

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

M.E.S.R.S

Université de Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : Microbiologie appliquée et Sciences alimentaires

Option : Microbiologie appliquée

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme Master Académique en Biologie

## Thème

*Optimisation de la fabrication d'un yaourt ferme en valorisant « Pistacia lentiscus »*

**Membres de Jury :**

**Présidente :** M<sup>me</sup> Benhamada. W

**Examinatrice :** D<sup>f</sup> Djabali. S

**Encadreur :** M<sup>f</sup> Rahmoune. Y

**Présenté par :**

M<sup>elle</sup> Benamira Faiza

M<sup>elle</sup> Djebli Amira

M<sup>elle</sup> Houli Meriem



Année universitaire 2021-2022

## **Remerciements**

*Avant tout nous remercions le bon Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la force et la patience qui nous a permis de réaliser ce modeste travail.*

*Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur : **Mr Y. Rahmoune**, pour la qualité de son encadrement, l'aide précieuse qu'il nous a apportée, ses Conseils éclairés et les remarques constructives tout au long de la préparation de ce mémoire.*

*Nos sincères considérations et remerciements sont également exprimés aux membres de jury : Mme **Benhamada** qui nous a fait l'honneur par sa présence en qualité de présidente de jury, Dr **Djabali** qui a accepté de faire partie de ce jury et d'examiner ce travail et d'avoir consacré de son temps pour son évaluation.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement l'ensemble du personnel travaillant au laboratoire de département biologie, qu'ils veuillent bien recevoir l'expression de notre gratitude et de notre profond respect.*

*Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont Aidés et soutenus de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*



# *Dédicaces*

*Tout au début, je tiens à remercier le bon Dieu de m'avoir donné du courage et de patience afin de réaliser ce modeste travail*

*Je dédie ce travail :*

*À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de Joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir ; mon père **Salah** que j'adore*

*À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; Ma mère **wahiba** que j'adore*

*À mes sœurs **Ahlem, Bouchera, Sonia, Hassina***

*À mes frères **Abd allah** et **Hassen** et sa femme*

*À tous Tout le monde de près ou de loin m'a aidée et soutenue, même d'un mot*

*Et un merci spécial du fond du cœur à mon amie **Djebli Amira**, merci pour toutes les années et les choses que nous avons vécues ensemble*

*À ma chère **Benamira Faiza***

*Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie*

***Houli Meriem***

## ***Dédicaces***

*Avec l'aide de dieu, j'ai pu faire se modeste travail que je dédie :*  
*À la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma chère*  
*mère **Fatima** qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Votre intérêt*  
*plein d'amour pour moi m'ont permis de réussir mes études, je vais terminer ma*  
*mémoire comme tu m'as toujours poussée, Merci de m'avoir soutenu tant*  
*moralelement que matériellement qui m'a aidé à devenir la fille ambitieuse que je*  
*suis maintenant.*

*À mon cher père **Messaoud**, mon plus haut exemple et mon modèle de*  
*persévérance pour aller toujours vers l'avant et ne jamais baisser les bras. Pour*  
*son sacrifice, sa tendresse, ses conseils et ses encouragements.*

*À mes très chères sœurs Noura, Milouda, Amel, et Meriem.*

*À mes très chères frères Omar et sa femme Soumia, Antar, Imad, et Mohammed,*  
*vous êtes mes fidèles compagnons dans les moments les plus délicats, je porte*  
*beaucoup d'amour pour vous.*

*À mes chères trinômes **Djebli Amira et Houli Meriem***

*A tous mes amis de spécialité Microbiologie Appliquée, et surtout **Hind et Imane***

***Benamira Faiza***

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail avec un amour sincère à :*

*À Mes chers parents, pour leur soutien constant et leurs sacrifices inestimables tout au long de ma vie, mes mots n'exprimeront jamais mon amour et ma gratitude*

*À ma sœur unique **Sara***

*À ma petite **Maria***

*À ma chère cousine et amie **Bedra**, ainsi qu'aux mes toutes autres cousines et tantes et tous leurs enfants*

*À mes partenaires dans ce travail et mes amies **Meriem** et **Faiza** avec qui j'ai passé des moments inoubliables*

*Et on n'oublie jamais toutes mes amies sans exception, que j'ai eu de la chance à rencontrer au cours de mon parcours académique*

*Et aux âmes des proches qui nous ont quittés « **Mes grands-parents** »*

*Je vous aime tous...*

***Djebli Amira***

# Table des matières

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction .....1

## Chapitre I : Généralités sur le yaourt

I.1. Historique ..... 3

I.2. Définition ..... 3

I.3. Critères du yaourt ..... 4

I. 3.1.Critères nutritionnels ..... 4

I. 3.2.Critères microbiologiques..... 5

I.3.3.Critères organoleptiques ..... 6

I.4. Types du yaourt..... 6

I.4.1. Souches de culture ..... 6

I. 4.2. Texture..... 7

I. 4.3. Teneur en matière grasse ..... 7

I.4.4. Saveur / goût de produit..... 7

I.5. Bactéries lactiques du yaourt ..... 7

I.5.1. *Streptococcus thermophilus*..... 7

I.5.2. *Lactobacillus bulgaricus* ..... 8

I.5.3.Syntrophie entre les deux souches ..... 8

I.6. Fabrication du yaourt ..... 9

I. 6.1. Préparation du lait..... 9

I.6.2. Standardisation ..... 11

I.6.3. Homogénéisation ..... 11

I.6.4. Traitement thermique ..... 11

I.6.5. Inoculation / fermentation ..... 11

I.6.6. Refroidissement et conditionnement ..... 12

I.7. Défauts et les altérations du yaourt ..... 12

I.8. Bénéfices du yaourt sur la santé ..... 13

I.8.1.Bénéfices nutritionnels ..... 13

I.8.2. Bénéfices thérapeutiques..... 14

## Chapitre II : *Pistacia lentiscus*

<b>II.1. Définition</b> .....	15
<b>II.2. Historique</b> .....	15
<b>II.3. Biogéographie</b> .....	16
<b>II.4. Classification</b> .....	16
<b>II.5. Description botanique</b> .....	17
II.5.1. Feuilles .....	17
II.5.2. Fleurs .....	18
II.5.3. Fruits .....	18
II.5.4. Mastic .....	19
<b>II.6. Phytochimie de l'espèce <i>Pistacia lentiscus</i></b> .....	19
II.6.1. Fruit .....	20
II.6.2. Feuilles .....	20
II.6.3. Huile essentielle .....	20
II.6.4. Huile végétale .....	21
II.6.5. Résine .....	21
<b>II.7. Effets biologiques des composants bioactives de <i>Pistacia lentiscus</i></b> .....	21
II.7.1. Activité antimicrobienne .....	21
II.7.2. Activité antioxydante .....	22
II.7.3. Activité anti-inflammatoire .....	22
<b>II.8. Utilisations de <i>Pistacia lentiscus</i></b> .....	23
II.8.1. Domaine Alimentaire .....	23
II.8.2. Domaine Thérapeutique .....	23

## Chapitre III : Méthodologie

<b>III.1. Matériel</b> .....	25
<b>III.2. Mode opératoire</b> .....	25
III.2.1. Préparation d'un yaourt ferme avec du « Pistachier lentisque » .....	25
III.2.1.1. Ingrédients .....	25
III.2.1.2. Caractérisation microbiologique des matières premières .....	26
III.2.1.3. Plan de mélange .....	30
III.2.1.4. Étapes de fabrication .....	30
III.2.2. Contrôle de la qualité du yaourt fabriqué .....	32
III.2.2.1. Contrôle microbiologique .....	32

III.2.2.2. Contrôle physico-chimique .....	32
III.2.3. Évaluation sensorielle.....	34

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

<b>IV.1. Résultats d'analyses microbiologiques des matières premières.....</b>	<b>37</b>
IV.1.1. La poudre du lait.....	37
IV.1.2 La poudre de lentisque.....	38
<b>IV.2. Résultats d'analyses microbiologiques des yaourts fabriqués .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.3. Résultats d'analyses physico-chimiques du yaourt fabriqué .....</b>	<b>40</b>
<b>IV.4. Résultats d'analyse sensorielle .....</b>	<b>42</b>
IV.4.1. Couleur.....	42
IV.4.2. Odeur .....	43
IV.4.3. Texture.....	44
IV.4.4. Goût.....	45
<b>IV.4.7 Résultats du plan de mélange.....</b>	<b>48</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>54</b>
<b>Références bibliographique .....</b>	<b>55</b>

**Annexes**

**Résumé**

## Liste des abréviations

**µg** : microgrammes

**ADN** : Acide Désoxyribose Nucléique

**C°**:Degré Celsius

**CO<sub>2</sub>**: Dioxyde de carbone

**CT** : Coliforme totaux

**CTT** : Coliforme thermo- tolérants

**D°** :Degré doronic

**DPPH** : 1-1diphényle-2-picrylhydrazyl.

**E. coli** :*Escherichia coli*.

**EPSs** : Exopolysaccharides.

**FAO**:Food and Agriculture Organization.

**FTAM** :Flore Totale Aérobie Mésophile.

**G+C**:guanine+cytosine.

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**:Eau oxygénée.

**HE** :Huile essentielle.

**IgA** : immunoglobulines A.

**JMP** :Jump (mot anglais).

**JORA** :Journal Officiel de la République Algérienne.

**Kcal** :kilocalories.

**Lb**:*Lactobacillus*.

**Na Cl** : Chlorure de sodium.

**NaOH** : Hydroxyde de sodium.

**NK**: Natural Killer.

**PCA**:Plate Count Agar.

**PH** : potentiel d'hydrogène.

**PL** : *Pistacia lentiscus*.

**SFB** :Bouillon Sélénite-Cystine.

**St**:*Streptococcus*.

**T°** : Température.

**UFC** : Unité Formant Colonie.

**VRBL** : Violet Red Bile Lactose

## Liste des tableaux

<b>Tableau N° 01</b> : Profil nutritionnel du yaourt pour 100g de produit.....	<b>5</b>
<b>Tableau N° 02</b> : Normes microbiologiques du yaourt .....	<b>6</b>
<b>Tableau N° 03</b> : Défauts susceptibles d'apparaître au cours de la fabrication du yaourt .....	<b>12</b>
<b>Tableau N° 04</b> : Classification systématique de <i>Pistacia lentiscus</i> .....	<b>17</b>
<b>Tableau N° 05</b> : Usage ethno médicaux de <i>Pistacia lentiscus</i> .....	<b>23</b>
<b>Tableau N° 06</b> : Composition nutritionnelle de lait en poudre "LOYA" .....	<b>26</b>
<b>Tableau N° 07</b> : Résultats de l'analyse microbiologique du lait en poudre.....	<b>31</b>
<b>Tableau N° 08</b> : Mélanges en valeurs codées (%)......	<b>37</b>
<b>Tableau N° 09</b> : Résultats de dénombrement des germes de yaourt fabriqué.....	<b>39</b>
<b>Tableau N° 10</b> : Valeur du pH du yaourt fabriqué mesurées au cours du stockage.....	<b>40</b>
<b>Tableau N° 11</b> : Résultats de la mesure de l'acidité titrable du yaourt fabriqué.....	<b>41</b>
<b>Tableau N° 12</b> : Préférence en termes de la douceur .....	<b>45</b>
<b>Tableau N° 13</b> : Résultats des acceptabilités prédites calculés par JMP.....	<b>49</b>
<b>Tableau N° 14</b> : Effets du modèle mathématique.....	<b>50</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Syntrophie entre <i>St.therophilus</i> et <i>Lb.Bulgaricus</i> .....	<b>9</b>
<b>Figure 2 :</b> Processus de la fabrication du yaourt (yaourt ferme et yaourt brassé) .....	<b>10</b>
<b>Figure 3 :</b> Arbuste de <i>Pistacia lentiscus</i> .....	<b>15</b>
<b>Figure 4 :</b> Feuilles de <i>Pistacia lentiscus</i> .....	<b>17</b>
<b>Figure 5 :</b> Fleurs de <i>Pistacia lentiscus</i> .....	<b>18</b>
<b>Figure 6 :</b> Fruits de <i>Pistacia lentiscus</i> .....	<b>19</b>
<b>Figure 7 :</b> Lames de résine.....	<b>19</b>
<b>Figure 8 :</b> Poudre de lentisque .....	<b>25</b>
<b>Figure 9 :</b> Protocole de contrôle microbiologique des matrices utilisées dans la fabrication des yaourts .....	<b>29</b>
<b>Figure 10 :</b> Yaourts fabriqués .....	<b>32</b>
<b>Figure 11 :</b> Mesure du pH de yaourt .....	<b>33</b>
<b>Figure 12 :</b> Mesure de l'acidité titrable .....	<b>33</b>
<b>Figure 13 :</b> Vue d'ensemble des différentes épreuves de la métrologie sensorielle en fonction de l'objectif .....	<b>34</b>
<b>Figure 14 :</b> Evolutions du pH de yaourt fabriqué au cours de stockage.....	<b>40</b>
<b>Figure 15 :</b> Couleurs des échantillons de yaourt .....	<b>42</b>
<b>Figure 16 :</b> Intensité de l'odeur de lentisque dans les échantillons de yaourt.....	<b>43</b>
<b>Figure 17 :</b> Evaluation de la douceur dans les échantillons de yaourt.....	<b>45</b>
<b>Figure 18 :</b> Intensité de l'acidité des différents échantillons de yaourt.....	<b>46</b>
<b>Figure 19 :</b> Intensité du gout fermenté de yaourt .....	<b>47</b>
<b>Figure 20 :</b> Préférence des yaourt selon le mélange d'ingrédients.....	<b>48</b>
<b>Figure 21 :</b> Diagramme "Actual by Predicted Plot" des résultats expérimentaux du plan de mélange pour l'acceptabilité. ....	<b>51</b>

<b>Figure 22 :</b> Analyse de la variance des erreurs du modèle .....	<b>51</b>
<b>Figure 23 :</b> Diagramme d'analyse de résidus (Residual by Predicted Plot ).....	<b>52</b>
<b>Figure 24 :</b> Prédiction du mélange optimum par le modèle .....	<b>53</b>

Le yaourt suscite un intérêt particulier dans l'industrie laitière. Il est devenu l'un des aliments les plus populaires car il est considéré comme un aliment sain, de haute valeur nutritionnelle, et convient à toutes les catégories d'âges. Cela rend les fabricants et les scientifiques en quête permanente pour étudier les différents ingrédients de valeurs à ajouter tels que les probiotiques, les prébiotiques, et les extraits de certaines plantes médicinales (**Donovan et Shamir, 2014**)

Les yaourts aux propriétés fonctionnels fournissent non seulement une nutrition de base classique, mais peuvent également apporter un gain supplémentaire à la santé des consommateurs (**Fazilah et al., 2018**).

L'introduction des principes actifs extraits des végétaux, notamment des plantes médicinales aromatiques dans la production des yaourts, suscite beaucoup d'intérêt en vertu de leur richesse en métabolites secondaires bioactives aux propriétés thérapeutiques diverses (effets antimicrobiens, antioxydants, anti-inflammatoires, etc.), ainsi que leur fort contenu en composés phénoliques utilisés pour l'amélioration des critères organoleptiques (**El kalamouni et al., 2010 ; Kumar et al., 2021**).

Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*) est une plante aromatique connue depuis l'antiquité et largement employée de nos jours pour l'extraction de ses huiles qui sont utilisées dans plusieurs domaines, culinaire, pharmaceutique et thérapeutique, (**Chenni, 2016 ; Piccolella et al., 2016**).

Les résidus de processus de l'extraction des huiles (tourteaux) sont habituellement éliminés dans la nature, ce qui augmente les risques de pollution de la biosphère, et nécessite donc d'être valoriser pour qu'ils deviennent des véritables matières premières secondaires, incorporées dans plusieurs industries.

L'optimisation de la qualité des produits alimentaires s'est développée ces dernières années, et devenu l'une des aspirations de nombreuses entreprises alimentaires suite à la prévalence croissante de certaines maladies liées à la nutrition, tel que l'obésité, le diabète, les intolérances alimentaires, etc. et au développement des cultures alimentaires (**Hoppert et al., 2014**).

Plusieurs logiciels (JMP, SAS, OPTEX, XLSTAT...) sont créés dans le but de faciliter le travail laborieux de l'optimisation les propriétés sensorielles, nutritionnelles, tout en prenant soin de renoncer au maximum à l'ajout des additifs synthétiques / chimiques (**Gauchi, 2005**).

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce mémoire, essai de l'optimisation de la fabrication d'un yaourt étuvé de bonne qualité hygiénique et physico chimique à base d'extrait sec (tourteaux) de fruit de *Pistacia lentiscus*, ainsi que la détermination de son effet sur la conservation naturel de produit, et les effets sur la stabilité des paramètres microbiologiques, physicochimiques et

organoleptiques du yaourt, en utilisant les plans de mélanges du logiciel informatique « JMP », afin de pouvoir déterminer la meilleure formulation.

Le manuscrit est structuré autour de quatre chapitres dont les deux premiers évoquent les revues bibliographiques concernant « le yaourt » et « *Pistacia lentiscus* ». Le troisième et les quatrième chapitres décrivent respectivement, la méthodologie adoptée lors du travail expérimental et les résultats obtenus accompagnés d'une interprétation analytique. Enfin le manuscrit est parachevé par une conclusion qui résume les connaissances acquises tout au long du travail.

*Chapitre I*

*Généralités sur le*

*yaourt*

## **I. Généralités sur le yaourt**

### **I.1. Historique**

Le yaourt est un aliment très ancien, il est connu par l'humanité depuis des milliers d'années, mais il est apparu pour la première fois dans la littérature à l'environ du le 8<sup>ème</sup> siècle (**Trachoo, 2002**). À cette époque l'Homme savait et consommait les produits laitiers fermentés sans connaître le principal responsable de la transformation du lait ni la méthode exacte. Le processus s'est déroulé spontanément grâce aux bactéries lactiques hébergées dans les récipients de récolte du lait (**Drider, 2009**). Cela s'est étendue jusqu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, quand Pasteur démystifie, finalement, le processus de « la fermentation » et sa relation avec les microorganismes, après une série d'études qu'il a effectué sur différents types de fermentation (**Bordenave, 2003**).

En 1904, Elie Metchnikoff, élève de Louis Pasteur, isole à partir du lait fermenté originaire de Bulgarie, les ferments spécifiques du yaourt « *bacille bulgare* » (*Lactobacillus bulgaricus*) et *Streptococcus thermophilus* (**Bourlioux, 2007**)

En 1919, Isaac Carasso commence, officiellement, à produire du yaourt à Barcelone selon des procédés industriels (**Pelletrier et al., 2007**).

La première production commerciale du yaourt en Europe a été entreprise par « Danone » en 1922 à Madrid en Espagne. Quelques décennies plus tard, et depuis les années 1950, des avancées dans la technologie de la fabrication et dans la compréhension de propriétés du yaourt sont atteints et ouvrent la voie à la diffusion de son industrie. Le yaourt est devenu l'un des aliments les plus consommés au monde (**Shah, 2017**).

