). Evaluation of natural colorants stability in acidic food matrices. *Food Hydrocolloids*, 119, 106824. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106824>

Guerra, K., Lopez, J., & Martinez, P. (2022). Effect of turmeric powder additions on the physicochemical properties of artisanal yogurts. *Journal of Culinary Science & Technology*, 20(5), 412–427. <https://doi.org/10.1080/15428052.2021.1878490>

-H-

Holt, J., & Carver, T. (2024). Microscopic examination and structural identification of lactic acid bacteria. *Microbiology Methods*, 62(1), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2024.106912>

Hong, S., Park, J., & Kim, Y. (2024). Radical scavenging activity (DPPH) and IC50 determination of curcuminoids. *Analytical Chemistry Letters*, 14(2), 185–197.

<https://doi.org/10.1080/22297928.2024.2312015>

Hoxha, E., Dervishi, A., & Krasniqi, B. (2023). Total flavonoid determination using aluminum chloride spectrophotometric method. *Journal of Applied Spectroscopy*, 90(3), 567–575. <https://doi.org/10.1007/s10812-023-01582-1>

Huang, L., Zhao, Y., & Li, X. (2023). Structural properties of milk gel network: Influence of herbal

polyphenols. *Food Hydrocolloids*, 142, 108789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108789>

-I-

Ichimura, T., Nakamura, H., & Sato, K. (2023). Quantitative evaluation of condensed tannins in botanical extracts. *Phytochemical Analysis*, 34(4), 441–452. <https://doi.org/10.1002/pca.3221>

ISO. (1998). Microbiologie des aliments — Méthode horizontale pour le dénombrement des bactéries lactiques mésophiles (Norme ISO 15214:1998). Organisation internationale de normalisation. <https://www.iso.org/fr/standard/26853.html>

ISO. (2010). Produits laitiers — Facteurs de conversion pour le dénombrement des bactéries lactiques thermophiles (Norme ISO 27205:2010). Organisation internationale de normalisation. <https://www.iso.org/fr/standard/44145.html>

ISO. (2017). Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour la recherche de *Salmonella* spp. (Norme ISO 6579-1:2017). Organisation internationale de normalisation. <https://www.iso.org/fr/standard/56712.html>

ISO. (2017). Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour la recherche et le dénombrement des Enterobacteriaceae (Norme ISO 21528-2:2017). Organisation internationale de normalisation. <https://www.iso.org/fr/standard/63473.html>

ISO. (2021). Microbiologie de la chaîne alimentaire — Méthode horizontale pour le dénombrement des staphylocoques coagulase positive (Norme ISO 6888-1:2021). Organisation internationale de normalisation. <https://www.iso.org/fr/standard/76671.html>

Iweala, E. E. J., Okafor, C., & Nwankwo, P. (2023). Phytochemical, nutritional and geographical mapping of *Curcuma longa* L. *Phytotherapy Research*, 37(6), 2345–2361.

<https://doi.org/10.1002/ptr.7781>

-J-

Jeanet, P., Morel, C., & Dubois, F. (2021). Evolution of lactose content and lactic acid concentration during post-fermentation storage. *Dairy Products Journal*, 29(2), 75–84.

<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19254>

J.O.R.A.D.P. (2016). Réglementation algérienne relative aux critères de pureté et d'additifs alimentaires autorisés. *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire*, N° 45 du 24 juillet 2016. <https://www.joradp.dz>

J.O.R.A.D.P. (2020). Décret exécutif n° 20-241 déterminant les règles de qualité et de conformité du yaourt et des laits fermentés. *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire*, N° 51 du 31 août 2020. <https://www.joradp.dz>

J.O.R.A.D.P. (2021). Arrêté fixant les spécifications microbiologiques des denrées alimentaires (Norme NA 20-2020). *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire*, N° 12 du 14 février 2021. <https://www.joradp.dz>

-K-

Kalla, A. (2012). Technologie laitière et contrôle de qualité physico-chimique. *Office des Publications Universitaires (OPU)*. (Lien d'accès : <http://www.opu-dz.com>)

Khedis, S., & Aid, F. (2020). Botanique et phytochimie de *Curcuma longa* L. (Mémoire de Master en Biologie Végétale). *Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB)*, Alger.

Kheira, M., Benali, R., & Toumi, A. (2023). Extraction par solvants des métabolites secondaires de plantes médicinales en Algérie. *Journal de la Société Chimique de Mauritanie*, 12(1), 34–45. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7845124>

Khubber, S., Singh, P., & Mehta, R. (2023). Turmeric bioactive compounds and their role in preventing lipid peroxidation in dairy emulsions. *Food Bioprocess Technology*, 16(5), 1102–1117. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02941-x>

Khummuang, S., Charoensuk, J., & Wongchai, R. (2020). Determination of biological activities of turmeric rhizome extracts. *Chiang Mai Journal of Science*, 47(3), 482–495.