### **I.2. Définition**

Le mot « yaourt », « yoghurt » ou encore « yogurt » est dérivé du terme turque « Yogurtmak » qui signifie épaissir, coaguler ou cailler (**Kaur et al., 2017**). Selon le Codex Alimentarius de 1992, le yaourt est défini comme un produit laitier coagulé obtenu grâce à l'action de bactéries lactiques vivantes ajoutées en quantités substantielles dans un lait pasteurisé (concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec), et dans des conditions de température et d'environnement contrôlées (**Meydani et al., 2000**). Les bactéries employées sont représentées principalement par les deux souches thermophiles : *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, toutefois, ces derniers peuvent être combinées avec d'autres espèces de bactéries lactiques afin d'améliorer la qualité marchande de yaourt (**Das et al., 2019**).

Le yaourt fournit une excellente source de nutriments essentiels, et il est devenu l'un des choix les plus répandus pour couvrir des déficiences alimentaires et pour résoudre plusieurs problèmes digestifs et renforcer le système immunitaire (**Bourlioux et al., 2011**).

### **I.3. Critères du yaourt**

Généralement, les portions du yaourt commercialisées en Algérie ont une taille moyenne de 100g. Cependant, la taille d'une portion typique du yaourt est convenue d'être environ 187.5ml / 170-175 g (**Fernandez et al.,2017**). Bien que cette taille puisse varier d'un pays à un autre, les portions partagent toutes un ensemble de caractéristiques communes.

#### **I.3.1. Critères nutritionnels**

A la base, le profil nutritionnel du Yaourt a une composition similaire à celle du lait dont il est fabriqué (**Ayar et Gurlin, 2014**). Cependant, le processus de la fermentation ainsi que certains ingrédients qui peuvent être ajoutés (fruits, céréales.), augmentent la biodisponibilité des nutriments dans le yaourt et le rend plus riche et plus bénéfique que le lait (**Fazilah et al., 2018**).

Plusieurs études ont montré que la consommation du yaourt est associée à un meilleur profil nutritionnel, exemple de l'étude de **Wang et al (2013)**, de **Webb et al(2014)**, et celle de **Panahi et al (2018)**.

Le yaourt est principalement riche en protéines de haute qualité provenant du lait, 80% d'entre eux sont des caséines ( $\alpha$ -s1,  $\alpha$ -s2,  $\beta$ -caséine,  $\kappa$ -caséine) et 20% sont des protéines de lactosérum ( $\beta$ -lactoglobuline,  $\alpha$ -lactalbumine, lactoferrine, glycomacropéptides, immunoglobulines et enzymes ...) (**Fernandez et al.,2017**).

La teneur du yaourt en lipides est plus faible par rapport à celle de protéines et dépendante de type du yaourt. Plus de 95% de ces lipides sont des triglycérides saturés, mono insaturés ou polyinsaturés (**Citta et al., 2017**).

En termes de glucides, le lactose constitue le sucre principal et peut couvrir jusqu'à 98 % des glucides d'un yaourt simple, mais souvent, d'autres édulcorants supplémentaires sont ajoutés : stabilisateurs, gomme de guar, dérivés de cellulose, carraghénane... (**Fernandez et al.,2017**).

Le yaourt constitue aussi une excellente source de vitamines (vitamine B1, B2, B12, niacine...) et une source de valeur de plusieurs minéraux (calcium, magnésium, phosphore, zinc...) (**Tableau 01**) qui sont encore susceptibles d'être fortifiés au niveau industriel (**Marette et Picard-Deland, 2014**).

Tableau 01 : Profil nutritionnel du yaourt pour 100g de produit

(Weerathilake et al,2014)

Composants	Yaourt au lait entier	Yaourt partiellement écrémé	Yaourt maigre	Yaourt liquide
Energie (Kcal)	79	56	54	62
Protéines (g)	5,7	4,8	5,4	3,1
Carbohydrates (g)	7,8	7,4	8,2	13,1
Matière grasse (g)	3,0	1,0	0,2	Trace
Vitamine B6(mg)	0,10	0,01	0,07	0,05
Vitamine B12 (mg)	0,2	0,3	0,2	0,2
Riboflavine (mg)	0,27	0,22	0,29	0,16
Potassium (mg)	280	228	247	130
Phosphore (mg)	170	143	151	81
Calcium (mg)	200	162	160	100

### I.3.2. Critères microbiologiques

Le yaourt est fabriqué par la fermentation spontanée ou induite du lait par les bactéries lactiques (Fazilah et al., 2018). Suivant les normes internationales concernant le yaourt traditionnel, ce produit doit contenir un minimum de  $10^7$  UFC du ferment lactique par gramme (Savaiano et Hutkins, 2021) présentés principalement par *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Toutefois, d'autres espèces du genres *Lactobacillus* et *Bifidobacterium* peuvent être ajoutées pour avoir des propriétés probiotiques : *Lb. Acidophilus*, *Lb. Casei*, *Lb. Lactis*, *Bf. Longum*, *Bf. Bifidus...etc* (Nyanzi et al.,2021).

Le yaourt peut avoir aussi d'autres microorganismes non souhaitables, parfois pathogènes (Tableau02), provenant de l'environnement, ustensiles, additifs, emballage...etc. Ceci nécessite un contrôle microbiologique pour confirmer sa qualité microbiologique (Pal et al., 2015).

Tableau02 : Normes microbiologiques du yaourt (Pal et al, 2015)

Germes	Normes (UFC/g)
Bactéries lactiques	< 10 <sup>7</sup>
Coliformes	< 10
<i>Escherichia coli</i>	< 1
<i>Salmonella / Shigella</i>	0
<i>Listeria monocytogenes</i>	0
<i>Staphylococcus aureus</i>	< 100

### I.3.3. Critères organoleptiques

Les critères organoleptiques et rhéologiques varient selon le type de yaourt. Elles dépendent principalement de processus de fermentation, de type de lait, des souches de cultures, des additifs et de conditions de stockage (Nagaoka,2019).

Les propriétés texturants du yaourt comprennent la viscosité, la solidité et la synérèse. La viscosité peut être affectée par le traitement thermique et les stabilisateurs, mais elle fondamentalement liée au taux des exopolysaccharides (EPS) produits par les microorganismes de culture (Trachoo, 2002 ; Sanlibaba et Çakmak, 2016).

Les goûts et les arômes des yaourts sont majoritairement dépendantes des composants volatiles résultants de l'activité des ferments lactiques : alcools, aldéhydes, cétones, acides, esters, lactones, pyrazines et aussi des additifs industriels qui ont fait objet de multitude formulation (Chen et al., 2017).

### I.4. Types du yaourt

Les yaourts sont disponibles dans nos marchés sous différentes formes, textures, saveurs, goûts en relation directe avec leurs différentes compositions, afin de répondre aux besoins nutritionnels et gustatifs des consommateurs (Birolo et al., 2000). Ainsi les yaourts sont scindés en plusieurs catégories classées selon :

#### I.4.1. Souches de culture

- **Yaourt standard** : fabriqué uniquement par les deux souches principales de culture du yaourt « *St.thermophilus* » et « *Lb. Bulgaricus* » (Savaiano et Hutkins, 2021).
- **Yaourt « Bio » / « Probiotique »** : outre que les deux souches de culture de départ, ce yaourt est supplémenté avec d'autres souches « vivantes » ou « probiotiques » capables

d'exercer plusieurs effets bénéfiques au niveau de tube digestif. Les souches les plus répandus sont *Bifidobacterium* et *Lactobacillus acidophilus* (Nyanzi et al., 2021).

#### I.4.2. Texture

- **Yaourts fermes ou étuvés** : dont la fermentation a lieu en pots, et ce sont généralement des yaourts naturels et aromatisés
- **Yaourts brassés** : dont la fermentation a lieu en cuve avant le brassage et le conditionnement, c'est le cas des yaourts veloutés naturels ou aux fruits (Bourlioux et al., 2011)

La fabrication de ces deux types de yaourt peut être réalisée soit à partir de lait entier ou à partir du lait partiellement ou totalement écrémé (Jeant et al., 2007)

- **Yaourts liquides** : Un yaourt à boire est un lait fermenté brassé et commercialisé. Il a une faible viscosité et souvent sucré et/ou aromatisé à l'aide de jus ou de purées de fruits. Il est plutôt consommé comme une boisson rafraîchissante que comme un aliment (Béal et al., 2019).

#### I.4.3. Teneur en matière grasse (FAO, 1995)

- **Yaourt entier** : Ce type de yaourt contient un maximum de 3 à 3,5% de matière grasse dans 100 g de produit.
- **Yaourt maigre** : Ce type renferme moins de 1% de matière grasse.
- **Yaourt partiellement écrémé** : Contenant entre 1à3% de matière grasse, ou totalement écrémé : contenant environ 0.5 % de matière grasse ou moins.

#### I.4.4. Saveur / goût de produit

Généralement, l'ajout de la saveur au yaourt le rend plus précieux et plus souhaité par les consommateurs, ces saveurs peuvent être ajoutées avant ou après l'homogénéisation. Les yaourts sont soit : des yaourts sucrés, naturels, yaourts aux fruits, au miel, yaourts aromatisés par des arômes naturels ou de synthèse autorisée par la législation (Kaur et al., 2017).

### I.5. Bactéries lactiques du yaourt :

#### I.5.1. *Streptococcus thermophilus*

Les *St. Thermophilus* sont des cocci à Gram positif, anaérobies facultatifs, qui se regroupent en paires ou en chaînes courtes (Uriot et al., 2017). Ces microorganismes thermophiles se développent généralement dans des températures variantes entre 37 et 40°C, toutefois, elles peuvent croître encore à 50°C et survive au chauffage à 65°C (FAO ,1995).

Ces bactéries sont largement appliquées dans la production des laits fermentés, notamment le yaourt, ainsi que dans la production de certains fromages comme la mozzarella et l'emmental

(Gezginc et al., 2013), leur principal rôle dans la fermentation du lait est l'utilisation du lactose pour la production de l'acide lactique tout en provoquant une réduction rapide du pH ce qui entraîne la coagulation des protéines (caséines) du lait (Farag et al., 2021). De plus, ces bactéries confèrent des propriétés essentielles à la qualité du yaourt, telles que la saveur, l'acidité, la viscosité et la capacité de rétention d'eau (Linares et al., 2016).

### I.5.2. *Lactobacillus bulgaricus*

Du nom binomial *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, il s'agit de la deuxième souche principale participante à la fabrication du yaourt. Elle se présente comme bacille à Gram positif, non mobile et non sporulée, tolérante aux pH acides (5,4 – 4,6), avec une composition en (G+C) comprise entre 33% à 54% (Béal et Helinck., 2019; Tufail et al., 2011). Cette souche est homofermentaire et transforme le glucose, galactose et lactose en acide lactique de formes L(+) et D(-) jusque a 1,7% dans le lait. Elle est micro-aérophile et thermophile, elle se développe normalement entre 40 et 47° C. Outre sa fermentation des sucres du lait, elle joue également un rôle majeur dans l'amélioration de la texture et la réduction de synérèse du yaourt (Jeantet et al., 2007 ; Trachoo, 2002).

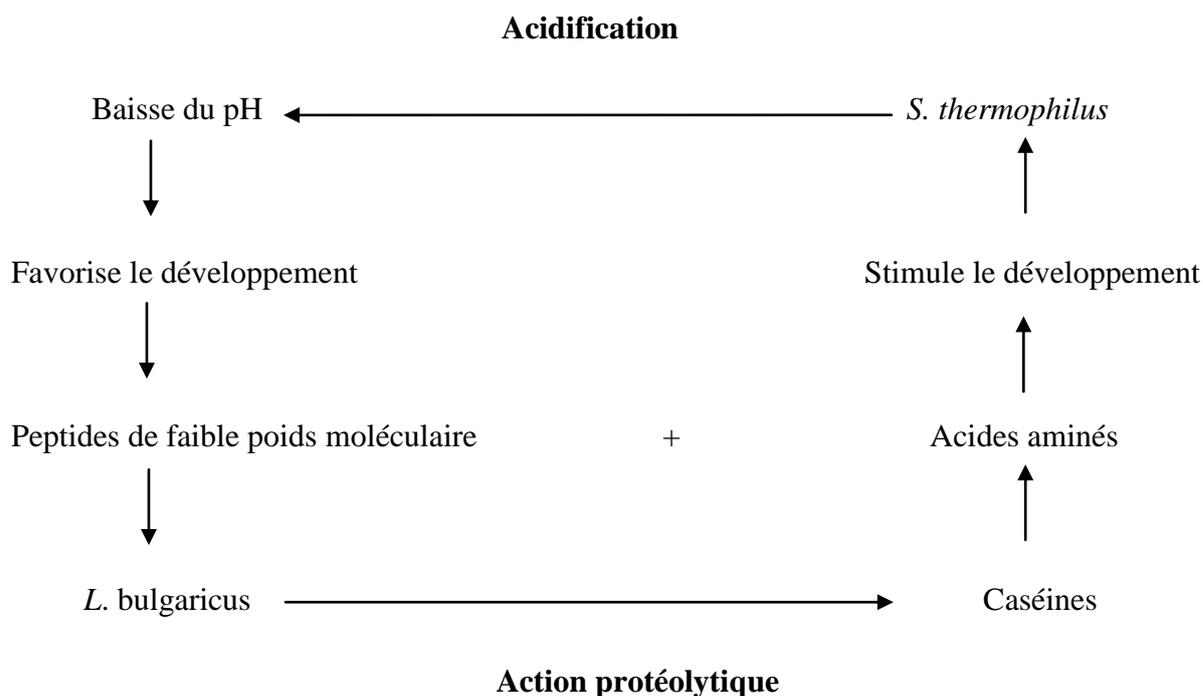
### I.5.3. Syntrophie entre les deux souches

La syntrophie entre *St. thermophilus* et *Lb. Bulgaricuse* (figure 1), est l'un des facteurs clés qui déterminent le processus de la fermentation. Cette coopération est exploitée dans l'amélioration de l'acidité, la viscosité et l'arôme nécessaires pour obtenir un yaourt d'une bonne qualité (Settachaimongkon, 2014).

La production d'acide lactique s'avère beaucoup plus grande dans la culture mixte des deux souches bactériennes combinées que dans les cultures séparées de chacune des deux. En fait, elles se stimulent l'une et l'autre au cours de leur croissance associative (Horiuchi et al., 2012).

*Lb. Bulgaricus*, à travers son activité protéolytique élevée permet de fournir les peptides et les acides aminés libres nécessaires à la croissance de *St.thermophilus* (Courtin et al., 2002).

En retour, *St.thermophilus* stimule la croissance de *Lb. Bulgaricus* par la production des acides pyruvique, formique, folique et de dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> (Liu et al., 2016). La production d'acide formique dépend de la souche, le milieu et la température. De plus, l'acide lactique produit par *S. thermophilus* réduit le pH du lait à un niveau optimal au développement de *Lb bulgaricus* (Arioli et al., 2017).



**Figure 1** : Syntrophie entre *St. thermophilus* et  
*Lb. Bulgaricus*

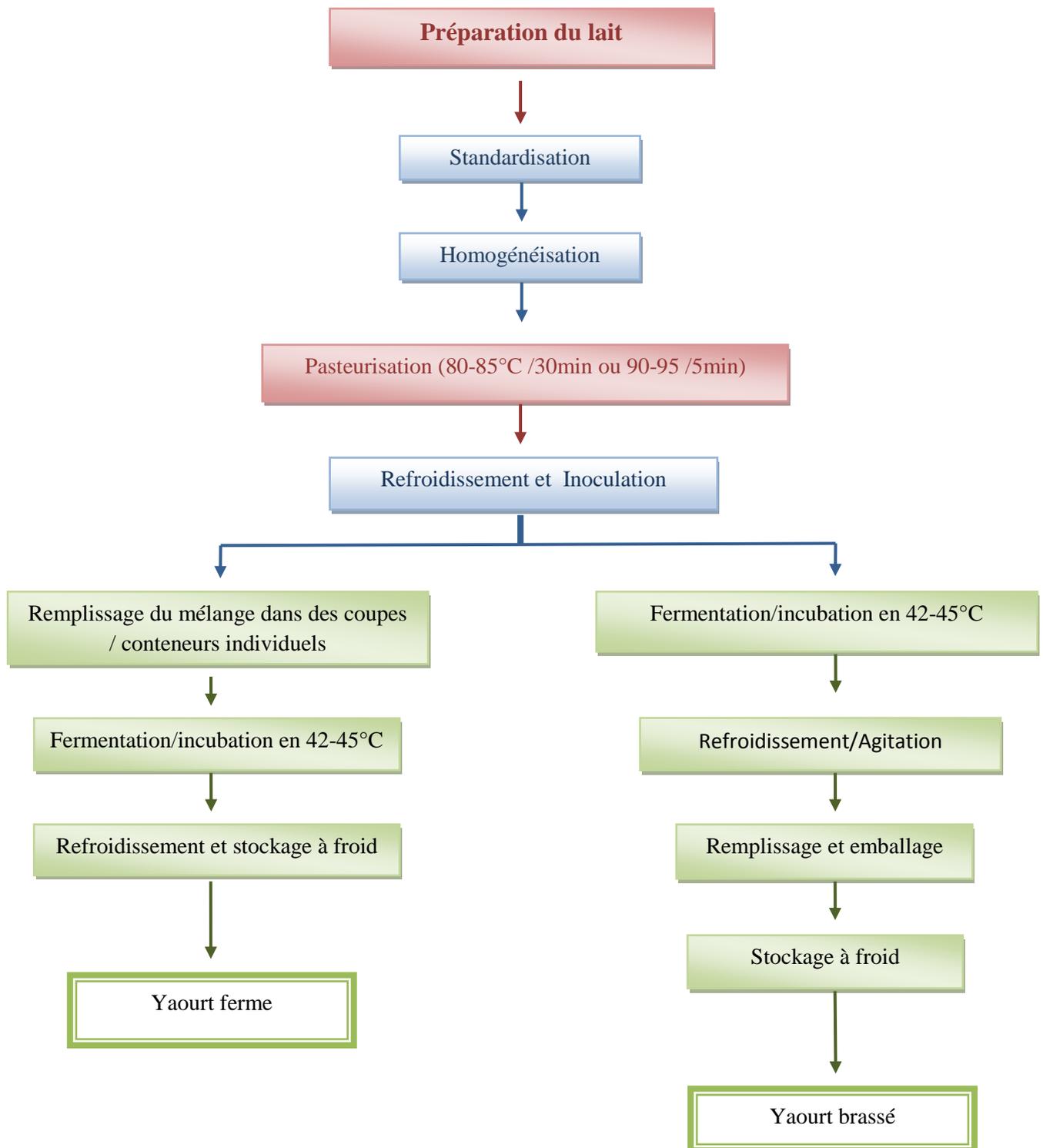
## I.6. Etapes de la fabrication du yaourt

La fabrication du yaourt est un processus traditionnel de longue date qui a été transmis de générations en générations tout en améliorant sa technologie pour devenir une activité rationnelle et sophistiquée en combinant la science et le savoir-faire (Weerathilake et al, 2014).

En général, la fabrication industrielle d'un yaourt commence par la réception du lait des producteurs, puis, ce lait est transporté, pesé et stocké dans des réservoirs refroidis pour qu'il passe ensuite par des phases de transformation standards (figure2) (Tsarouhasa et Arvanitoyannis, 2014)

### I.6.1. Préparation du lait

Une première étape, optionnelle, consiste à traiter le lait par une centrifugation et /ou une thermalisation à 60-69°C durant 20-30 secondes pour éliminer les cellules somatiques, impuretés solides et microorganismes végétatifs (Fazilah et al., 2018). Cette étape inclut généralement un enrichissement avec du lait écrémé en poudre, un concentré de protéines de lactosérum, sucres et stabilisateurs (pectine, gélatine...) afin d'améliorer la forme et la texture du produit final (Kaur et al., 2018).



**Figure 2** : Processus de la fabrication du yaourt (yaourt ferme et yaourt brassé) (Weerathilake et al, 2014)

### I.6.2. Standardisation

Cette phase a pour but d'ajuster la teneur en matière grasse et en solides non-gras pour atteindre les normes standards recommandés : un yaourt doit contenir un minimum de 2.7% de protéines et un maximum de 15% de matière grasse, cette dernière est souvent ajustée par une crème /graisse de beurre. L'acidité titrable exprimée par le pourcentage de l'acide lactique ne doit être moins de 0.3 % (Weerathilake et al., 2014).

### I.6.3. Homogénéisation

Une étape très importante dans ce processus, réalisée à l'aide d'un homogénéisateur ou d'un viscoliseur dans lequel le lait est poussé à travers de petites ouvertures à pression élevée, afin de briser les globules gras, réduire leur diamètre, ce qui assure une répartition uniforme de la matière grasse, inhibe la formation d'une couche crémeuse discrète à la surface du yaourt, et améliore ainsi sa consistance (Kaur et al, 2017).

### I.6.4. Traitement thermique

C'est une étape qui fait suite à la préparation du lait, standardisation et homogénéisation. Le lait du yaourt est destiné à subir un traitement thermique continu ou discontinu sous une température relativement élevée pendant une période prédéterminée afin de détruire les microorganismes pathogènes et résistants, tel que « *Coxiella burnetii* » reconnu actuellement comme le plus résistant dans le lait (Weerathilake et al, 2014).

Le traitement thermique influence grandement les propriétés physiques du yaourt en dénaturant les protéines de lactosérum, qui donnent par la suite une meilleure texture au produit fini et il contribue, aussi, de manière significative à stimuler le processus de la fermentation, par la libération des composés nécessaires à la croissance des bactéries du ferment, et l'élimination de l'oxygène dissous dont elles sont sensibles (Das et al., 2019).

### I.6.5. Inoculation / fermentation

Après le traitement thermique, le yaourt doit être refroidi à 43-46°C, une T° optimale pour l'activité de souches thermophiles utilisées pour la fermentation. Puis, un ferment contenant *St.thermophilus* et *Lb.delbruckii subsp.bulgaricus* est ajouté à environ 2-3%, avant que le mélange passe dans une chambre d'incubation / maturation où il est maintenu pour quelques heures sous une température contrôlée (Ayar &Gurlin, 2014). L'inoculation a généralement lieu dans des cuves hygiéniques en acier inoxydable ou dans des récipients individuels, tout dépend de type de yaourt, ferme ou brassé (Weerathilake et al., 2014).

### I.6.6. Refroidissement et conditionnement

Lorsque le yaourt atteint le niveau d'acidité souhaité (pH 4.5 - 4.6), le processus de fermentation est interrompu par un refroidissement rapide afin d'arrêter le développement des bactéries lactiques et la production d'acide lactique. Ce refroidissement est réalisé en deux phases, une première comporte une diminution rapide de T° à < 10°C, et une deuxième à < 20°C, avant qu'elle soit finalement abaissée à 5°C, température de stockage. Pour le yaourt brassé, le refroidissement est d'abord effectué après l'agitation de coagulum dans la cuve (**Weerathilake et al., 2014 ; Kaur et al., 2017**).

Une fois la production est complétée, un nettoyage de toutes les machines utilisées est effectué automatiquement par le « cleaning in place » (**Tsarouhasa et Arvanitoyannis, 2014**).

### I.7. Défauts et les altérations du yaourt

Durant le processus de la fabrication du yaourt, une fausse action, ou bien une mauvaise pratique peut entraîner l'apparence de plusieurs défauts organoleptiques du yaourt fabriqué, ce qui affecte directement la qualité marchande du produit. Le tableau (**tableau 3**) ci-après résume certains défauts :

**Tableau 03** : Quelques défauts susceptibles d'apparaître au cours de la fabrication du yaourt

Qualités	Défauts	Cause	Référence
<b>Apparence</b>	Décantation, synérèse	-Sur-acidification / post-acidification -Température de stockage trop élevée -Refroidissement trop lent -Conditions de transport (agitation, vibration.)	<b>Jeantet et al., 2007</b>
	Production de gaz	-Contamination par des levures /coliformes	
	Couche de crème	-Homogénéisation insuffisante /absente	
<b>Texture</b>	Texteur sableuse	-Température d'homogénéisation trop élevée -Traitement thermique intense -Acidification rapide -Chauffage poussé au lait	<b>Soukoulis et al., 2007</b>
	Manque de fermeté	-Ensemencement faible -Mauvaise incubation -Traitement thermique trop modère	<b>Trachoo, 2002</b>
	Texture granuleuse	-Mauvais brassage - Teneur en matière grasse trop élevée	

<i>Suite du tableau 3</i>			
Qualités	Défauts	Cause	Référence
<b>Goût</b>	Amertume	-activité protéolytique forte / contamination par des germes protéolytiques -longue conservation	<b>Karagul-yuccer et <i>al.</i>, 2006</b>
	Absence d'arôme	-Déséquilibre de la flore (trophe de streptocoques) -Condition d'incubation	
	Acidité trop forte / faible	-Taux d'ensemencement trop fort / faible -Incubation longue /courte	<b>Sandine et <i>al.</i>, 1972</b>

## I.8. Les bénéfices du yaourt sur la santé

### I.8.1. Bénéfices nutritionnels

#### - Amélioration de l'intolérance au lactose

Une fois dans le tube digestif, le lactose est transformé en glucose et galactose par l'action d'une lactase ( $\beta$ -galactosidase) puis assimilés par la muqueuse intestinale. La carence de cette enzyme entraîne une diminution de l'hydrolyse du lactose qui atteint le côlon non digéré, provoquant ainsi certains symptômes gastro-intestinaux : la diarrhée, douleurs abdominales, crampes, etc. (**Lecerf ,2016**). La consommation du yaourt améliore l'absorption et l'assimilation du lactose chez les personnes déficientes en lactase, grâce à l'activité de la  $\beta$ -galactosidase produite par les bactéries lactiques du yaourt. Toutefois, cette activité nécessite la viabilité de ces bactéries, qui peuvent être négativement affectée par le traitement thermique appliqué sur le yaourt (**Savado** et **Traore, 2011 ; Fernandez et *al.*,2017**).

#### - Amélioration de la digestibilité des protéines / matières grasses

L'activité protéolytique des bactéries lactiques du yaourt augmente le taux de la dégradation des protéines et fournit ainsi plus d'acides aminés libres et de peptides bioactifs assimilables dans l'intestin, ce qui le rend un produit plus facile à digéré que le lait et donc, plus conseillé pour couvrir toute carence en termes de protéines. Idem pour les matières grasses (**Marette et Picard-Deland., 2014**).

### I.8.2. Bénéfices thérapeutiques

#### - Activité antimicrobienne

Le yaourt, notamment le yaourt probiotique, exerce un rôle préventif contre les infections gastro-intestinales. *St. Thermophilus* et *Lb. bulgaricus* ainsi que les autres probiotiques inclus, peuvent également maintenir l'équilibre du microbiote intestinale et inhiber l'installation et la prolifération des souches bactériennes pathogènes à travers plusieurs mécanismes : production des oligosaccharides et des substances antimicrobiennes qui inhibent directement le pathogène ( $H_2O_2$ , acide lactique, acide acétique), abaissement du pH du milieu, augmentation de péristaltisme, détoxification par la dégradation des entérotoxine, prévention de la synthèse d'amines toxiques et effet de barrière par compétition métabolique (Lecerf, 2016).

#### - Stimulation du système immunitaire

Les yaourts interviennent également dans l'activité immunitaire en produisant des polysaccharides immunomodulateurs dont le rôle est d'augmenter le taux d'interférons (IFN)- $\gamma$  et des immunoglobulines, ainsi que la stimulation de l'activité des lymphocytes naturel killer NK, les IgA, la production d'anticorps et en diminuant les risques d'allergie chez les enfants (Bourlioux et al., 2011 ; Lecerf, 2016).

#### - Action préventive contre les cancers

Un effet anticancéreux du yaourt a été rapporté depuis 1973, où des études sur des souris ont montrés la capacité des souches du yaourt à ralentir la prolifération des cellules cancéreuses. Cette action antitumorale est supposées être liée à la stimulation des fonctions immunitaires de l'organisme, mais aussi aux effets bénéfiques sur la microflore intestinale tout en réduisant les activités enzymatiques fécales qui augmentent le taux de conversion des pro-carcinogènes en carcinogènes proximaux. Cette activité préventive peut toucher plusieurs types de cancer, notamment les cancers colorectaux, du sein et celui de prostate (Desobry-Banon et al., 1999 ; Savadogo et Traore, 2011).

#### - Action hypocholestérolémiante

Des recherches menées sur des souris ont montrés que la consommation du yaourt est susceptible d'avoir un effet hypocholestérolémiant, où certaines souches lactiques, notamment celles appartenant à *Lb. acidophilus* ont la capacité de modifier la conversion de cholestérol au niveau de l'intestin, ainsi que la capacité de l'assimiler en le rendant indisponible pour l'absorption dans le sang, montrant ainsi des effets protecteurs potentiels sur le système cardiovasculaire (Savadogo et Traore, 2011 ; Fernandez et al., 2017).

## *Chapitre II*

### *Pistacia lentiscus*

## II. Généralités sur *Pistacia lentiscus*

### II.1. Définition

Le lentisque, appelé aussi « arbre au mastic », « Pistachier lentisque », « *Pistacia lentiscus L.* » ou localement connu sous le nom « Drou », est un arbuste ramifié à feuilles persistantes qui pousse spontanément dans les climats méditerranéens. Il atteint généralement une hauteur de 3 à 8 mètres et un diamètre de 10 cm, tout en formant ce qui ressemble à des îlots de broussailles (Bampouli et al., 2014 ; Milia et al., 2021). Cet arbrisseau à fruits comestibles est caractérisé par son odeur de résine fortement acre, mais presque toutes ses parties sont utilisables d'une manière ou d'une autre dans le domaine de phytothérapie grâce à leurs propriétés sédatives, antiathérogènes et antioxydantes (Bammou et al., 2015 ; Mehenni et al., 2016).



Figure 3 : Arbuste de *Pistacia lentiscus* (Beldi et al., 2021)

### II.2. Historique

*Pistacia lentiscus* est l'une des plantes les plus ancestrales. Selon des preuves basées sur les fossiles, son existence remonte probablement à 40 millions d'années (Al-Saghir, 2009). La première utilisation de la plante est attribuée à la population Sardaigne avant la colonisation romaine en 238 avant JC. Cette dernière a développée l'huile des baies afin de l'utiliser à des fins sociales : éclairage domestique, cuisine, remède... (Milia et al., 2021).

La plante était utilisée ensuite par plusieurs civilisations, et acquies une longue tradition dans la pharmacopée de l'ancienne Égypte, romains et grecques jusqu'à la description de l'arbuste entier et de ces bienfaits vers le 15<sup>ème</sup> et le 16<sup>ème</sup> siècle (Rodriguez-Pérez et al., 2013).

### II.3. Biogéographie

*Pistacia lentiscus* est l'une des végétations exclusives au climat méditerranéen. Il est largement répandu dans les écosystèmes extrêmes de la Turquie, Maroc, France, Espagne, Italie, Iran et Grèce... etc. (Rodriguez-Pérez et al., 2013 ; Mehenni et al., 2016).

En Algérie, il est dispersé tout au long du littoral et s'étend jusqu'à sa limite méridionale aux environs de Saïda, tout en se développant dans différentes habitats (forêts, maquis, garrigues) suivant le gradient climatique qui dépend du rayonnement solaire, de la T° et de la précipitation (Aissi et al., 2016).

En termes d'étage de végétation, cette plante typiquement thermophile s'encarte en infra-méditerranéen et en thermo-méditerranéen. Sa résistance morphologique et physiologique face au stress hydrique est à l'origine de sa large distribution bioclimatique et de son adaptation aux aléas climatiques (Bammou et al., 2015).

*Pistacia lentiscus* est peu exigeante et pousse à l'état sauvage sur presque tous types de sols : humides, arides, alcalins, sableux, pierreux, et pauvres, et montre une résistance aux sols calcaires et à la repousse après une coupe /incendie (Bampouli et al., 2014).

Il se retrouve généralement dans des peuplements isolés ou associé à d'autres espèces : le genévrier épineux, le pin d'Alep, le térébinthe, le caroubier, l'olivier, etc. (Dahmoune et al., 2014).

### II.4. Classification

*Pistacia lentiscus* fait partie de la famille des Anacardiacees qui regroupe 70 genres, dont *Pistacia* se distingue comme l'un des genres les plus remarquables. Ce genre est constitué d'environ 20 espèces y compris des espèces sauvages et d'autres cultivés (Barra et al., 2007 ; Rauf et al., 2017).

En Algérie, le pistachier (*Pistacia sp*) est représenté par 4 espèces principales : Pistachier térébinthe (*Pistacia terebinthus* L), Pistachier vrai (*Pistacia vera* L) Pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf), et le Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L) (Berrichi et al., 2017).

**Tableau 04** : Classification systématique de *Pistacia lentiscus* (Berrichi et al., 2017 ; Milia et al., 2021)

<b>Domaine</b>	<i>Biota</i>
<b>Règne</b>	<i>Plantae</i>
<b>Embranchement</b>	<i>Spermaphyta</i>
<b>Sous-embranchement</b>	<i>Angiospermae</i>
<b>Classe</b>	<i>Magnoliopsida / Dicotyledonae</i>
<b>Ordre</b>	<i>Sapindales</i>
<b>Famille</b>	<i>Anacardiaceae</i>
<b>Genre</b>	<i>Pistacia</i>
<b>Espèce</b>	<i>Pistacia lentiscus</i>

## II.5. Description botanique

*Pistacia lentiscus* est une xérophyte, sclérophylle à des feuilles persistantes (Mehenni et al., 2016). Cette espèce dioïque développe des fleurs, des fruits, ainsi qu'un exsudat végétal au parfum prononcé issu de l'écorce de l'arbre appelé « le mastic » (Bampouli et al., 2014 ; Amara et al., 2019).

### II.5.1. Feuilles

Tous les arbres de *P. lentiscus* sont principalement composés d'un rachis de feuilles alternes, coriaces, ailées, paripennées et persistantes d'une couleur vert vif, avec 4 à 10 paires de folioles. Cependant, la forme de ces feuilles peut varier d'un arbuste à l'autre : feuilles oblongues, lancéolées ou elliptiques (Aissi et al., 2016 ; Milia et al., 2021).



**Figure 4** : Feuilles de *Pistacia lentiscus* (Djedaia, 2017)

### II.5.2. Fleurs

Les fleurs sont de petite taille, apétales, de couleur rougeâtre et d'un arôme très prononcé, disposées en grappes spiciformes denses (**Amara et al., 2019**).

Elles sont également unisexuées : les fleurs mâles sont généralement composées de 5 petites sépales et 5 étamines, tandis que celles des femelles sont formées de 4 sépales et un ovaire supérieur à style trifide court et la floraison a lieu de Mars à juin – juillet (**Aissi et al., 2016**).



**Figure 5 :** Fleurs de *Pistacia lentiscus*(**Djedaia,2017**)

### II.5.3. Fruits

Les fruits sont des petites baies / drupes charnues, monospermes, apicules, globuleuses de 2 à 3 mm, d'une couleur rouge puis noire brillante au pleine maturité (**Aissi et al., 2016 ; Amara et al., 2019**).38,8% du poids de fruit est occupé par une huile végétale de couleur verte et de nature grasse. Cette huile est généralement extraite afin d'être exploitée dans multiples usages (**Trabelsi et al., 2011**).La fructification est un processus propre aux arbres femelles, et s'étend habituellement de mois d'Octobre à Décembre (**Aissi et al.,2016**).Les grains de fruits sont dispersés par les oiseaux frugivores, tout en contribuant à la propagation de la plante (**Rauf et al., 2017**).



**Figure 6 :** Fruits de *Pistacia lentiscus* (Bammou et al., 2015)

#### II.5.4. Mastic

Le mastic est un exsudat végétal de texture gélatineuse obtenu suite à l'induction de petites coupures sur l'écorce et les branches de l'arbre de *P. lentiscus* (Giaginis & Theocharis, 2011).

Cette résine naturelle très aromatique est extraite sous forme de larmes /gouttes d'eau transparentes ou d'une couleur blanche à jaune pâle, puis, plus qu'elle vieillit plus elle devient plus jaunâtre et opaque (Bampouli et al., 2014 ; Soulaïdopoulos et al., 2022).



**Figure 7 :** Larmes de résine (Abdeldjelil, 2016)

#### II.6. Phytochimie de l'espèce *Pistacia lentiscus*

*Pistacia lentiscus* est connue pour être une source très riche en métabolites secondaires et en molécules bioactives. Plusieurs composants de différents groupes phytochimiques ont été identifiés (Bozorgi et al., 2013). Toutes les parties de *Pistacia lentiscus* partagent pratiquement les mêmes métabolites secondaires. Toutefois, ces parties se diffèrent en termes de quantités et des sous-classes de ces métabolites.

### II.6.1. Fruit

Le fruit de lentisque est principalement caractérisé par sa forte teneur en acides gras saturés et insaturés dont les principaux sont : l'acide oléique (50 -72%), suivie de l'acide palmitique (23,2%) et l'acide linoléique (21,7%). Les autres acides gras sont retrouvés en faibles quantités : L'acide palmitoléique (1.3%), stéarique (1.1%), linoléique (0.8%), gadoléique (0.2%) avec des traces de l'acide arachidique (**Mehenni et al., 2016**).