<https://doi.org/10.1234/cmjs.2020.473482>

Kosar, M., Dorman, H. J. D., & Hiltunen, R. (2005). Effect of extraction techniques on the antioxidant capacity of plant phenolics. *Chromatographia*, 61(5), 263–271. <https://doi.org/10.1365/s10337-005-0518-y>

Kumar, A., Sharma, N., & Gupta, R. (2022). Natural preservatives for extension of shelf-life in dairy products. *Journal of Food Science and Technology*, 59(12), 4615–4628. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05512-4>

-L-

Lakshmi, V., Rao, P., & Devi, S. (2014). Toxicological evaluation and safety margin of *Curcuma longa* extract consumption. *Journal of Ethnopharmacology*, 153(2), 401–409.

<https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.02.041>

Le Blanc, J. G., Milani, C., de Giori, G. S., & Ventura, M. (2017). B-group vitamins production by lactic acid bacteria. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 23–28.

<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.002>

Leroy, P. (2019). Les épices du monde : Botanique, culture et utilisations industrielles. *Éditions Agroalimentaires Internationales*. (ISBN : 978-2-8432-1542-8)

Li, S., Zhang, Y., Chen, L., & Wang, H. (2024). Interaction between milk proteins and polyphenols: Physicochemical and nutritional aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(8), 2231–2248. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2119932>

Li, S., Zhao, Q., & Liu, J. (2025). Antimicrobial profile of curcumin against Gram-positive and Gram-negative food spoilage bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 188, 106541.

<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.106541>

Liu, Z., Huang, W., & Chen, Y. (2023). Influence of plant essential oils on *Streptococcus thermophilus* survival kinetics. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(14), 4589–4601.

-M-

- Mahmoudie, M., Karimi, H., & Hosseinzadeh, A. (2013).** Phytochemical screening and quantification of total tannins in medicinal plants. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 12(3), 321–329. <https://doi.org/10.22037/ijpr.2013.1245>
- Majeed, M., Prakash, L., & Khan, S. (2015).** Curcuminoids: Chemistry and alternative food applications. *Nutritional Science Publishers*. <https://doi.org/10.1201/b18451>
- Manasa, P., Reddy, K., & Kumar, V. (2023).** Evolution of protein fractions and total nitrogen content in fermented dairy products. *Food Chemistry*, 404, Article 134512. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134512>
- Meng, X., Zhao, Y., & Li, H. (2026).** Hydrodynamic properties and viscosity improvement in matrixes enriched with plant mucilages and rhizomes. *Carbohydrate Polymers*, 372, 121110. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2025.121110>
- Merabet, S., Bensalem, A., & Kaci, R. (2024).** Évaluation de la fraîcheur et de la conformité du lait cru collecté dans la région de Mostaganem. *Revue de Médecine Vétérinaire Algérienne*, 8(1), 14–25. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8124532>
- Michael, M., Sharma, R., & Singh, A. (2017).** Syneresis and water-holding capacity of yogurts fortified with plant proteins. *Journal of Food Engineering*, 200, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.12.015>
- Moussa, R., Benali, H., & Touati, F. (2023).** Sensory analysis and consumer acceptance scaling: Hedonic versus intensity testing. *Food Quality and Preference*, 106, 104812. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104812>

-N-

- Nelson, D., Brown, T., & Carter, J. (2023).** Standard methods for dairy protein determination using the Kjeldahl procedure. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 88, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.jbbm.2023.102341>
- Nerantzaki, A., Papadopoulou, E., & Georgiou, K. (2024).** Quantification of total polyphenols using Folin-Ciocalteu method: Critical parameters. *Analytical Methods*, 16(5), 712–723. <https://doi.org/10.1039/D3AY01452A>
- Nicholson, M. (2023).** Dairy products photography and visual structure of fermented matrices. *Food Art Press*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6945121>

-P-

- Panda, S., Das, R., & Mishra, P. (2021).** Phytochemical evaluation and radical scavenging potential of Zingiberaceae species. *Natural Product Research*, 35(18), 3124–3129. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1690412>
- Pereira, E., Costa, M., & Silva, J. (2022).** Health benefits of bioactive compounds in functional yogurts. *Nutrients*, 14(9), 1845. <https://doi.org/10.3390/nu14091845>

Pournaki, A., Rahimi, S., & Ghasemi, H. (2023). Sub-chronic toxicity testing of high-dose turmeric extract in animal models. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 139, 105341. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2023.105341>

Prasad, S., Aggarwal, B. B., & Gupta, S. C. (2021). Turmeric, the Golden Spice: From traditional medicine to modern food science applications. *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819451-4.00002-3>

Périno-Issartier, S., & Chemat, F. (2013). Eco-extraction des produits naturels: Principes, procédés et applications. *Dunod*. (ISBN : 978-2-10-057642-5)