En termes de composés phénoliques, ces fruits sont riches en polyphénols totaux, tannins totaux et surtout en tannins galliques (acide gallique et son dérivé, le 1, 2, 3, 4, 6-pentagalloylglucose) (**Benhammou et al., 2008., Arab et al., 2014**). Les flavonoïdes de fruit sont présents en teneurs plus faibles et sont principalement présentés par les anthocyanes qui lui confèrent sa couleur, les plus abondants sont : cyanidine 3-O-glucoside (70%), del-phinidine 3-O-glucoside (20%) et cyanidine 3-O-arabinoside (10%) (**Bozorgi et al., 2013, Fang, 2014**).

La composition minérale de ces fruits montre une teneur de sodium (0,46%), calcium (0,37%), phosphore (0,004%) et une teneur plus élevée en potassium (2,67%) (**Chaabani, et al., 2019**).

D'autres composants sont également détectés : terpènes ( $\alpha$ -pinène, limonène, myrcène), terpanoïdes (caroténoïdes), tocophérols, amidon et glucides (**Bozorgi et al., 2013**).

### II.6.2. Feuilles

Les feuilles de *Pistacia lentiscus* sont très riches en métabolites secondaires dont les plus abondants sont les composés phénoliques qui occupent jusqu'à 7,5% de poids sec de la feuille : flavonoïdes, polyphénols (glucuronide de myricétine, 3-O-rutinoside de myricétine et 3-O-rhamnoside de myricétine, 3-O-rhamnoside de quercétine, 3-O-glucoside de del-phinidine, 3-O-glucoside de cyanidine) et acides phénoliques comme l'acide gallique et le 5-O-galloylquinicacide (**Dahmoune et al., 2014 ; Milia et al., 2021**). Ces composés jouent un rôle important dans la croissance et la reproduction des plantes, en attirant les pollinisateurs et en assurant une protection contre les agents pathogènes (activités antimicrobiennes) (**Antonio et al., 2017**).

### II.6.3. Huile essentielle

Les HE de la plante sont obtenus par hydrodistillation à partir de différentes parties de la plante (feuilles, fleurs, fruits, résine.), leur profil varie selon le sexe de l'arbre, la zone géographique et la partie de la plante utilisée. (**Bozorgi et al., 2013 ; Rauf et al., 2017**).

Ces huiles sont principalement constitués par un mix de terpènes et terpénoïdes : monoterpènes ( myrcène , pinène, limonène , terpinène- 4-ol, sabinène...) et sesquiterpènes (caryophyllène ,cadinène ...) (Benhammou et al.,2008 ; Milia et al., 2021).

#### II.6.4. Huile végétale

La matière grasse de lentisque est principalement contenue dans son huile végétale. Cette dernière représente 38,8% du poids du fruit et contient une forte teneur en Omega 3, acides gras saturés et insaturés, ainsi qu'une grande quantité de phosphatidylinositol et de phytostérols ( $\beta$ -sitostérols) (Mehenni et al., 2016 ; Naouar et al., 2016).

#### II.6.5. Résine

La résine (mastic) est une source naturelle de terpènes (  $\alpha$  -pinène ,  $\beta$  -pinène,  $\beta$  -myrcène, limonène et  $\beta$  -caryophyllène ), composés phénoliques , phytostérols , protéines , arabino-galactanes et des polymères naturels , ainsi que d'autres ingrédients volatils et aromatiques . (Koutsoudaki et al.,2005 ; Soulaïdopoulos et al., 2022).

### II.7.Effets biologiques des composants bioactives de *Pistacia lentiscus*

La riche composition phytochimique de *Pistacia lentiscus* lui permet d'exercer un large éventail d'effets biologiques positifs, les plus importants sont les suivants :

#### II.7.1. Activité antimicrobienne

L'activité antibactérienne de *Pistacia lentiscus* est principalement due aux extraits aqueux et éthanoliques / méthanoliques des feuilles et de la résine (Debbabi et al., 2017). Plusieurs composants de l'huile de la plante contribuent effectivement à cette activité, et la sensibilité envers ces composés varie pour les différentes bactéries (Koutsoudaki et al., 2005). Les composés actifs sont principalement les polyphénols, les acides phénoliques, les flavanols et les anthocyanes, ainsi que les terpanoïdes qui sont capables d'inhiber les souches résistantes qui sont difficiles à traiter même avec certains antibiotiques (Debbabi et al., 2017).

Les extraits éthanoliques et l'HE des feuilles sont souvent actifs vis-à-vis des mycobactéries, *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus gordonii*, *Fusobacterium nucleatum*, *Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis* et *Helicobacter pylori*..., tandis que l'huile des baies est active contre *Staphylococcus aureus* et *Aspergillus niger* (Orrù et al., 2017).

L'huile de résine a un spectre d'activité contre plusieurs bactéries est champignons, et la gomme de mastic est surtout active contre l'infection à *Helicobacter pylori* (Orrù et al., 2017).

### II.7.2. Activité antioxydante

Les feuilles et les fruits de *Pistacia lentiscus* sont riches en substances antioxydantes (Arab et al., 2014). Ces substances sont principalement des acides phénoliques, des polyphénols, des flavonoïdes et des anthocyanes. L'activité antioxydante est plus élevée dans les extraits des feuilles que dans ceux des fruits et cela est due au contenu phénolique de chacun (Elez Garofulic et al., 2020).

Les extraits éthanoliques et les flavonoïdes des feuilles ont une puissante capacité antioxydante et sont capables de piéger le DPPH (1-1diphényl-2-picrylhydrazyl), un radical libre qui a une capacité d'accepter l'hydrogène pour les antioxydantes et qui souvent utilisé pour la détermination de l'activité antioxydante des plantes médicinales (Debbabi et al., 2017 ; Singh et al., 2021). Les polyphénols par leurs propriétés redox peuvent être utilisés comme agents réducteurs, donneurs d'hydrogène, chélateurs de métaux et extincteurs d'oxygène (Elez Garofulic et al., 2020).

Outre les anthocyanes et les polyphénols, le fruit peut exercer son rôle antioxydant à travers l'acide gallique qui joue un rôle protecteur contre la peroxydation lipidique et qui induit l'expression des gènes antioxydants et des gènes de réparation de l'ADN (Rodriguez-Pérez et al., 2013).

### II.7.3. Activité anti-inflammatoire

Les composants responsables de l'activité anti-inflammatoire de *Pistacia lentiscus* sont principalement des terpènes et des composés phénoliques. Les terpènes des HE de la plante ont la capacité d'inhiber plusieurs molécules inflammatoires (IL-1, IL-6, TNF et COX-2) et ainsi perturber l'action inflammatoire. Les polyphénols interviennent dans la cascade inflammatoire envers les macrophages en inhibant les régulateurs clés de la réponse inflammatoire. Les flavonoïdes participent à leur tour en intervenant dans la régulation de la signalisation inflammatoire tout en modulant l'expression des cytokines et des chimiokines pro-inflammatoires (Milia et al., 2021).

Outre ces activités, les composants de *Pistacia lentiscus* sont capables d'exercer plein d'autres effets positifs : effet hépatoprotecteur, anticancéreux, antiulcéreux et antimutagène (Rauf et al., 2017).

## II.8. Utilisations de *Pistacia lentiscus*

*Pistacia lentiscus* est une plante utilisée depuis longtemps dans l'alimentation humaine, l'industrie pharmaceutique et la médecine traditionnelle (Aziba et al., 2019).

### II.8.1. Domaine alimentaire

Grâce à sa valeur nutritionnelle élevée, *Pistacia lentiscus* peut être impliquée par différentes façons dans les régimes alimentaires de l'homme et de l'animal.

Ses fruits peuvent être consommés directement, crus ou encore grillés (Mehenni et al., 2016), mais le plus souvent, ces derniers, ainsi que d'autres parties de la plante, sont utilisés pour l'extraction des HE et végétales. Les HE obtenues à partir des parties aériennes de *P. lentiscus* sont largement utilisées comme agents aromatisants dans les boissons alcoolisées, les gommes à mâcher, dans les biscuits, crème glacée, les bonbons au mastic, la farine, le beurre, le thé... (Piccolella et al., 2016).

Outre que le pouvoir aromatique, les parties de *P. lentiscus* sont également utilisées comme agents stabilisants dans les fromages, la pizza (la gomme de mastic), et surtout comme colorants alimentaires naturels (anthocyanes des fruits) (Mehenni et al., 2016 ; Şimşek et al., 2019)

### II.8.2. Domaine thérapeutique

*Pistacia lentiscus* est exploitée dans de nombreuses applications, cependant, les plus importants semblent d'être celles reliée au domaine thérapeutique / pharmaceutique. Ses utilisations varient selon la région géographique (cultures) et des parties de la plante utilisées. Les usages thérapeutiques / ethno médicaux de *Pistacia lentiscus* sont exprimés dans le **tableau 05** :

**Tableau 05** : Usages ethno médicaux de *Pistacia lentiscus*

Région	Partie utilisée	Utilisations	Références
Algérie	Feuilles et fruit	Apéritif et astringent, Maux d'estomac, dyspepsie, ulcère de l'estomac, diarrhées et rhumatisme	Milia et al., 2021 ; Bozorgi et al., 2013
Tunisie et Turquie	Feuilles et fruit	Antipyrétique,eczéma,paralysie, antimicrobien, hypertension, maladies cardiaques, diurétique, infection de la gorge,	
Iran	Résine	Traitement de troubles digestifs, hépatiques, cérébraux, rénaux, cicatrisation des plaies,	
Maroc	Feuilles, fruit, résine	Soulagement des douleurs abdominales, maux d'estomac, ulcères gastroduodénaux,	Bammou et al., 2015

<i>Suite de tableau05</i>			
<b>Région</b>	<b>Partie utilisée</b>	<b>Utilisations</b>	<b>Références</b>
<b>Italie</b>	Feuilles	Rhumatismes, antiseptique, cicatrisant, émoullit, douleurs abdominales, asthme...	<b>Bozorgi et al., 2013</b>  <b>Milia et al., 2021</b>
<b>Jordan</b>	Feuilles, résine	Brûlures d'estomac, maux de ventre, jaunisse, etc.	
<b>Portugal</b>	Graines, tiges, racines	Antirhumatismale, antiseptique buccal, hypertension, etc.	
<b>Grèce</b>	Résine, parties aériennes	Troubles gastro-intestinaux : dyspepsie, ulcère peptique, maux estomac, maladies dentaires, etc	<b>Terpou et al., 2017</b>
<b>Espagne</b>	Bourgeons tendres, feuilles, fruit	Soulagement d'inconfort abdominal supérieur, dyspepsie, ulcère peptique, l'hypertension, maladies cardiaques, dentaires, etc.	<b>Bozorgi et al., 2013</b>

*Chapitre III*  
*Méthodologie*

Ce travail a été réalisé dans le laboratoire pédagogique des sciences de la nature et de la vie à l'université Mohammed Seddik Benyahia, Jijel.

Le but de cette partie expérimentale est d'optimiser la fabrication d'un yaourt ferme d'une bonne qualité en valorisant une partie de la plante « *Pistacia lentiscus* », afin de trouver une bonne formule en utilisant un logiciel d'optimisation pour interpréter l'analyse sensorielle des yaourts fabriqués.

### III.1. Matériel

Le matériel utilisé dans ce travail est regroupé dans (**Annexe 1**).

### III.2. Mode opératoire

#### III.2.1. Préparation d'un yaourt ferme avec du « *Pistacia lentiscus* »

##### III.2.1.1. Ingrédients

Les ingrédients ou matières premières utilisés pour la fabrication du yaourt sont les suivants :

- **La poudre de lentisque**

La poudre utilisée est principalement un extrait sec des fruits mûrs de *Pistacia lentiscus* après l'extraction des ses huiles. Le bût d'utilisation de cette partie de la plante est de valoriser un sous produit qui est connu par sa richesse naturel en composants aromatiques, colorants naturels, qui lui confère des propriétés thérapeutiques (**Rauf et al., 2016**). Aussi il peut également apporter des qualités organoleptiques et nutritionnelles aux yaourts produits et des bénéfiques à la santé des consommateurs (**Fazilah et al., 2018**).

Après le processus d'extraction de l'huile, le reste de la peau / écorce des fruits est récupéré, puis séché à l'air libre pendant quelques jours. Une étape de broyage (par broyeur électrique), et un tamisage fin sont faits pour l'obtention d'une poudre fine.



**Figure 8** : la poudre de lentisque (photo originale)

Pour la fabrication du yaourt, la poudre de « *Pistacia lentiscus* » est utilisée après une macération. Le but de cette opération est de maximiser l'extraction de ses composants hydrosolubles comme les composés phénoliques : polyphénols, flavonoïdes, quelques anthocyanes, etc. (Mahmoudi et al., 2013).

La macération de la poudre de lentisque a été réalisée comme suite : Les différentes quantités de la poudre à utiliser pour la fabrication des yaourts sont versées dans des flacons contenant de l'eau minérale (300 ml). Les mélanges sont ensuite bien agités et laissés à température ambiante pendant 3 jours, sous agitation continue et à l'abri de la lumière.

#### - Poudre du lait

La poudre utilisée dans ce travail est celle du lait entier enrichi de la marque, LOYA. La composition de cette poudre du lait est montrée dans le (tableau 6) :

**Tableau 06 :** Composition nutritionnelle de lait en poudre « LOYA »

#### (Étiquette nutritionnelle)

Informations nutritionnelles	g /100g
Matières grasses	28g
Acides gras saturés	18,8g
Glucides	39g
Protéines	24g
Autres vitamines et minéraux	

#### - Le sucre

Essentiellement utilisé pour la mise en valeur des saveurs et des arômes, et l'amélioration des caractères organoleptiques (Weerathilake et al., 2014). Le sucre utilisé dans ce travail est un sucre de table de la marque « SKOR ».

#### - L'eau

L'eau de fabrication utilisée pour la macération de la poudre de « *Pistacia lentiscus* » et la réhydratation du lait en poudre est une eau minérale de la marque « Bougelaz ».

### III.2.1.2. Caractérisation microbiologique des matières premières

L'analyse microbiologique des matières premières est une étape essentielle à réaliser avant de commencer la fabrication d'un produit alimentaire. Elle permet de déterminer leurs salubrités avant qu'elles soient intégrées dans la formulation d'un produit destiné aux consommateurs.

Les tests microbiologiques du lait en poudre étaient réalisés suivant les méthodes officielles indiquées dans le **JORA (2004)**, tout en respectant les règles hygiéniques et microbiologiques du laboratoire afin d'éviter toute sorte de contamination

- **Préparation des déluions décimales**

10 grammes de la poudre du lait, de la poudre de lentisque et des yaourts préparés sont pesés séparément, dans des conditions d'asepsie, à l'aide d'une balance de précision et sont ajoutés dans des flacons contenant 90 ml d'eau physiologique stérile, les mélanges sont ensuite agités afin d'obtenir une solution mère homogène. Des dilutions décimales sont effectuées en transférant une prise d'essai de 1ml de la suspension mère dans un tube contenant 9 ml de l'eau physiologique pour obtenir une dilution de  $10^{-1}$ , puis une série de tubes est complétée par la même méthode jusqu'aux dilutions requises pour chaque matrice.

- **Recherche et dénombrement des germes**

**La flore totale aérobie mésophile (FTAM)**

La FTAM représente l'ensemble des germes contenus dans un échantillon. Ils peuvent croître en présence de l'oxygène à des T° de 20-37°C, et sont un bon indicateur de la qualité générale et de la stabilité du produit (**Kounouz et al., 2021**). Le dénombrement de cette flore est effectué sur la gélose PCA, après un ensemencement en masse, une homogénéisation et une incubation à 37°C pendant 48 heures. Le dénombrement des colonies de couleur jaune blanchâtre au fond et en surface des boîtes est effectué manuellement ou par un compteur de colonies (toutes les colonies développées sont dénombrées).

**Les coliformes totaux et fécaux**

La colimétrie permet la recherche et le dénombrement des coliformes. Ces derniers révèlent le plus souvent la présence d'une contamination d'origine fécale. Les coliformes totaux sont des entérobactéries qui incluent des espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux, mais aussi dans l'environnement en général. Ce groupe bactérien qui inclut : *Nitrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia* ... est utilisé comme indicateur de la qualité microbienne des aliments qui peuvent contenir notamment des bactéries d'origine fécale, comme *Escherichia coli* (*E. coli*)(**CEAEQ, 2015a**).

Les coliformes totaux sont dénombrés sur la gélose VRBL en double couche pour assurer l'anaérobiose puis incubés à 37°C pendant 24-48h. Les coliformes thermotolérants ou coliformes fécaux, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. Dans 80 à 90 % des cas il s'agit de la bactérie *E. coli*(**Barthe et al.,**

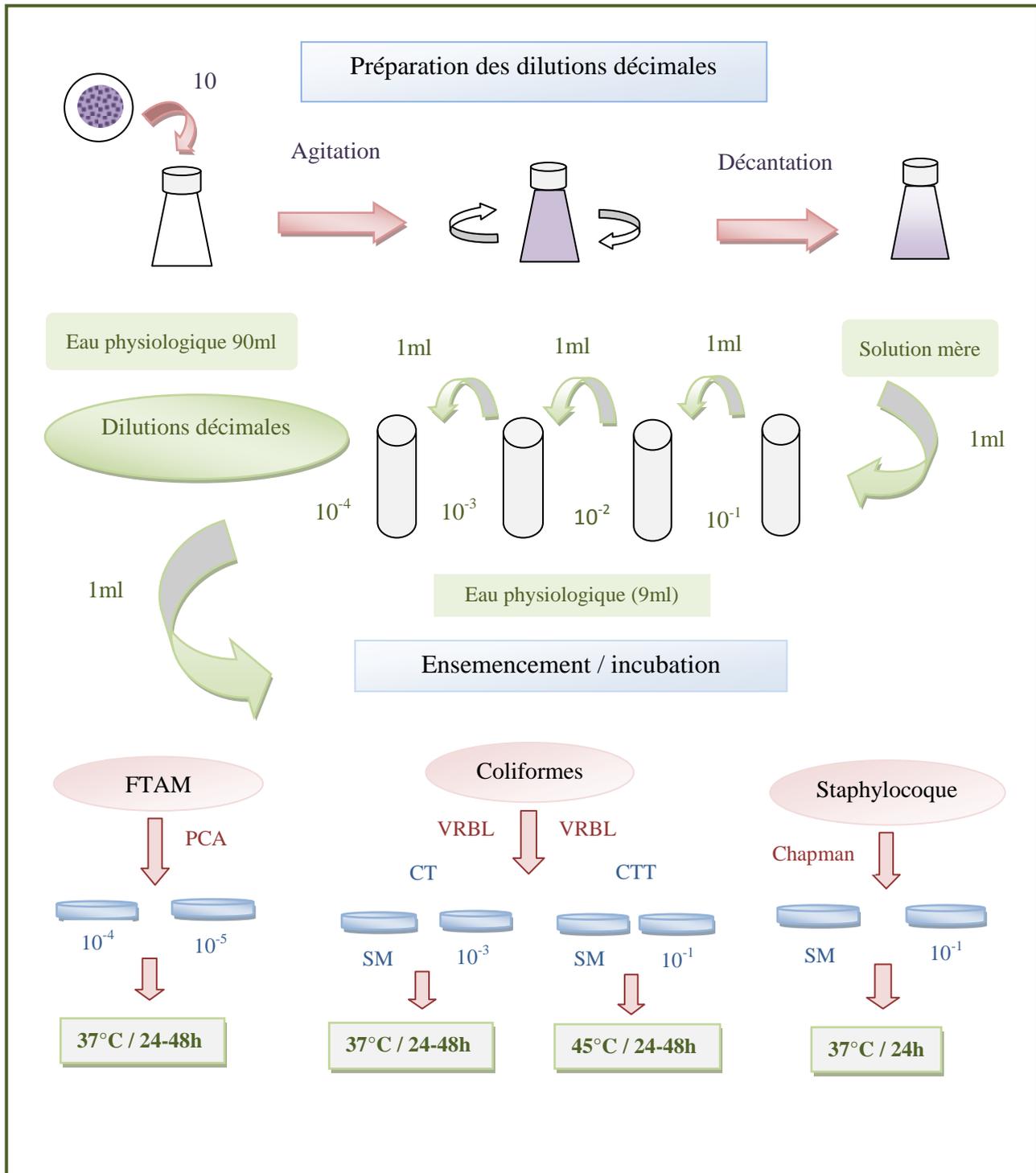
1998).Elles sont dénombrées sur la gélose VRBL en double couche pour assurer l'anaérobiose puis incubés à 45°C pendant 24-48h. Seules les colonies de couleur rouge violacée sont dénombrées.

### *Staphylococcus aureus*

Les staphylocoques sont des bactéries à Gram positive, asporulés, catalase (+), dont certaines espèces, notamment *Staphylococcus aureus*, ont un pouvoir pathogène et peuvent causer plusieurs infections (Maali et al.,2016). La présence de cette espèce dans le yaourt ou dans n'importe produit alimentaire est effectivement un indicateur de sa mauvaise qualité hygiénique et de son invalidité à la consommation.Le dénombrement des staphylocoques s'est effectué sur la gélose Chapman, puis après incubation à 37°C pendant 24-48h. Les staphylocoques apparaissent en colonies pigmentées en jaune-doré

Le protocole de contrôle microbiologique est illustré dans la (figure 9) :





**Figure 9 : Protocole de contrôle microbiologique**

**Les salmonelles**

Ce paramètre concerne uniquement le yaourt pour répondre aux exigences du Journal Officiel de la Réglementation Algérienne.

Les salmonelles sont des Enterobacteriaceae pathogènes, Gram négatifs, anaérobies facultatifs, non sporulés et mobiles pour la majorité, ubiquitaires et qui peuvent être à l'origine d'un large éventail de maladies chez l'homme et l'animal (Ryan et al., 2017). Leur présence dans le yaourt peut être causée par une contamination importante du lait, un traitement thermique inadéquat, ou d'un manque d'hygiène lors de la préparation / conditionnement, et dans tous les cas ça présente un indicateur de l'invalidité de produit (Szczawiński et al., 2014).

La recherche des salmonelles est effectuée en deux étapes principales : un enrichissement réalisé par le prélèvement d'1ml de la solution mère de chaque pot de yaourt et l'ensemencement dans des tubes contenant le bouillon SFB, puis ils sont incubés à 37°C durant 20 – 24h.

Une deuxième étape d'isolement est effectuée ensuite par l'étalement de 0,1ml de chaque tube sur une gélose Hektoen, suivi d'une incubation à 37°C pendant 24 heures.

#### **III.2.1.3. Plan de mélange**

Un plan de mélange d'un produit alimentaire est une série d'essais déterminée à partir d'une approche statistique. Ce type de plans fait partie des outils de la qualité alimentaire, et qui est obtenu à l'aide des techniques de programmation mathématiques effectuées par plusieurs logiciels informatiques.

L'objectif de l'emploi d'un plan de mélange est également la détermination du meilleur ensemble de données (ingrédients) d'un produit fabriqué, tout en utilisant différentes concentrations d'un même ingrédient, ou encore de plusieurs ingrédients à la fois, en visant l'optimisation nutritionnelle et / ou sensorielle du produit (Kashaninejad et al., 2019).

Afin de trouver la bonne formulation pour préparer un yaourt ferme à base de lentisque, le logiciel « SAS. JMP7 » a été utilisée pour la mise en place d'un plan de mélange optimisé en termes de concentrations de la poudre de lentisque, la poudre de lait et de sucre.

#### **III.2.1.4. Étapes de fabrication**

La préparation est réalisée en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt ferme standard :

##### **- Préparation des mélanges**

Après trois jours de macération, le macérât aqueux de la poudre « *Pistacia lentiscus* » obtenu est récupéré afin de réhydrater la poudre du lait pour la préparation du lait du yaourt.

À l'aide d'une balance électrique, les quantités du lait en poudre et celles de sucre sont pesés et ajoutés, au macérât correspondant, dans des béciers stériles. Les quantités utilisées sont indiquées dans le (tableau 07) :

**Tableau 07 : Mélanges en valeurs codées (%)**

	Poudre de lait (%)	Sucre (%)	Poudre de lentisque (%)
1	0,62	0,19	0,19
2	0,62	0,24	0,14
3	0,465	0,39	0,145
4	0,62	0,215	0,165
5	0,46	0,39	0,15
6	0,46	0,36	0,18
7	0,47	0,39	0,14
8	0,46	0,33	0,21
9	0,53	0,26	0,21
10	0,61	0,19	0,2
11	0,545	0,315	0,14
12	0,60	0,19	0,21

- **Homogénéisation**

Les mélanges du lait sont bien agités à l'aide d'une spatule stérile jusqu'à ce que la poudre de lait et le sucre soient complètement dissous.

- **Remplissage**

Les préparations sont ensuite versées dans des pots en verre stériles et étiquetés

- **Traitement thermique**

Les pots sont transmis dans un bain-marie préalablement réglé à 80°C et sont maintenus durant 30 minutes pour la pasteurisation.

Après la pasteurisation, la température est rapidement abaissée à 42°C, température d'ensemencement par le ferment lactique contenant *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

Les pots de yaourt sont couverts avec du papier aluminium et sont incubés à 42°C durant 4 heures.

### - Refroidissement et stockage

Après maturation des yaourts, les pots sont récupérés, laissés refroidir, puis stockés à 4 °C.



**Figure 10 :** Yaourts fabriqués (photo originale)

## III.2.2. Contrôle de la qualité du yaourt fabriqué

### III.2.2.1. Contrôle microbiologique

Le contrôle microbiologique du yaourt a été effectué sur chacun des 12 yaourts fabriqués en suivant le plan de mélange du tableau 7 avec les mêmes méthodes d'analyse microbiologique indiquées dans **JORA (2004)**.

### III.2.2.2. Contrôle physico-chimique

L'analyse physicochimique des yaourts fabriqués est principalement basée sur la détermination du pH et l'acidité titrable ; car chacun a son propre impact sur la qualité des produits. Toutefois, les deux affectent, d'une façon primordiale, les qualités sensorielles de produit. Ces tests sont également essentiels pour garantir la conformité de produit aux normes réglementaires et la conformité de sa qualité marchande.

#### - Détermination du pH

Le pH indique le degré d'acidité ou d'alcalinité du produit en termes de quantité d'ions  $H^+$  présents.

La mesure du pH s'est effectuée directement en prolongeant l'électrode du pH-mètre dans la masse du yaourt, après l'étalonnage avec deux solutions tampons standards (à pH = 7 et pH = 4). La lecture du pH est effectuée après la stabilisation des valeurs du compteur du pH sur l'écran de l'appareil.



Figure 11 : Protocole de la mesure du pH de yaourt (photo originale)

#### - Mesure de l'acidité titrable

Les mesures de l'acidité titrable se réfèrent à la concentration totale d'acides contenues dans le yaourt et provenant de la dégradation microbienne du lactose. À 10 g du yaourt bien homogénéisés, 4 gouttes de la phénolphaléine sont ajoutées comme indicateur coloré, puis sont titrés avec une solution de NaOH (N /9) jusqu'au virage de la couleur au rose claire persistante. Le volume indiqué sur la burette à la fin de la titration est enregistré, l'acidité est ensuite calculée par la formule ci-dessous et les résultats sont exprimés en degré Dornic (°D) (JORA, 2015) :

$$\text{Acidité (°D)} = V \cdot 10$$

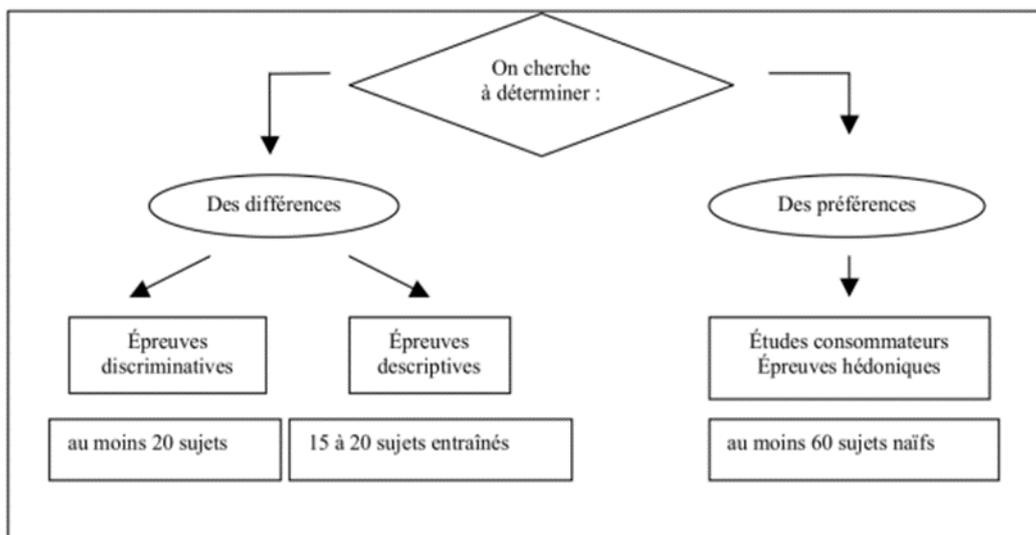
V : Volume de la solution de NaOH indiqué sur la burette



Figure 12 : Mesure de l'acidité titrable (photos originales)

### III.2.3. Evaluation sensorielle

L'évaluation ou l'analyse sensorielle d'un produit alimentaire est un processus qui fait appel généralement à tous les sens d'un être humain (instrument de mesure) : l'olfaction, le toucher, le gustatif et la vue, dans le but d'évaluer les caractéristiques organoleptiques de ce produit, ou même de mesurer le plaisir / satisfaction qu'il procure aux consommateurs. Cette discipline est constituée sur l'appréciation des individus à travers la mise en jeu d'un nombre de paramètres précis avec objectivité (Lefebvre & Bassereau, 2003).



**Figure 13 :** Vue d'ensemble des différentes épreuves de la métrologie sensorielle en fonction de l'objectif (Lefebvre & Bassereau, 2003).

#### III.2.3.1. Objectif de l'analyse

L'objectif de cette séance de dégustation est d'amener les dégustateurs à goûter chacun des 12 échantillons du yaourt fabriqués avec les mêmes mais avec différentes concentrations, et d'essayer ensuite de discriminer quelques différences organoleptiques préalablement précisées selon une échelle préparée pour déterminer l'échantillon préféré, avoir la combinaison optimale des ingrédients pour un bon yaourt et un modèle mathématique qui prédit l'acceptation de yaourt en fonction des concentrations des intrants après analyse des données par le logiciel *JMP*.

**III.2.3.2. Les sujets**

Les tests organoleptiques ont été réalisés à l'aide d'une trentaine de personnes (étudiants et étudiantes de Master 2 de différentes spécialités) dont l'âge varie entre 23 à 26 ans.

**III.2.3.3. Formulation de questionnaire**

Cette évaluation sensorielle est faite après élaboration d'un questionnaire (**Annexe 5**) contenant un ensemble d'attributs sensoriels qui caractérisent le yaourt afin de contrôler le déroulement du processus gustatif. Une fiche de dégustation de yaourt a été préparée en suivant les paramètres ci-après :

- **Intensité de la couleur (couleur violette)** : très claire, claire, moyenne
- **Intensité d'odeur / Arôme de lentisque**: faible, moyenne, forte
- **Le goût** : sucré, normale, acide, poudré, fermenté
- **La texture** : légère, normale, épaisse

Ces paramètres ont été organisés dans des tableaux pour faciliter la prise de note des résultats.

**III.2.3.4. Les conditions générales de la dégustation**

La séance de dégustation avait lieu au niveau du laboratoire, après avoir réalisé les tests microbiologiques et physico-chimiques et vérifié la qualité hygiénique du produit.

Avant de commencer l'opération dégustation, d'autres conditions de base avaient été également vérifiés :

- La salle ou le laboratoire est vide et bien nettoyée.
- La fourniture du matériel nécessaire pour l'opération (cuillères propres pour chaque personne, des papiers mouchoir, de l'eau potable, des gobelets, un questionnaire ainsi que des feuilles et des stylos pour l'enregistrement des résultats).
- L'organisation de déroulement de la dégustation dans un ordre précis, répartition des tâches entre les membres de trinôme, préparer les échantillons pour les dégustateurs, création d'une atmosphère saine et confortable pour le déroulement de l'opération, en terme d'espace, lumière et la liberté d'exprimer une opinion.
- À la fin de la séance, la salle est nettoyée et remise à son état.

En ce qui concerne les dégustateurs eux mêmes, ces derniers doivent remplir les conditions suivantes :

- Démontrer une réelle motivation pour cette analyse (disponibilité, engagement et assiduité).

- Ne pas présenter de répulsion pour les produits à tester ou avoir des allergies aux ingrédients utilisés.
- Ne pas présenter de déficience sensorielle.
- Être en mesure de comprendre le principe du processus et de respecter les consignes données.
- Être capables d'exprimer clairement leur impression et leur remarque et de les mémoriser.

#### **III.2.3.5. Déroulement de la séance de dégustation**

La séance de dégustation a été réalisée dans une même journée, durant la période d'après-midi, tout en prenant soin de s'assurer que nos dégustateurs n'ont pas pris de repas immédiatement avant, afin qu'ils puissent compléter la dégustation de tous les échantillons.

Chaque personne devait goûter chaque échantillon alternativement, discriminer la différence entre eux puis répondre aux questions posées, puis choisir sa /ses préférences. Tout en veillant au rinçage de la bouche avec de l'eau pour empêcher le mélange des saveurs et faciliter la distinction entre chaque échantillon. Les résultats ont été enregistrés sur place pour qu'ils puissent être traités plus tard.

#### **III.2.3.6. Analyse statistique**

Les résultats obtenus ont été enregistrés et analysés par le logiciel *SAS. JMP7*.

*Chapitre IV*  
*Résultats*  
*Et discussion*

## IV.1. Résultats d'analyses microbiologiques des matières premières

### IV.1.1. Poudre du lait

Les résultats obtenus à la fin de la durée d'incubation sont montrés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 08** : Résultats de l'analyse microbiologique du lait en poudre

Germes	Dénombrement	Normes du JORA (1998)
<b>FTAM</b>	1,944. 10 <sup>5</sup> UFC/g	3.10 <sup>5</sup>
<b>Coliformes totaux</b>	Abs	<10
<b>Coliformes fécaux</b>	Abs	<1
<b>Staphylocoques</b>	Abs	<100

Les résultats obtenus ont montré la présence de la flore totale aérobie mésophile dans la poudre du lait, cette présence est exprimée par l'apparition de colonies blanchâtres de différentes tailles réparties sur tout le fond de la boîte de Pétri. Toutes les colonies présentes sont prises en considération au moment de dénombrement.

La présence des FTAM dans la poudre du lait remonte probablement à la nature de sa composition. Bien que le lait en poudre est déshydraté, une faible teneur en eau est susceptible d'être présente, cette teneur est estimée généralement par 4% jusqu'à 5% dans le lait en poudre entier (**Kelly, 2006**). La présence de l'eau ainsi que les autres nutriments du lait (protéines, glucides, lipides, vitamines ...) créent un milieu favorable au développement microbien surtout si certaines conditions d'hygiène de fabrication et de conditionnement ne sont pas respectées.

Le nombre des FTAM trouvé dans nos résultats semble être supérieur à ceux obtenus par **Taleb (2017)** et **Benayache & Mati (2018)**, mais il ne dépasse pas celui de la norme indiquée dans le **JORA, (1998)** limitée par 3.10<sup>5</sup> UFC / g.

Le tableau montre qu'il y a une absence de coliformes et des staphylocoques, ce qui affirme l'absence de contamination par les microorganismes d'altération et pathogènes. Ces résultats indiquent que les bonnes pratiques de fabrication et d'hygiène sont respectées, et que le lait

commercialisé à une bonne qualité microbiologique. Ces résultats sont similaires à ceux de **Taleb (2017)**, et encore meilleurs que ceux de **Benayache & Mati (2018)** qui ont détectés la présence des coliformes.

#### **IV.1.2. Poudre de lentisque**

Les résultats des tests microbiologiques de la poudre de lentisque ont montré une absence totale de toutes les flores bactériennes ciblées à savoir la flore aérobie mésophile les staphylocoques, les coliformes totaux et fécaux.

L'absence des microflore dans la poudre de lentisque peut être expliquée par l'absence de l'eau libre dans la poudre car elle est préalablement séchée, ce qui crée un milieu défavorable pour la présence des microorganismes. La technologie de séchage traditionnel des fruits et d'autres denrées alimentaires est une méthode très ancienne qui consiste à déshydrater des aliments par l'action des rayonnements solaires et/ou des mouvements convectifs de l'air ambiant dans le but d'éliminer et/ou d'empêcher la prolifération microbienne et de les conserver plus long (**Radojcin et al., 2021**).

Les travaux sur le séchage de lentisque sont limités, mais nos résultats peuvent être confirmés par d'autres résultats de travaux réalisés sur l'effet du séchage sur la qualité microbiologique de quelques fruits : évaluation de la qualité microbiologique des raisins et des figes déshydratés effectuée par **Guehame et al., (2016)**, le travail de **Kamfouche & Mekris (2019)** avec les grains de *Lupinus albus*, ainsi que celui de **Gandaho et al., (2017)** avec les grains de Sorgo séchés. Les résultats des travaux ci-dessus ont été presque similaires aux nôtres, toute en affirmant l'absence des flores microbiennes ciblées dans ces fruits après avoir passé par l'étape de déshydrations.

L'absence de certain microorganisme peut être aussi expliquée par l'activité antimicrobienne des composés phénoliques de lentisque exprimée dans la partie bibliographique. Au niveau de fruit, ces composants sont surtout actifs contre *Staphylococcus aureus* et *Aspergillus niger* (**Orrù et al., 2017 ; Fazilah et al., 2018**).