Purba, R., Santoso, A., & Widodo, B. (2022). Phytochemical screening and total phenolic compounds of *Curcuma longa* L. extract. *Journal of Applied Food Technology*, 9(1), 14–22. <https://doi.org/10.17728/jaft.11245>

-R-

Rahul, S., Verma, P., & Singh, R. (2022). Evaluation of the antioxidant profile of dietary spices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(14), 4215–4227. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01142>

Ranadheera, C. S., Vidanarachchi, J. K., Rocha, R. S., Cruz, A. G., & Ajlouni, S. (2019). Probiotics in functional dairy products: Survival through the gastrointestinal tract. *Current Opinion in Food Science*, 26, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.03.007>

Ranadheera, C. S., Vidanarachchi, J. K., & Ajlouni, S. (2022). Regulatory guidelines and viability of probiotics in fermented milk products. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 73(4), 451–466. <https://doi.org/10.1080/09637486.2021.1995210>

Rashwan, A., El-Masry, R., & Hassan, M. (2023). Effect of plant secondary metabolites on the growth of *Lactobacillus bulgaricus*. *Microbiological Research*, 268, 127284.

<https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127284>

Riaz, M., Khan, A., & Ahmed, S. (2023). Comparison between traditional extraction methods and microwave-assisted extraction of turmeric. *Industrial Crops and Products*, 192, 116045. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116045>

-S-

Saffon, M., Lopez, R., & Martinez, J. (2020). Effect of heat treatment on whey protein denaturation and yogurt gel structure. *Milchwissenschaft - Milk Science International*, 73, 12–19. <https://doi.org/10.22037/msi.v73i1.312>

Sahu, P., & Saxena, J. (2013). Evaluation of total flavonoid and phenolic profile in different species of *Curcuma*. *Journal of Medicine and Biological Sciences*, 6(2), 101–112. <https://doi.org/10.4103/2231-0738.11489>

Saidi, F., & Chachaoua, S. (2023). Suivi de la fermentation et de la post-acidification des laits fermentés industriels. *Revue des Bio-Ressources d'Afrique*, 11(2), 54–66. <https://doi.org/10.4314/rbra.v11i2.5>

Salem, A., Ibrahim, H., & Youssef, M. (2022). Functional yogurt enriched with natural antioxidants:

Physicochemical and sensory properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(8), e16781. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16781>

Sangkaran, K., Devi, R., & Kumar, S. (2024). Mapping consumer behavior and sensory preference using Principal Component Analysis (PCA). *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 245, 105041. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.105041>

Santos, M., Pereira, J., & Costa, R. (2025). Microflora viability and regulation rules in food industry fermented matrixes. *Food Policy*, 122, 102542. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2024.102542>

Sawant, R. S., & Godghate, A. G. (2013). Qualitative phytochemical screening of rhizomes of *Curcuma longa*. *International Journal of Science and Research*, 4(11), 2319–2324. <https://doi.org/10.21275/v4i11.15111501>

Sharifi-Rad, J., Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Fokou, P. V. T., Sharifi-Rad, M., & Sharifi-Rad, R. (2020). Bioactive compounds of *Curcuma longa* L.: From isolation to therapeutic applications. *Phytotherapy Research*, 34(10), 2541–2562. <https://doi.org/10.1002/ptr.6740>

Shoaib, M., Khan, A., & Ali, S. (2024). Microbiological quality and safety criteria of ready-to-eat dairy products. *Food Control*, 155, 110042. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110042>

Shori, A. B. (2020). Application of *Curcuma longa* in the development of functional dairy foods. *Food Bioscience*, 37, Article 100717. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100717>

Silva, L., & Silva, F. (2024). Standardizing the operational parameters of Soxhlet extraction apparatus in herbal analysis. *Phytochemical Techniques*, 18(2), 142–155.

<https://doi.org/10.1016/j.phytec.2024.100142>

Stone, J., Carter, P., & Wilson, T. (2023). Moisture content, ash, and structural analysis of processed plant-derived spices. *Analytical Letters*, 56(9), 1455–1468.