#### **IV.2. Résultats d'analyses microbiologiques des yaourts fabriqués**

Un yaourt de bonne qualité doit satisfaire à certaines normes hygiéniques donc microbiologiques. Celles-ci ne peuvent être obtenues que par l'application des bonnes pratiques d'hygiène et les bonnes méthodes de fabrication tout au long de processus de transformation (**Loumani, 2011**).

Les résultats obtenus ont montré la présence des germes totaux aérobies mésophiles dans tous les échantillons, avec une différence de nombre de colonies entre chaque échantillon, bien qu'ils montrent une absence des coliformes, des staphylocoques et des salmonelles (**tableau 09**) :

**Tableau 09:**Résultats de dénombrement des germes de yaourt fabriqué

Échantillons	Germes			
	FTAM	Coliformes	Staphylocoques	Salmonelles
1	$9. 10^7$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
2	$8. 10^6$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
3	-	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
4	$3,82 10^7$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
5	$3,5. 10^7$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
6	$3. 10^6$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
7	$8. 10^6$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
8	$1,12 10^7$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
9	$8. 10^5$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
10	$1,910^6$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
11	-	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs
12	$3. 10^6$	$\leq 1$	$\leq 1$	Abs

Les résultats obtenus semblent être satisfaisants en général et conformes aux normes microbiologiques algériennes indiquées dans le **JORA (1998)**. L'absence des flores de contamination (coliformes, staphylocoques et salmonelles) peut être due à plusieurs facteurs :

L'hygiène des matières premières utilisées (confirmée précédemment), le respect des bonnes pratiques hygiéniques au cours de la fabrication, le respect des règles microbiologiques lors de la réalisation des tests microbiologiques, l'efficacité du traitement thermique appliqué, ou encore l'activité antimicrobienne de l'ajouté *vis-à-vis* de certaines bactéries notamment les staphylocoques (**Orrù et al., 2017**).

Selon (**Maiwore et al., 2018**) l'acidité produite par les bactéries lactiques dans les différents produits peut aussi rendre le milieu antagonique à la croissance des flores pathogènes surtout les salmonelles.

En ce qui concerne la flore aérobie mésophile, les valeurs obtenues ont été un peu élevées par rapport aux normes, et cela est probablement dû à une durée d'incubation poussée pour avoir

l'acidité souhaité de certains yaourts, ce qui a permis une prolifération hors limites mais en général, les 12 yaourts produits semblent être de qualité satisfaisante.

**IV.3.Résultats d'analyses physico-chimiques du yaourt fabriqué**

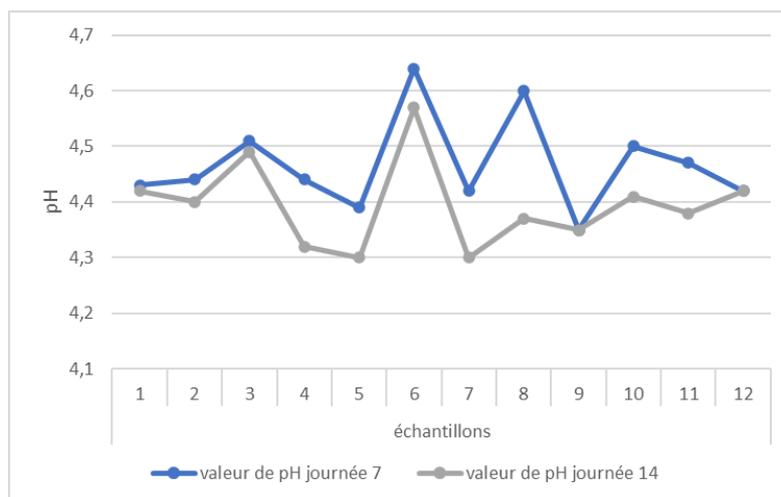
**IV.3.1 Mesure du pH**

À l'aide d'un pH-mètre, Le pH du yaourt a été mesuré deux fois afin de suivre son évolution, la première a eu lieu le 7<sup>ème</sup> jour après la fabrication, et la deuxième au 14<sup>ème</sup> jour. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau 10 :** Valeurs du pH du yaourt fabriqué mesurées au cours du stockage

Échantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
pH au 7 <sup>ème</sup> jour	4,43	4,44	4,51	4,44	4,39	4,64	4,42	4,6	4,35	4,5	4,47	4,42
pH au 14 <sup>ème</sup> jour	4,42	4,40	4,49	4,32	4,30	4,57	4,30	4,37	4,35	4,41	4,38	4,42

Dans ce tableau, des différences en termes de valeurs de pH peuvent être clairement observées entre les échantillons de yaourt. Cependant, ces valeurs évoluent dans une fourchette comprise entre 4,3 et 4,6. De plus, ces résultats montrent une diminution modérée au niveau des valeurs de pH entre le 7<sup>ème</sup> et le 14<sup>ème</sup> jour de conservation, cette diminution est mieux illustrée dans la figure ci-dessous :



**Figure 14 :** Évolutions du pH de yaourt fabriqué au cours de stockage

## IV.3.2. Mesure de l'acidité titrable

L'acidité titrable a été mesurée 7 jours après la fabrication du yaourt, et les résultats obtenus en °D sont exprimés dans le tableau 11, qui suit :

**Tableau 11** : Résultats de la mesure de l'acidité titrable du yaourt fabriqué

Échantillons	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Acidité titrable (°D)	70	86	88	76	79	90	82	98	98	82	92	99

En comparant les résultats de pH et de l'acidité titrable obtenus au 7ème jour avec les normes de limites par le JORA, (1998), on peut constater qu'ils sont plutôt satisfaisants et que nos yaourts sont d'une bonne qualité physico-chimique :  $4 < \text{pH} < 4,6$  et  $70 < \text{°D} < 99$ .

La diminution de pH observée au cours du stockage est due à la croissance continue des bactéries lactiques du yaourt, et la production continue de l'acide lactique, ce qui engendre l'abaissement du pH de milieu. Cependant, cette diminution s'évolue légèrement tout en restant dans les normes réglementaires du pH même au 14ème jour après la fabrication, ce qui prouve le respect des conditions et de température de stockage approprié. En effet, le stockage au froid empêche la prolifération des bactéries de yaourt, mais sans totalement arrêter leurs activités métaboliques (**Kaur et al., 2017**).

La différence dans les valeurs de pH et de l'acidité entre les échantillons est probablement due aux différences des concentrations de la poudre du lait ajoutée. Une quantité élevée de la matière sèche fournit plus de glucides à dégrader par les bactéries lactiques du yaourt, et augmente ainsi la quantité de l'acide lactique et d'autres acides produits, cela diminue le pH du milieu.

La différence de valeurs de pH et de l'acidité entre les échantillons est probablement reliée aussi à la concentration de lentisque ajoutée, les résultats montrent que les échantillons avec les quantités les plus grandes en poudre de lentisque (échantillons de 6 à 12) ont des acidités élevés. Cela est due à la richesse de fruit de lentisque en amidon, en glucides, et en minéraux (**Arab et al., 2014**), et qui joue donc un rôle d'un « prébiotique » tout en fournissant plus de nutriments nécessaires aux souches du ferment lactique (**Fernandez & Marette, 2017**), et

augmentant ainsi le taux de leur activité ainsi que la production en acide. Des résultats similaires ont été obtenus par **Codina et al., (2016)**.

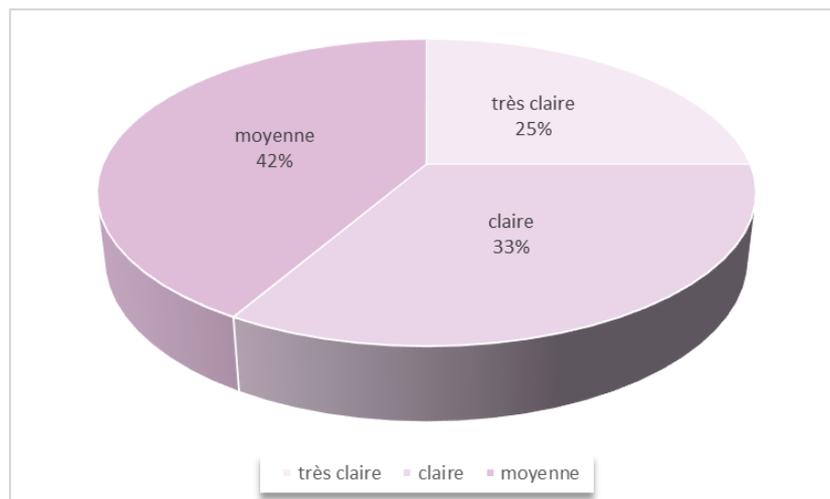
#### IV.4. Résultats d'analyse sensorielle

Les résultats de l'analyse sensorielle des yaourts fabriqués selon les combinaisons générées par le logiciel JMP 7 (**tableau 07**) sont détaillés dans les paragraphes qui suivent.

##### IV.4.1. Couleur

Le yaourt fabriqué a principalement acquis une couleur violette dans différentes nuances. L'observation visuelle des 12 échantillons de yaourt a permis de distinguer 3 principaux niveaux de couleur :

- Un violet très clair (rose violet) : échantillons 1, 2 et 3.
- Un violet clair : échantillons 4, 5, 6 et 7.
- Un violet moyen : échantillons 8, 9, 10, 11 et 12.



**Figure 15** : Couleurs des échantillons de yaourt

La couleur violette du yaourt est due aux pigments naturels retrouvés dans la poudre de *Pistacia lentiscus* Appelées « anthocyanes » et notamment le « Cyanidine-3-O-glucoside » (**Patras et al., 2010 ; Mehenni et al., 2016**). Ces métabolites secondaires sont principalement localisés dans la peau de fruit et sont capables d'induire des couleurs rouges, bleues, violettes ou pourpres (**Desjardins et al., 2012**).

Selon **Vandi et al., (2016)**, ces hétérosides sont solubles dans l'eau, ce qui explique en premier lieu le changement de couleur de l'eau macéré avec la poudre de lentisque en couleur

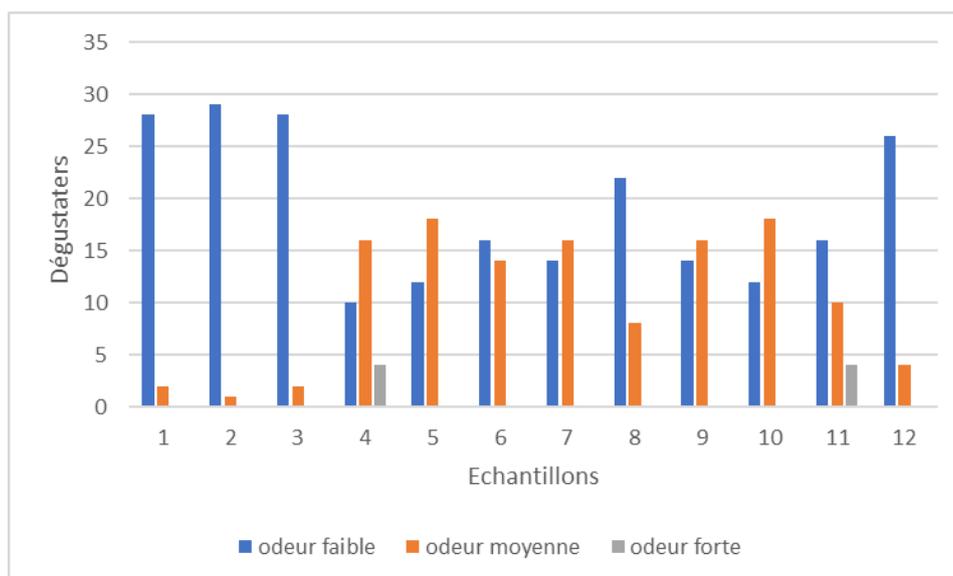
violette. Ce changement est donc causé par le transfert des molécules des anthocyanes, de particules de la poudre vers l'eau utilisée puis dans le mélange de yaourt.

La présence de différentes nuances de couleurs peut être expliquée par la concentration de lentisque, et ainsi des anthocyanes, dans chaque échantillon de yaourt : l'intensité de couleur augmente proportionnellement avec l'augmentation de la concentration de lentisque / anthocyanes.

Dans le même contexte de couleur, **Patras et al., (2010)** affirment que les anthocyanes ont un impact sur un paramètre clé de la qualité visuelle d'un produit, tout en influençant l'acceptation sensorielle des consommateurs, ce qui a été exactement le cas avec nos résultats, où il a été constaté que les échantillons 8, 9, 10, 11 et 12 qui avaient une couleur plus prononcée étaient les plus attrayantes et les plus préférés par les dégustateurs en termes d'apparence.

#### IV.4.2. Odeur

Selon l'évaluation sensorielle, des différences remarquables au niveau d'odeur de *P. lentiscus* émise par chaque échantillon ont été enregistrées. Les résultats illustrés dans la figure ci-dessous montrent que l'intensité d'odeur est très faible dans chacun des échantillons 1, 2, 3, et 12, tandis qu'elle est plus au moins modérée au niveau des autres échantillons, l'intensité la plus prononcée a été enregistrée au niveau des échantillons 5 et 10.



**Figure16:** Intensité de l'odeur de lentisque dans les échantillons de yaourt

L'odeur caractéristique des fruits de *Pistacia lentiscus* est due aux molécules des terpènes et terpanoïdes, notamment les mono et les sesquiterpènes, rentrant dans leur composition (**Milia et al., 2021**). Les différences de l'intensité de l'odeur entre les différents échantillons sont expliquées par leur teneur en ces molécules volatils, qui à leur tour sont liées à la quantité de la poudre ajoutée dans chaque pot de yaourt. D'après la (**figure19**), la relation proportionnelle entre l'augmentation de la concentration de lentisque et l'augmentation de l'intensité de l'odeur peut être clairement constatée.

Les échantillons 8, 11 et 12 par exception, contiennent des fortes concentrations en poudre de lentisque, cependant, l'intensité d'odeur enregistrée dans ces derniers a été très faible, parfois quasi existante (échantillon 12), cela remonte probablement à leur forte acidité qui affecte négativement les composées phénoliques en induisant la transformation des terpènes en composants moins aromatiques. Cet effet d'acidité a été déterminé, par **Marais (1983)** sur les terpènes des grappes.

#### **IV.4.3. Texture**

Concernant la texture en bouche des différents échantillons du yaourt, la majorité a montré une texture ferme, onctueuse et bien homogène, cela est expliqué par les bonnes méthodes de fabrication :

- L'homogénéité des ingrédients
- La répartition équivalente du ferment dans les mélanges
- Le respect de la durée et de la température de traitement thermique

Selon **Weerathilakeet al., (2014)**, le respect des paramètres cités en haut assure l'efficacité du processus et prévient l'apparition de défauts de qualité.

Les 3 échantillons 1,4 et 5 ont montré une texture plus légère moins préférable par les dégustateurs, avec un taux plus élevé de synérèse, cela est lié à leur faible teneur en poudre de lait en comparaison aux autres échantillons.

Un taux faible de la matière sèche diminue la fermeté de gel et augmente le degré de la synérèse par contre, une quantité élevée de la poudre du lait fournit une quantité plus élevée en glucides qui sont ensuite dégradés par les souches lactiques du yaourt et utilisées pour la biosynthèse des EPSs. Ces molécules aux propriétés texturantes, ont pour rôle d'améliorer les qualités mécaniques de yaourt, d'augmenter sa viscosité et de réduire le taux de synérèse (**Han et al., 2016 ; Xu et al., 2019**). Cette explication est confirmée par **Kaur et al., (2017)** et affirme que la texture de yaourt est affectée par son contenu en matière sèche.

Aussi, la concentration de la poudre de lentisque est un élément essentiel à prendre en considération lorsque on cherche une bonne texture de yaourt, celle-ci fournit une bonne quantité de glucides et de minéraux, tout en contribuant à favoriser l'activité des bactéries lactiques du yaourt, et ainsi la production des EPSs (Arab et al., 2014 ; Montemurro et al., 2021).

IV.4.4. Goût

- Douceur

Les résultats de la dégustation ont montré des différences dans la douceur et acceptabilité par les dégustateurs selon la quantité de sucre contenue dans chaque échantillon (figure 17).

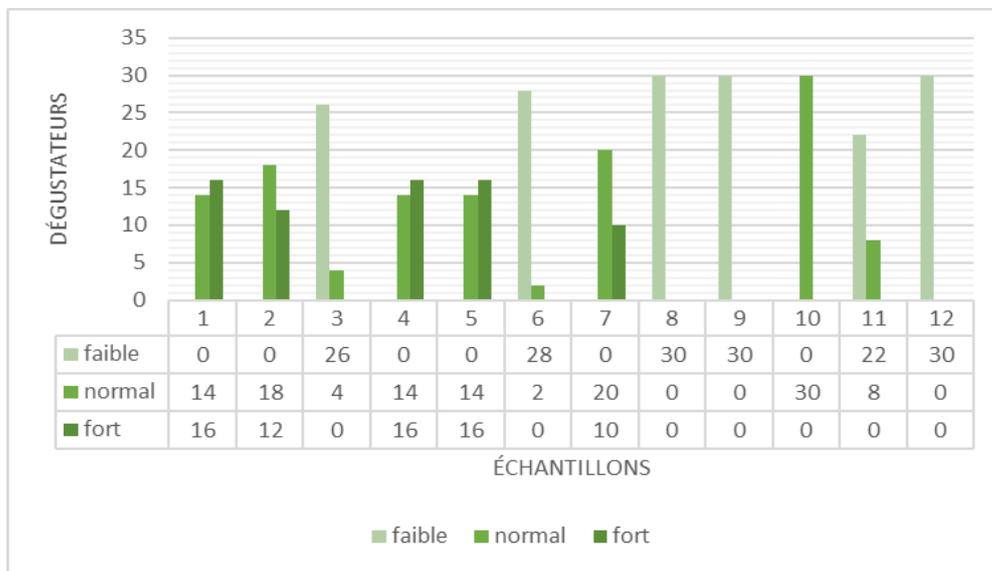


Figure17 : Evaluation de la douceur dans les échantillons de yaourt

Les différences des taux de la douceur entre les yaourts remontent aux quantités de sucre ajouté dans chaque échantillon, allant de 5 à 10 % de même volume du yaourt. Le tableau ci-après résume l'appréciation des dégustateurs en termes de quantité de sucre ajoutée pour un pot de yaourt

Tableau 12 : Préférences en termes de la douceur

Échantillons	Évaluation
3-6-8-9-11-12	Insuffisante
2-7-10	Satisfaisante
1-4-5	Trop élevée

Ces résultats peuvent être confirmés par L'étude de (Hoppert et al., 2012), qui a démontré que la représentation intrinsèque d'un même composant dans un produit alimentaire, notamment celle de sucre dans les yaourts, révèle un impact différent sur les choix de ce produit par les consommateurs. Toutefois, ces derniers sont attirés par la douceur du produit, mais tout en préférant aussi d'éviter des taux trop élevés de sucre.

- **Goût acide**

Des différences en termes d'intensité de l'acidité de chaque échantillon de yaourt ont été aussi constatées par les dégustateurs, et les résultats sont présentées dans la (figure 18).

L'intensité du gout acide est relative au taux de l'acidité mesurée dans chaque échantillon (tableau 11, relatif à l'acidité titrable).

La majorité des échantillons ont été acceptables, ce qui affirme la conformité des valeurs de pH et de l'acidité mesurés aux normes réglementaires. 4 échantillons ont des gout acide intense, cela concerne les échantillons 6, 8, 9 et 12 dont l'acidité mesurée est supérieure à 90°D , et qui semblaient être moins préférés par les dégustateurs.

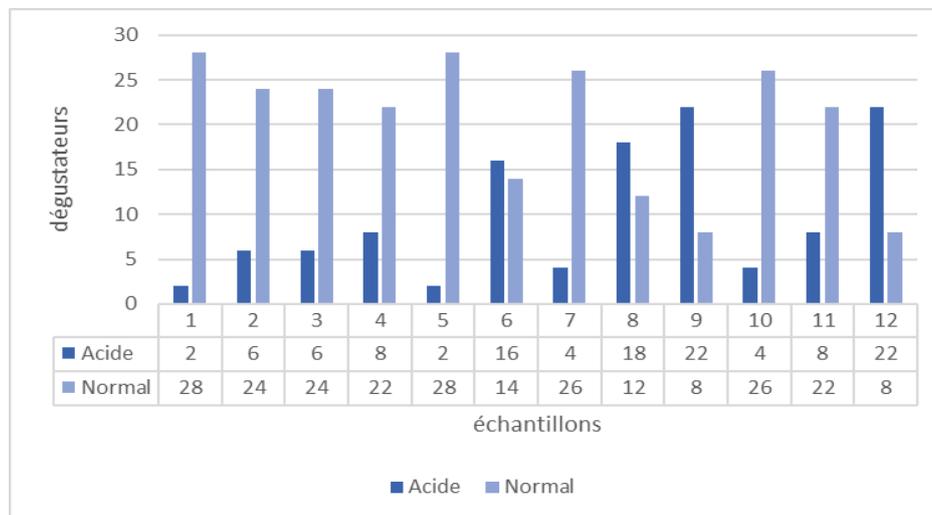


Figure 18 : Intensité de l'acidité des différents échantillons de yaourt

- **Goût fermenté**

Parmi les paramètres sensoriels recherchés figure aussi, l'intensité du gout fermenté. Ce paramètre est également similaire à celui de l'acidité, sauf que ce dernier apparait plus au niveau de l'odeur du yaourt. Ce paramètre peut parfois être indésirable pour certains

consommateurs, s'il est intensément présent, au point d'occulter les propriétés sensorielles du yaourt. Les résultats référant a ce paramètre sont illustrés dans la (figure 19) ci- après :

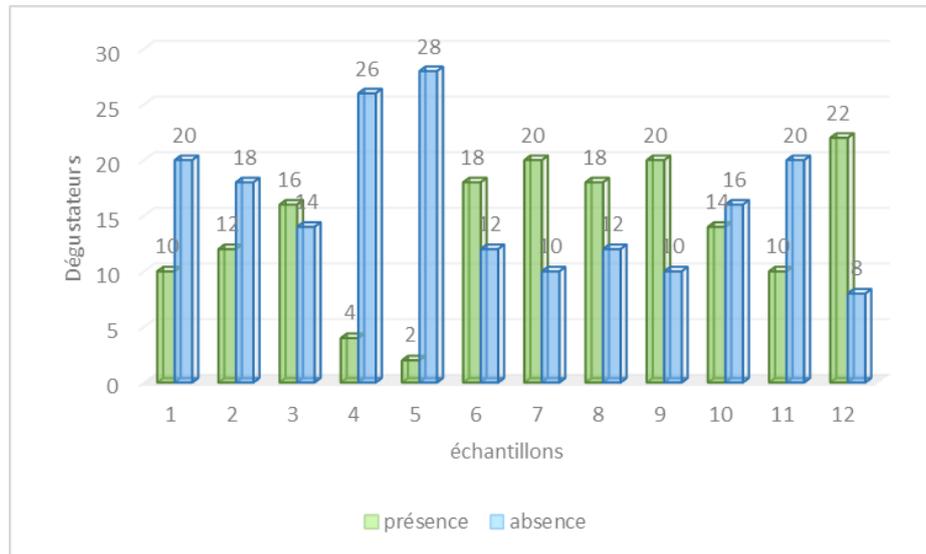


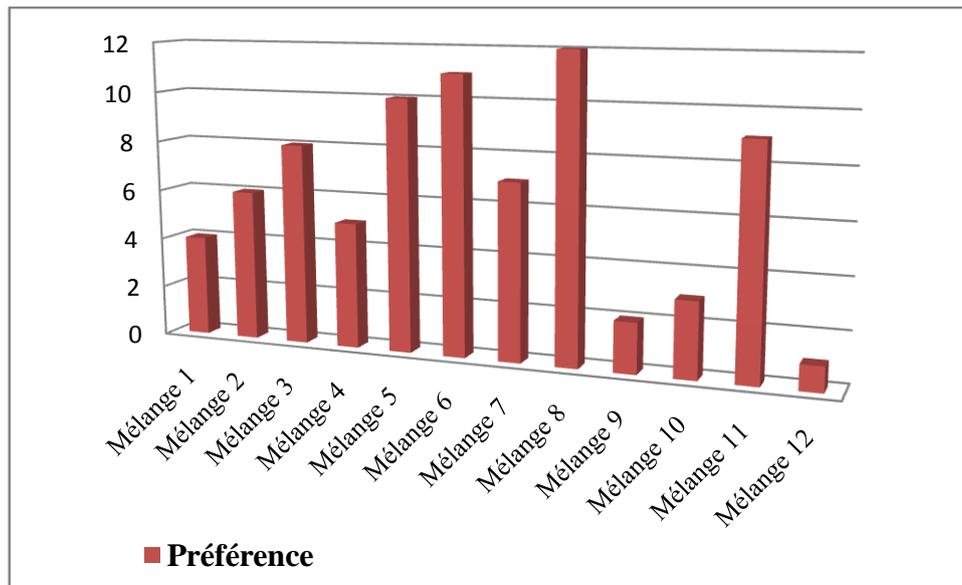
Figure 19: Intensité du gout fermenté de yaourt

D'après la figure, et en relation avec les résultats d'acidité, il est clairement constaté qu'une corrélation positive existe entre l'intensité de l'acidité et l'apparition du gout / odeur fermenté car ce paramètre se distingue le plus dans les échantillons 3, 6, 8, 9, et 12 dont l'acidité est élevée, et diminue plus au moins dans les autres échantillons.

#### IV.4.5. Préférences

À la fin de l'évaluation sensorielle des produit, les résultats obtenus sont analysés puis regroupés en catégories afin de distinguer les échantillons les plus appréciés et ainsi déterminer les / la formule ou le mélange le plus approprié. Le choix final est pris en tenant compte de l'ensemble des quantités de tous les ingrédients utilisés sans exception, et leur degré de compatibilité.

La (figure 20) montre les résultats de l'acceptabilité globale des 12 yaourts fabriqués selon les concentrations des d'ingrédients utilisés



**Figure 20 :**Préférences des yaourts selon le mélange d'ingrédients

L'interprétation des résultats sensorielles, et la prise en compte des choix des sujets ont aboutis à choisir les échantillons 8, 6 suivi de 5 comme les plus préférés, suivant un package cohérent de caractéristiques sensorielles : une couleur attrayante, un arôme prononcé, une douceur modérée et une faible intensité du gout acide et fermenté

#### IV.4.6. Durée de vie du yaourt « Shelf-life »

Le yaourt a été observé plusieurs fois après l'analyse sensorielle, et il a été noté que le produit a bien conservé ses propriétés sensorielles même après 2 semaines de conservation. Cela est lié aux bonnes conditions de conservation, ainsi qu'aux propriétés antioxydantes de la poudre de lentisque qui ont empêché l'oxydation des différentes molécules de produit et qui ont ainsi maintenu une certaine stabilité de sa qualité (Rauf et al., 2017 ; Fazilah et al., 2018). Des changements de la qualité du produit ne sont intervenus qu'après les 20 jours, représentés principalement par une forte augmentation de l'acidité et de la fermeté de produit, ainsi que l'apparition des levures et moisissures.

#### IV.4.7.Résultats du plan de mélange

Les résultats obtenus par l'analyse sensorielle des yaourts fabriqués sont insérés dans le logiciel « JMP » afin d'obtenir une confirmation mathématique des résultats, et de déterminer la formule ou le model optimale de point de vue mathématique.

## - Validation du modèle mathématique

La validation du modèle mathématique est effectuée en termes d'acceptabilité générale de chaque échantillon, en comparant les réponses réelles issues de l'analyse sensorielle, aux réponses prédites par le logiciel. Les résultats de Y prédite calculées par le « JMP » sont exprimés dans le tableau ci-après :

**Tableau 13** : Résultats des acceptabilités prédites calculés par JMP

	X 1- Poudre de lait	X 2- Sucre	X3- Poudre de lentisque	Acceptabilité	Formule d'acceptabilité prédite
1	0,62	0,19	0,19	4	3,5907905
2	0,62	0,24	0,14	6	6,5067948
3	0,465	0,39	0,145	8	8,1665683
4	0,62	0,215	0,165	5	4,7371082
5	0,46	0,39	0,15	10	8,9897226
6	0,46	0,36	0,18	11	12,169142
7	0,47	0,39	0,14	7	7,4393150
8	0,46	0,33	0,21	12	11,357598
9	0,53	0,26	0,21	2	2,0742167
10	0,61	0,19	0,2	3	2,7567061
11	0,545	0,315	0,14	9	8,5847857
12	0,6	0,19	0,21	1	1,6272512

À partir de tableau, on peut constater que les réponses Y prédites par le modèle sont presque similaires aux réponses expérimentales, ce qui confirme que nos résultats de l'analyse sensorielle sont bons.

$$Y \text{ pré } (8,16) \approx Y \text{ exp } (8)$$

## - Construction du Modèle mathématique

Dans le but de construire une équation mathématique du modèle, les effets du mélange (Tableau 14) sont analysés

Tableau 14 : Effets du modèle mathématique

Facteurs	Les effets de plan mélange	P-value
X 1	1,69	0,21
X 2	71,67	0,0002*
X 3	3,74	0,08
X1 * X2	2,20	0,16
X 1 * X 3	2,77	0,12
X2 * X3	7,79	0,027*
X1* X2* X3	17,22	0,006*

À partir du tableau on observe que les p-values pour les effets sont inférieurs à 0,05 pour X1, X2-X3 et X2-X2-X3 ce qui reflète la signification des effets, ainsi le modèle mathématique peut être formulé selon l'équation suivante

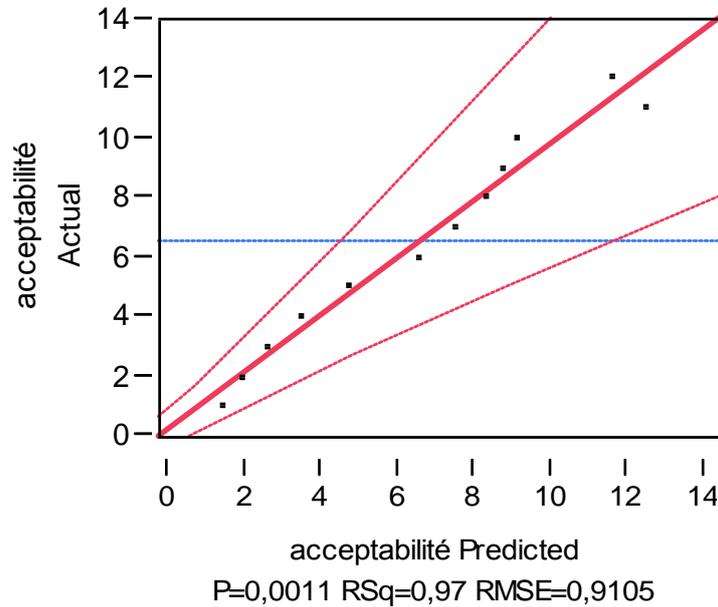
$$Y = 1,69 X_1 + 71,67 X_2 + 3,74 X_3 + 2,20 X_1 * X_2 + 7,79 X_2 * X_3 + 2,77 X_1 * X_3 + 17,22 X_1 * X_2 * X_3$$

Avec :X1, X2, X3 : Les facteurs de plan mélange.

A partir du tableau des effets du mélange et en supprimant les effets non significatif l'équation du modèle deviendra comme suite

$$Y = 71,67 X_2 + 7,79 X_2 * X_3 + 17,22 X_1 * X_2 * X_3$$

La Figure suivante représente le diagramme « Actual by Predicted Plot » où les points noirs indiquent les résultats expérimentaux :



**Figure 21:** Diagramme «Actual by Predicted Plot» des résultats expérimentaux du plan de mélange pour l’acceptabilité.

La valeur de p-value de modèle ( $p= 0,0011 < 0,05$ ), qui reflète la très bonne qualité du modèle. D’autres paramètres également permettent d’évaluer la qualité de notre modèle, sont :

$R^2$  ( $RSq$ ) = 0,97 est proche à 1 ;

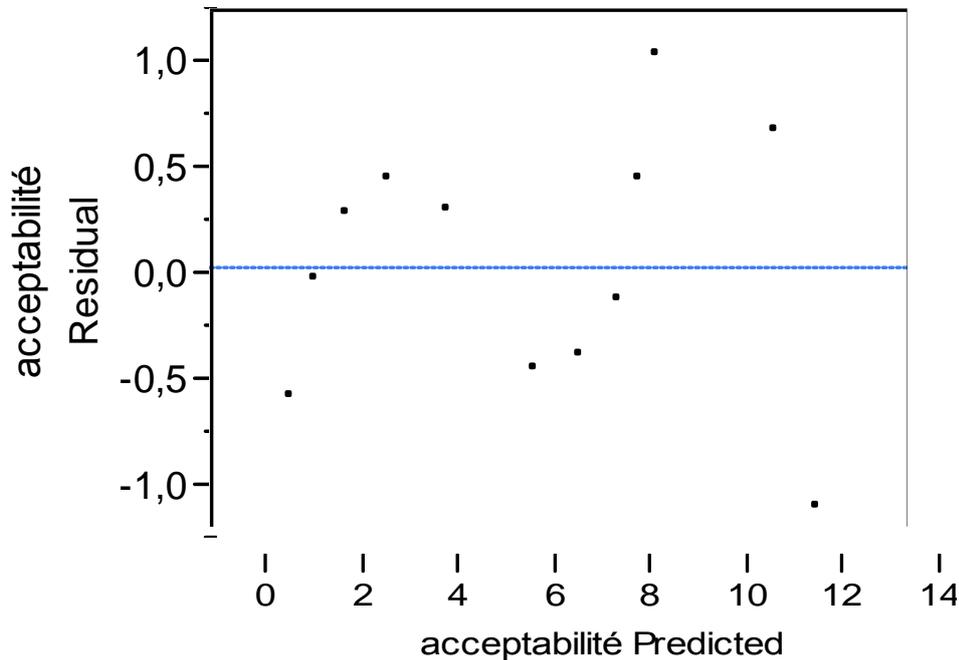
$RMSE = 0,9105$  est faible. Ce paramètre représente la racine carrée des écarts de la probabilité d’avoir un modèle erroné. L’analyse de la variance d’avoir montre que cette hypothèse est rejetée

Analysis of Variance				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	6	138,85507	23,1425	27,9167
Error	5	4,14493	0,8290	Prob > F
C. Total	11	143,00000		0,0011*

**Figure22:** Analyse de la variance des erreurs du modèle

Sur la base de ces trois paramètres, on peut conclure que le modèle mathématique du plan de mélange est significatif.

Pour confirmer en plus nos résultats, Le diagramme des résidus présenté dans la (**Figure 23**) a été analysé :



**Figure 23** : Diagramme d'analyse des résidus (Residual by Predicted Plot).

Nos résultats sont confirmés par le diagramme d'analyse des résidus (Residual by Predicted Plot). L'analyse du graphe correspondant, révèle l'absence des dispositions remarquables avec une répartition anarchique des points expérimentaux. De ce fait, on conclut qu'il n'existe pas autres informations à déduire de l'analyse.

Donc, le modèle mathématique qui permet de relier les facteurs significatifs à la réponse est sous forme d'une équation du premier ordre :

$$Y = 71,67 X_2 + 7,79 X_2 * X_3 + 17,22 X_1 * X_2 * X_3$$

On observant la prédiction du modèle (**figure 24**) on constate que le meilleur mélange qui va donner une acceptabilité optimale est le mélange composé de 0,46 poudre de lait, 0,35 sucre et 0,188 poudre de lentisque. Ce modèle mathématique est similaire à l'échantillon 8 déterminé par les résultats de l'analyse sensorielle (0,46g poudre de lait, 0,36g de sucre et 0,18g poudre de lentisque).

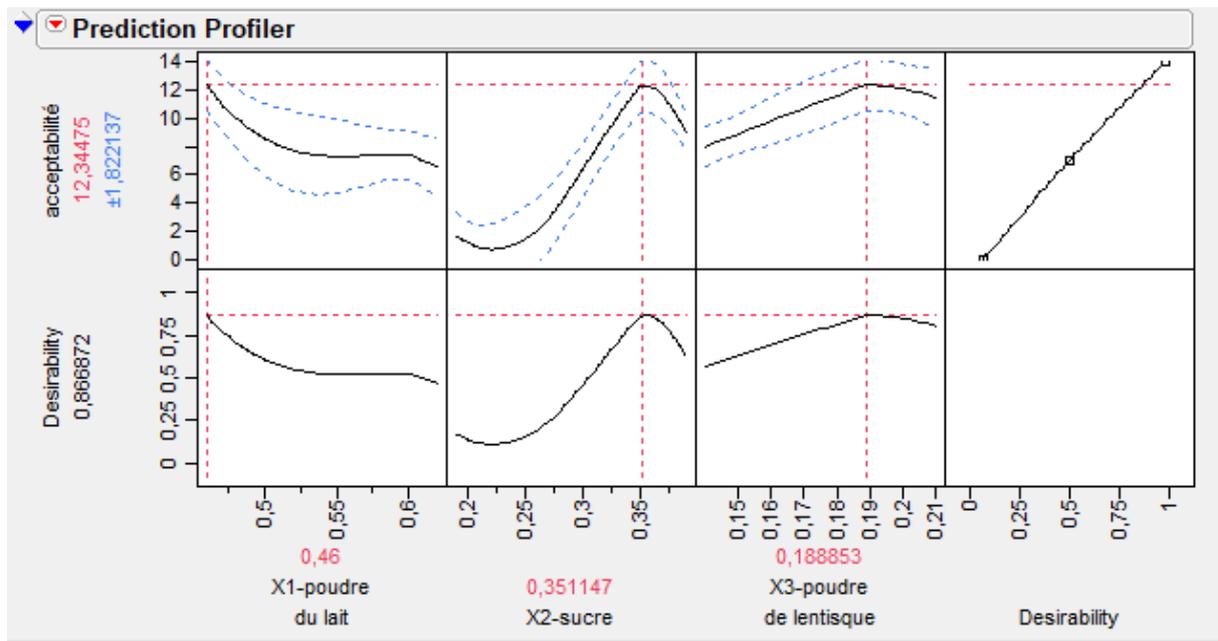


Figure 24 : Prédiction du mélange optimum par le modèle

# *Conclusion*

Le yaourt est un aliment qui peut être amélioré à plusieurs niveaux en utilisant de nombreuses matières de diverse nature (microorganismes, végétaux.), dans ce travail, différents volets de la fabrication du yaourt ont été touchés, la microbiologie, la physicochimie, la technologie et l'aspect informatique par l'utilisation des plans de mélange pour l'optimisation d'une formule optimale du yaourt et construire un modèle mathématique prédictif.