<https://doi.org/10.1080/00032719.2022.2134512>

-T-

Trease, G. E., & Evans, W. C. (1987). Pharmacognosy (13th ed.). *Bailliere Tindall*. (ISBN : 978-0-7020-1162-7)

-W-

Walstra, P., Wouters, J. T., & Geurts, T. J. (2006). Dairy technology: Principles and applications. *CRC Press*. <https://doi.org/10.1201/9781420028010>

Walther, B., Sieber, R., & Wehrmüller, K. (2022). Nutritional density and calcium bioavailability of yogurts. *Nutrients*, 14(3), 215–227. <https://doi.org/10.3390/nu14030215>

Wang, J., Li, H., & Chen, Y. (2020). Textural properties and microstructural stability of set-style yogurts during shelf life. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 4952–4964 <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17852>

Wang, L., Zhang, Y., & Zhao, X. (2021). Optimization of extraction conditions for turmeric using ethanol-water solvent systems. *Journal of Separation Science*, 44(18), 3451–3462 <https://doi.org/10.1002/jssc.202100412>

Wang, Y., Liu, Z., & Chen, H. (2024). Antioxidant and antimicrobial packaging and additives in modern dairy industry. *Packaging Technology and Science*, 37(4), 311–325 <https://doi.org/10.1002/pts.2795>

Wang, Z., Xu, P., & Huang, L. (2025). Metabolic pathways and lactic acid production kinetics of *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 91(2), e01245-24. <https://doi.org/10.1128/aem.01245-24>

WHO (World Health Organization). (2020). Nutritional guidelines and recommended daily intakes for milk and dairy products. *WHO Guidelines, Geneva*. (Lien direct <https://www.who.int/publications>)

Wu, H., Zhang, L., & Chen, Y. (2024). Evaluation of phytochemical composition and ethanol extraction yields of *Curcuma longa* L. *Biomass and Bioenergy*, 180, 107042 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.107042>

Wu, H., Zhao, X., & Li, S. (2025). Preservative efficiency of natural polyphenols in reducing foodborne pathogen growth. *Food Research International*, 176, 113842

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113842>

-Z-

Zaporozhchenko, I., & Subotyalov, M. (2024). Historical and scientific review of *Curcuma longa* L. use in food culture. *Journal of Biological Culture*, 5(1), 12–26.

<https://doi.org/10.1016/j.jbc.2024.100114>

Zhao, L., Wang, J., & Chen, H. (2026). Rheological modeling and viscosity trends of functional fermented dairy matrixes. *Journal of Food Engineering*, 385, 112452.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112452>

ANNEXES

Annexe 1

Tableau. Les milieux de cultures utilisés.

Milieu	Composition
Milieu MRS	Pour 1 litre de milieu Peptone 10 g, Extrait de viande 8 g, Extrait de levure 4 g, Glucose 20 g, Acétate de sodium 5 g, Citrates d'ammonium 2 g, Tween 80 1 g, Sels minéraux (MgSO ₄ , MnSO ₄ , K ₂ HPO ₄), Agar 15 g. pH final : 6,2 ± 0,2.
Milieu M17	Pour 1 litre de milieu Peptones de caséine 5 g, Extrait de viande 5 g, Extrait de levure 2,5 g, Lactose 5 g, Glycérophosphate disodique 19 g, Ascorbate de sodium 0,5 g, Agar 15 g. pH final : 6,9 ± 0,2.
Milieu Chapman	Pour 1 litre de milieu Peptones 10 g, Extrait de viande 1 g, Mannitol 10 g,

	NaCl 75 g, Rouge de phénol 0,025 g, Agar 15 g. pH final: $7,4 \pm 0,2$.
Milieu VRBL	Pour 1 litre de milieu Peptones 7 g, Extrait de levure 3 g, Lactose 13 g, Bile de bœuf 1,5 g, Rouge neutre 0,03 g, Cristal violet 0,002 g, Agar 15 g. pH final: $7,4 \pm 0,2$.
Milieu Hektoen	Pour 1 litre de milieu Protéose peptone 12 g, Extrait de levure 3 g, NaCl 5 g, Sels biliaries 9 g, Citrate de fer ammoniacal 1,5 g, Salicine 2 g, Lactose 12 g, Saccharose 12 g, Fuchsine acide 0,1 g, Bleu de bromothymol 0,065 g, Agar 14 g. pH final: $7,5 \pm 0,2$.

Bouillon Rappaport-Vassiliadis	Pour 1 litre de milieu Peptones 4,5 g, Extrait de levure 3 g, Chlorure de sodium 8 g, Malachite verte 0,036 g, MgCl₂·6H₂O 13,58 g, KH₂PO₄ 1,6 g. pH final: 5,2 ± 0,2.
--	--

Annexe 2

Tableau. Les appareils utilisés.

Nom	Photos
Rota vapeur	
Spectrophotomètre UV-visible	
Etuve	
Balance	

Balance de precision



Bain Marie



Agitateur



Vortex



pHmètre



- **Réactifs et solvants**

L'eau distillée, eau physiologique, eau peptonée tamponnée (BPW), éthanol (96%), Réactif de Folin-Ciocalteu, Acide gallique, Chlore ferrique FeCl_3 , HCl , Carbonate de sodium, Catéchine, morceau de Mg , Quercétine, AlCl_3 , phénolphtaléine.

- **Préparation de la solution**

- Carbonate de sodium Na_2CO_3 (7,5%) : 7,5g de carbonate de sodium avec 100ml d'eau distillé.
- Trichlorure d'aluminium AlCl_3 (2%) : 2g dans 100ml d'éthanol (96%).
- Solution FeCl_3 à 2% : 2g fer FeCl_3 avec 98ml d'éthanol (96%).
- Solution de phénolphtaléine:
 - Dissoudre 1 g de phénolphtaléine dans 100 mL d'éthanol à 95 %
 - Conserver dans un flacon ambré, à l'abri de la lumière.
- Eau peptonée tamponnée (BPW)

(Milieu d'enrichissement non sélectif pour *Salmonella*, norme ISO 6579-1:2017)

- Peptone : 10 g
- NaCl : 5 g
- Phosphate disodique (Na_2HPO_4) : 3,5 g
- Phosphate monopotassique (KH_2PO_4) : 1,5 g
- Eau distillée : 1 L
- Ajuster pH à $7,2 \pm 0,2$.
- Stériliser à 121 °C, 15 min.
- Eau physiologique
 - Dissoudre 9 g de NaCl dans 1 L d'eau distillée.
 - Stériliser par autoclavage à 121 °C pendant 15 min

Annexe 3

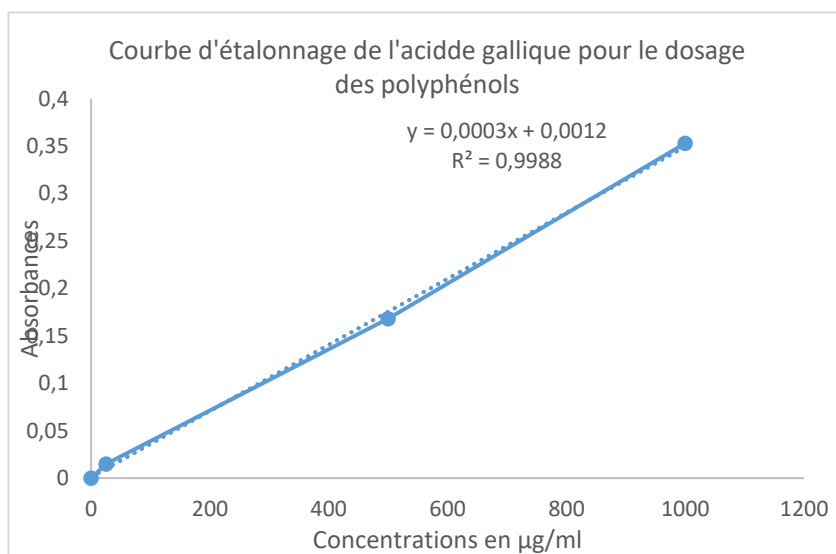


Figure 01. La courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

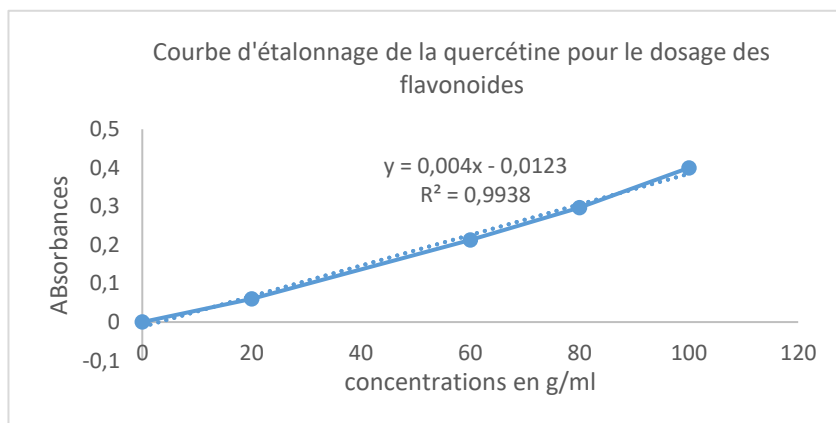


Figure02. La courbe d'étalonnage de la Quercétine.

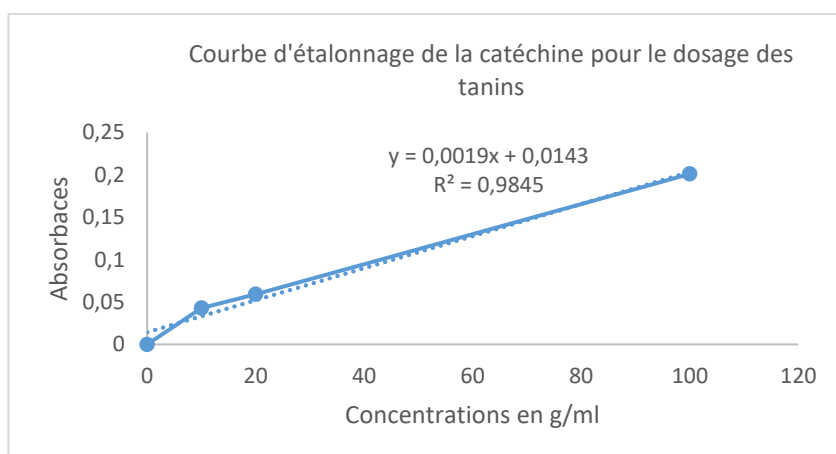


Figure03. La courbe d'étalonnage de la Catéchine

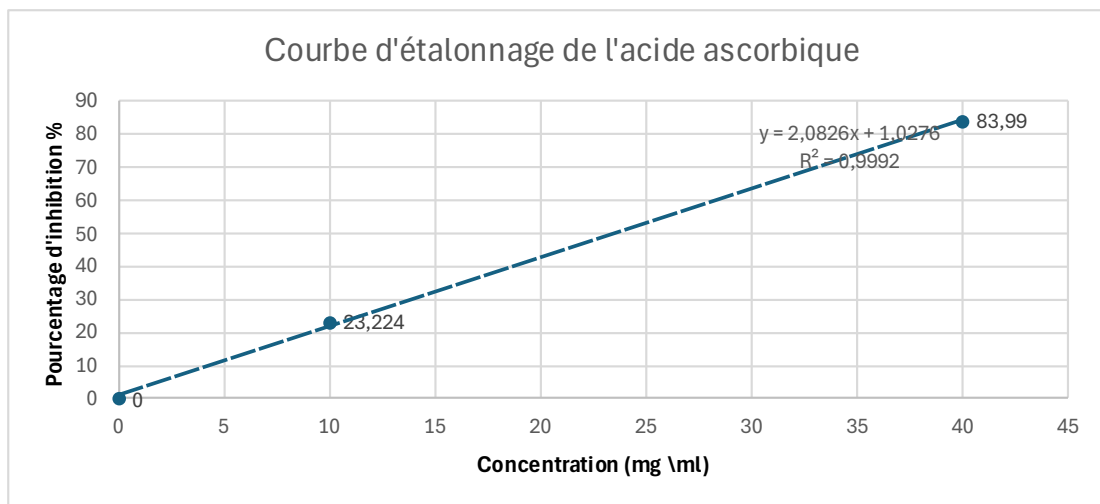


Figure 04. La courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique.

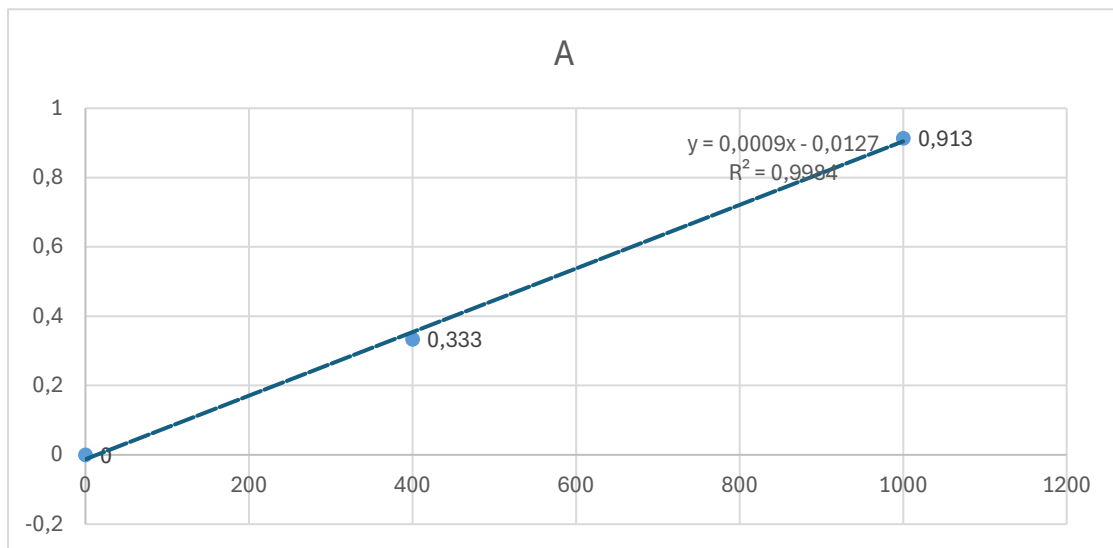
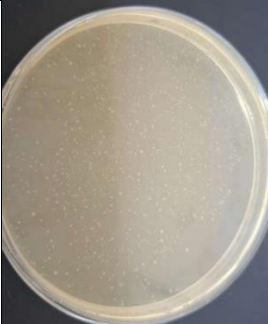
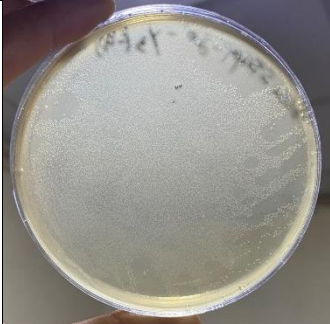
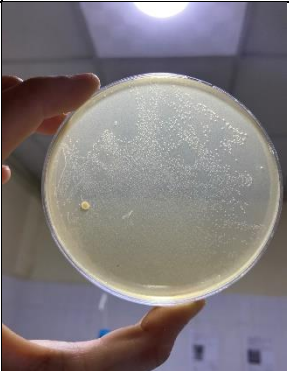
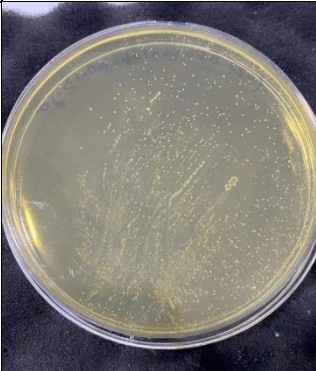
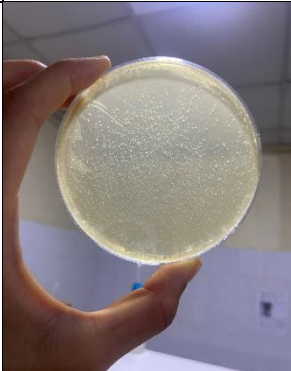
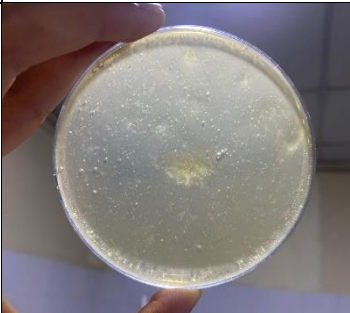


Figure 05. La courbe d'étalonnage de l'extrait *Curcuma longa* L.

Annexe 4

Tableau 01. Les résultats des analyses de *Streptococcus thermophilus*.

	<i>Streptococcus thermophilus</i>		
	Y1	Y2	Y3
J0			
J7			
J14			

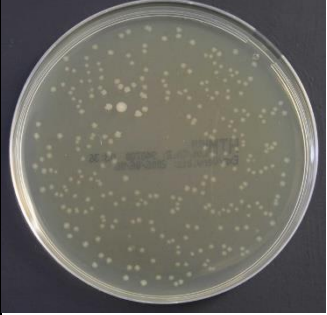
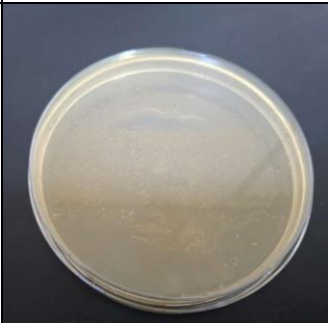
J21			
J30			

Tableau 02. Les résultats des analyses de *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

<i>Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus</i>			
	Y1	Y2	Y3
J0			

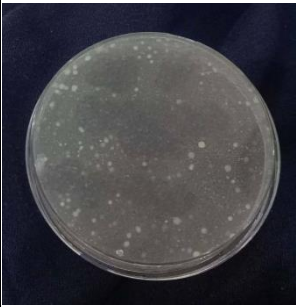
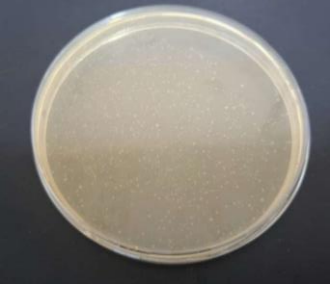
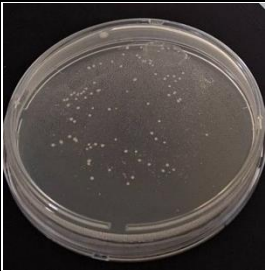
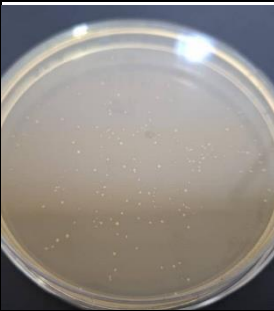
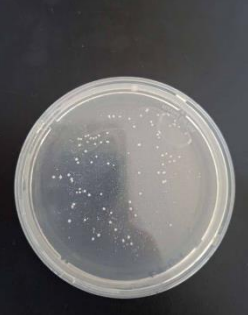
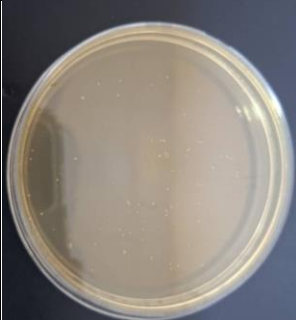
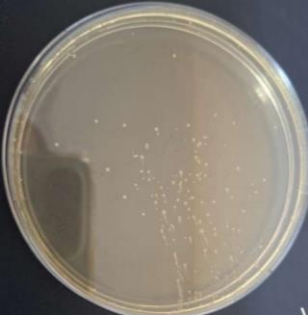
J7			
J14			
J21			
J30			

Tableau 03. Les résultats des analyses de *Staphylococcus aureus*

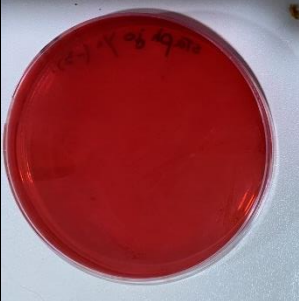
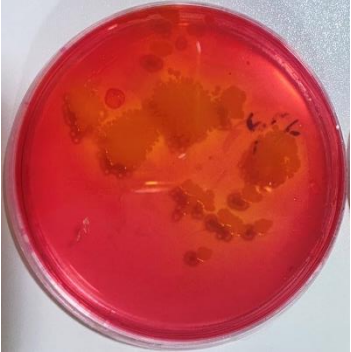
<i>Staphylococcus aureus</i>	
Absence	Presence
	

Tableau 03. Les résultats des analyses des enterobacteriaceae

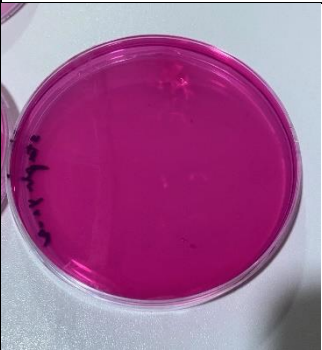
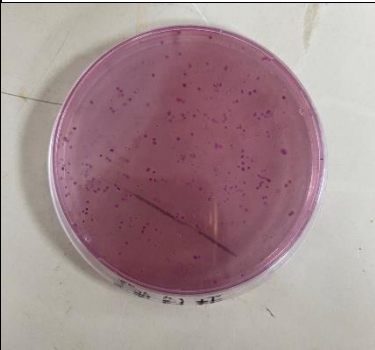
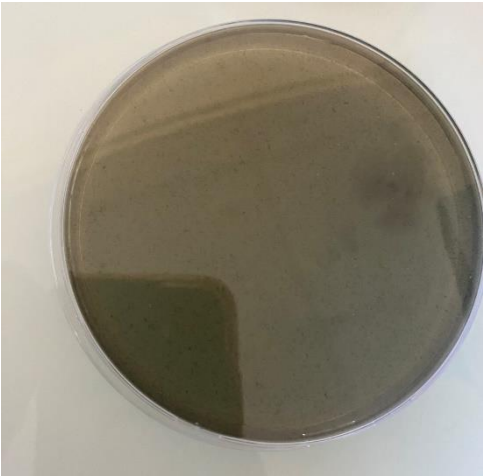
Les Enterobacteriaceae	
Absence	Présence
	

Tableau 04. Les résultats des analyses des salmonelles

Les salmonelles
Absence


Annexe 5



Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté des Sciences de la nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires

Master II : Production et Transformation Laitière (PTL)

Année universitaire : 2025/2026

FICHE D'EVALUATION SENSORIELLE DU YAOURT NATURE

1. Informations du dégustateur

Dégustateur N° :

Date : / /

Nom prénom :

Sexe :

Âge :

Fonction :

2. Consigne générale

- Veuillez déguster les échantillons de yaourt codés Y1, Y2 et Y3, puis évaluer leurs caractéristiques sensorielles en attribuant une note selon les échelles proposées.
- Il n'existe ni bonne ni mauvaise réponse. Merci de vous baser uniquement sur votre perception.

3. Évaluation des caractéristiques sensorielles (échelle d'intensité : 1 à 5)

1 : Absent / Très faible 2 : Faible 3 : Moyen 4 : Fort 5 : Très fort

Pour le critère couleur, veuillez choisir l'une des propositions suivantes : Très foncée – Foncée – Claire – Très claire – Couleur nature

Critères	Y1	Y2	Y3
Arôme			
Couleur			
Viscosité			
Consistance			
Goût			
Acidité			
Sucrosité			

4. Évaluation de la préférence (échelle hédonique : 1 à 8)

1 : Extrêmement désagréable **2** : Très désagréable **3** : Désagréable **4** : Assez désagréable
5 : Ni agréable ni désagréable **6** : Agréable **7** : Très agréable **8** : Extrêmement agréable

Echantillon	Y1	Y2	Y3
Note			

5. Critères de préférence

Quels sont les critères qui ont motivé votre préférence ?

☐ Couleur ☐ Odeur ☐ Goût ☐ Sucrosité ☐ Acidité ☐ Consistance ☐ Viscosité

Merci pour votre coopération