Au terme de ce travail, 12 yaourts ont été fabriqués en variant les quantités de la poudre du lait, le sucre et la poudre des tourteaux d'une plante aromatique « *Pistacia lentiscus* » en suivant le plan de mélange généré par le logiciel *SAS.JMP 7*.

Les résultats obtenus des analyses microbiologiques des matières premières et des yaourts fabriqués ont été satisfaisants et ont montré une absence totale des germes pathogènes et d'altération tout de même la flore totale aérobie mésophile a été présente mais ne dépasse pas les valeurs du journal officiel de la réglementation algérienne.

Les valeurs de pH de l'acidité titrable sont conformes aux normes réglementaires et même après 14 jours de conservation.

La poudre de lentisque a un effet positif sur la prolongation de la durée de vie des yaourts fabriqués, plus de 14 jours, via son activité antioxydante et ses composés phénoliques qui ont joué un rôle de conservateurs naturels en exerçant une activité antimicrobienne vis-à-vis des germes pathogènes et d'altération.

En termes d'analyse sensorielle, l'échantillon 8 fabriqué ayant les valeurs codées 0.46 de la poudre de lait, 0.18 de poudre de lentisque et 0.36 de sucre a été déterminé comme le choix préféré de la plupart des dégustateurs et confirme la formulation optimale prédite par *JMP* qui est un peu proche avec les valeurs suivantes 0,18 poudre de lentisque, 0,46 poudre du lait et 0,33 du sucre.

Un modèle mathématique est construit en analysant les effets significatifs des facteurs aux réponses et il est sous forme d'une équation du premier ordre :

$$Y = 71,67 X_2 + 7,79 X_2 * X_3 + 17,22 X_1 * X_2 * X_3$$

Le modèle construit est de bonne qualité car il prédit les résultats expérimentaux du plan de mélange. La p-value de modèle ( $p = 0,0011 < 0,05$ ),  $R^2$  ( $R_{sq}$ ) = 0,97 et le RMSE = 0,9105. Ce dernier est faible et non significatif.



# *Références bibliographiques*



**A**

**Abdeldjelil, M. C. (2016).** Effets cicatrisants de produits à base d'huile de lentisque (*Pistacia lentiscus L.*) sur les brûlures expérimentales chez le rat. Thèse de doctorat Université des Frères Mentouri Constantine 1 Institut des Sciences vétérinaires.1-210.

**Aissi, O., Boussaid, M., &Messaoud, C. (2016).** Essential oil composition in natural populations of *Pistacia lentiscus L.* from Tunisia: Effect of ecological factors and incidence on antioxidant and anti-acetylcholinesterase activities. *Industrial Crops and Products*. 91, 56-65.

**Al-Saghir, M. G. (2009).** Evolutionary history of the genus *Pistacia* (Anacardiaceae). *International Journal of Botany*. 5(3), 255-257.

**Amara, N., Benrima, A., Anba, Ch., Belkhir, H. (2019).** Activité antimicrobienne de l'huile essentielle des fruits de Pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus L.*).*Revue Agrobiologia*. 9(2), 1669-1676.

**Antonio, F. Z., Marcelo, C., Priscila, j.C., Luciana, I.M., Alessandro, N. (2017).**Distribution of phenolic compounds and antioxidant capacity in apples tissues during ripening. *Food Scientific Technologie. Journale of Food Science Technologie*.54, 1511–1518

**Arab, K., Bouchenak, O., Yahiaoui, K. (2014).** Phytochemical study and evaluation of the antimicrobial and antioxidant activity of essential oils and phenolic compounds of *Pistacia lentiscus L.* *Journal of Fundamental and Applied Sciences*.6(1), 77-91.

**Arioli, S., Della Scala, G., Remagni, M. C., Stuknyte, M., Colombo, S., Guglielmetti, S., Mora, D. (2017).**Streptococcus thermophilus urease activity boosts *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* homolactic fermentation. *International journal of food microbiology*. 247, 55-64.

**Ayar, A., Gurlin, E. (2014).** Production and sensory, textural, physicochemical properties of flavored spreadable yogurt. *Life Science Journal*. 11(4), 58-65.

**Aziba, L., Debbache, B.N., DaCosta, G., Atmani, K.D., Saidenea, N., Ayounia, K., Richard, T., Atmania, D. (2019).***Pistacia lentiscus* leaves extract and its major phenolic compounds reverse aluminium-induced neurotoxicity in mice. *IndustrialCropsProducts*.137, 576–584

**B**

**Bammou, M., Daoudi, A., Slimani, I., Najem, M., Bouiamrine, E. H., Ibijbijen, J., Nassiri, L. (2015).** Valorisation du lentisque « *Pistacia lentiscus L.* » : Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. Journal of applied biosciences. 86, 7966-7975.

**Bampouli, A., Kyriakopoulou, K., Papaefstathiou, G., Louli, V., Krokida, M., Magoulas, K. (2014).** Comparison of different extraction methods of *Pistacia lentiscus var. chia* leaves: Yield, antioxidant activity and essential oil chemical composition. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 1(3), 81-91.

**Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S., Cabras, P., & Angioni, A. (2007).** Characterization of the volatile constituents in the essential oil of *Pistacia lentiscus L.* from different origins and its antifungal and antioxidant activity. Journal of agricultural and food chemistry. 55(17), 7093-7098.

**Béal, C., Helinck, S. (2019).** Fabrication des yaourts et des laits fermentés. 1-44

**Beldi, M., Merzougui, H., & Lazli, A. (2021).** Etude ethnobotanique du Pistachier lentisque *Pistacia lentiscus L.* dans la wilaya d'El Tarf (Nord-est algérien). Ethnobotany Research and Applications. 21(09), 1-17.

**BENAYACHE, S., MATI, W., BOUDJERDA, D. E. (2018).** Qualité microbiologique et physico-chimique du lait en poudre commercialisé localement (Doctoral dissertation, Université de Jijel).

**Ben Khedir, S. B., Bardaa, S., Chabchoub, N., Moalla, D., Sahnoun, Z., & Rebai, T. (2017).** The healing effect of *Pistacia lentiscus* fruit oil on laser burn. Pharmaceutical biology. 55(1), 1407-1414.

**Benhammou, N., Fawzia, A. B., & Tatjana, K. P. (2008).** Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extracts. African journal of pharmacy and pharmacology. 2(2), 022-028.

**Berrichi, M., Chikh, M., Haddad, A., Allam, F., Guffar, M., Belhkodja, Y. (2017).** Quelques aspects histo-morphologiques du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica DESF.*) dans le nord occidental de l'Atlas Tellien (Telemcen-Algerie). Algerian journal of arid environment. 7 (1), 111-121

**Birollo, G. A., Reinheimer, J. A., Vinderola, C. G. (2000).** Viability of lactic acid microflora in different types of yoghurt. *Food Research International*. 33(9), 799-805.

**Bordenave, G. (2003).** **Louis Pasteur (1822–1895).** *Journal of Microbes and infection*.5(6), 553-56.

**Bourlioux, P. (2007).** Histoire des laits fermentés. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. 42, 9-14.

**Bourlioux, P., Braesco, V., Mater, D. D. (2011).** Yaourts et autres laits fermentés. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. 46(6), 305-314.

**Bozorgi, M., Memariani, Z., Mobli, M., Salehi Surmaghi, M. H., Shams-Ardekani, M. R., Rahimi, R. (2013).** Five *Pistacia* species (*P. vera*, *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. khinjuk*, and *P. lentiscus*): a review of their traditional uses, phytochemistry, and pharmacology. *The Scientific World Journal*.(2013),1-33

## C

**Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (2015).** Recherche des coliformes totaux et de *Escherichia coli* avec le milieu de culture Colilert®: méthode présence/absence, MA. 700 – Ecct. 1.0, Rév. 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 9 p.

**Chaabani, E. (2019).** Eco-extraction et valorisation des métabolites primaires et secondaires des différentes parties de *Pistacia lentiscus* (Doctoral dissertation, Université d'Avignon; Université de Carthage (Tunisie)).1-134

**Chaabani, E., Vian, M. A., Dakhlaoui, S., Bourgou, S., Chemat, F., & Ksouri, R. (2019).** *Pistacia lentiscus* L. edible oil: Green extraction with bio-based solvents, metabolite profiling and in vitro anti-inflammatory activity. *OCL Oilseeds and fats crops and lipids*. 26.

**Chen, C., Zhao, S., Hao, G., Yu, H., Tian, H., & Zhao, G. (2017).** Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. *International Journal of Food Properties*. (20(1), 316-330.

**Chenni, M. (2016).** Etude comparative de la composition chimique et de l'activité biologique de l'huile essentielle des feuilles du basilic «*Ocimum basilicum* L.» extraite par hydro-distillation et par micro-ondes. Mémoire de doctorat, université d'Oran. 1.1-185

**Citta, A., Folda, A., Scalcon, V., Scutari, G., Bindoli, A., Bellamio, M., ... & Rigobello, M. P. (2017).** Oxidative changes in lipids, proteins, and antioxidants in yogurt during the shelf life. *Food science & nutrition*. 5(6), 1079-1087.

**CODEX STAN A-11(a)-1975.** Codex standard for yoghurt (yogurt) and sweetened yoghurt (sweetened yogurt). Indonesia. 1-8

**Codină, G. G., Franciuc, S. G., & Mironeasa, S. (2016).** Rheological characteristics and microstructure of milk yogurt as influenced by quinoa flour addition. *Journal of Food Quality*. 39(5), 559-566.

**Courtin, P., Monnet, V., & Rul, F. (2002).** Cell-wall proteinases PrtS and PrtB have a different role in *Streptococcus thermophilus*/*Lactobacillus bulgaricus* mixed cultures in milk. *Microbiology*. 148(11), 3413-3421.

#### **D**

**Dahmoune, F., Spigno, G., Moussi, K., Remini, H., Cherbal, A., & Madani, K. (2014).** *Pistacia lentiscus* leaves as a source of phenolic compounds: Microwave-assisted extraction optimized and compared with ultrasound-assisted and conventional solvent extraction. *Industrial Crops and Products*. 61, 31-40.

**Das, K., Choudhary, R., & Thompson-Witrick, K. A. (2019).** Effects of new technology on the current manufacturing process of yogurt to increase the overall marketability of yogurt. *Lwt*. 108, 69-80.

**Debbabi, H., Nemri, K., & Riahi, H.** Antimicrobial effects of *Pistacia lentiscus* L. Foliar Extracts on fresh turkey breast cutlets. Effets antimicrobiens des extraits foliaires de *Pistacia lentiscus* L. dans des escalopes de dinde. *Journal of new science*. 40(1), 1-9.

**Desjardins, J., Tanabe, S., Bergeron, C., Gafner, S., & Grenier, D. (2012).** Anthocyanin-rich black currant extract and cyanidin-3-O-glucoside have cytoprotective and anti-inflammatory properties. *Journal of medicinal food*. 15(12), 1045-1050.

**Desobry Banon, S., Vetier, N., & Hardy, J. (1999).** Health benefits of yogurt consumption : A review. *International Journal of Food Properties*. 2(1), 1-12.

**Djedaia, M. S. (2017).** These de doctorat : Etude physico-chimique et caractérisation du fruit de la plante lentisque (*Pistacia Lentiscus L.*). Université Badji Mokhtar-Annaba.1-174

**Donovan et Shamir. (2014).**Introduction to the yogurt in nutrition initiative and the First Global Summit on the health effects of yogurt. The American journal of clinical nutrition. 99(5), 1209–1211

**Drider, D. (2009).** Bactéries lactiques: physiologie, métabolisme, génomique et applications industrielles/sous la direction de Djamel Drider, Hervé Prévost;[préface d'Alexandra Gruss] (p. 1). Economica.

### E

**El kalamouni ,C.,Raynaud , C., Talout, T. 2010.** Design of an Artificial Crushing Finger Device for Rapid Evaluation of Essential Oils from Aromatic plants leaves. Expression of Multidisciplinary Flavour Science, Ed. Imre Blank, Matthias Wüst, ChahanYeretzian .525-528.

**ElezGarofulić, I., Kruk, V., Martić, A., Martić, I., Zorić, Z., Pedisić, S& Dragović-Uzelac, V. (2020).** Evaluation of polyphenolic profile and antioxidant activity of *Pistacia lentiscus L.* leaves and fruit extract obtained by optimized microwave-assisted extraction. Foods. 9(11), 1556.

### F

**Fang, J. (2014).** Bioavailability of anthocyanins. Drug metabolism reviews.46(4), 508-520.

**FAO. 1995.** « Le lait et le produit laitiers dans la nutrition humaine food&Agriculture.org »

**Farag, M. A., Saleh, H. A., El Ahmady, S., &Elmassry, M. M. (2021).** Dissecting yogurt: The impact of milk types, probiotics, and selected additives on yogurt quality. Food Reviews International.1-17.

**Mamine, F. (2016).** Étienne Montaigne et Jean-Pierre Boutonnet, « Perception de la qualité des produits laitiers et comportement du consommateur algérien », Économie rurale.

**Fazilah, N. F., Ariff, A. B., Khayat, M. E., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2018).** Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. Journal of Functional Foods. 48, 387-399.

**Fernandez, M. A., &Marette, A. (2017).** Potential health benefits of combining yogurt and fruits based on their probiotic and prebiotic properties. *Advances in Nutrition*. 8(1), 155-164.

**Fernandez, M. A., Picard-Deland, É., Le Barz, M., Daniel, N., &Marette, A. (2017).**Yogurt and health. In *Fermented foods in health and disease prevention*. Academic Press. pp. 305-338.

### G

**Gandaho, P. S., Goudjinou, C., Tchobo, F. P., &Soumanou, M. M. (2017).**Séchage du sorgho produit dans le Nord-Bénin: Caractérisation thermophysique et qualité microbiologique du produit séché. *Journal of Applied Biosciences*. 112, 11016-11024.

**Gauchi, J. P. (2005).** Plans d'expériences optimaux: un exposé didactique. *La revue MODULAD*. (33), 139-162.

**Gezginc, Y., Akyol, I., Kuley, E., &Özogul, F. (2013).**Biogenic amines formation in *Streptococcus thermophilus* isolated from home-made natural yogurt. *Food chemistry*.138(1), 655-662.

**Giaginis, C., &Theocharis, S. (2011).**Current evidence on the anticancer potential of Chios mastic gum. *Nutrition and cancer*, 63(8), 1174-1184.

**Guehame, W., Lamrani, C., &Benali, S. E. (2016).**Evaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des fruits déshydratés: raisins et figues (Doctoral dissertation, Université de Jijel).

### H

**Han, X., Yang, Z., Jing, X., Yu, P., Zhang, Y., Yi, H., & Zhang, L. (2016).** Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharid producing lactic acid bacteria. *BioMed research international*. (2016),1-7

**Hoppert, K., Zahn, S., Puschmann, A., Ullmann, I., & Rohm, H. (2012).** Quantification of sensory difference thresholds for fat and sweetness in dairy-based emulsions. *Food quality and preference*. 26(1), 52-57.

**Hoppert, K., Mai, R., Zahn, S., Schwarz, P. E., Hoffmann, S., & Rohm, H. (2014).** Is there a fit in cognitive and sensory evaluation of yogurt? The moderating role of nutrition training. *Food Quality and Preference*. 31, 65-68.

**Horiuchi, H., & Sasaki, Y. (2012).** Effect of oxygen on symbiosis between *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. *Journal of dairy science*. 95(6), 2904-2909.

### **J**

**J.O.R.A. 2004:** Arrêté du 24 mai 2004 rendant obligatoire une méthode de recherche des staphylocoques à coagulase positive pour le lait en poudre. (J.O. n° 43).

**J.O.R.A. N°35., (1998).** Arrête interministériel du 25 Ramadhan 1418 correspondant au 24 Janvier 1998 modifiant et complétant l'arrête du 14 Safar 1415 correspondant au 23 Juillet 1994 relatif au spécification microbiologique de certaines denrées alimentaires p 7.

**Jeantet, R., Croguennec, T., Mahaut, M., Schuck, P., & Brulé, G. (2007).** Les produits laitiers. Editions Tec & Doc Lavoisier. pp. 184

### **K**

**Kamfouche, A., Mekris, G. (2019).** Amélioration des des propriétés nutritionnelles d'un dessert lacté « yaourt ». Université Djilali Bounaama Khemis Miliana. 1-78

**Karagul-Yuccer, Y., & Drake, M. (2006).** Sensory analysis of yogurt. *Manufacturing yogurt and fermented milks*, 265-270.

**Kashaninejad, M., Najaf Najafi, M., Ghods Rohani, M., & Kashaninejad, M. (2019).** Optimization of labane (concentrated yogurt) formulation produced by wheyless process using mixture- process variable experiments. *Journal of Food Processing and Preservation*. 43(11), 14193.

**Kaur, R., Kaur, G., Mishra, S. K., Panwar, H., Mishra, K. K., & Brar, G. S. (2017).** Yogurt: A nature's wonder for mankind. *International Journal of Fermented Foods*. 6(1), 57-69.

**Kelly, P. M. (2006).** Innovation in milk powder technology. *International journal of dairy technology*. 59(2), 70-75.

**Kounouz, R., Sena, B., Faiza, B., & Habiba, Z. (2021).** Contrôle microbiologique de denrées alimentaires servies en restauration collective. *Algerian Journal of Nutrition and Food Sciences (AJNFS)*.1(3), 22–30

**Koutsoudaki, C., Krsek, M., & Rodger, A. (2005).** Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil and the gum of *Pistacia lentiscus* *Var. chia*. *Journal of agricultural and food chemistry*.53(20), 7681-7685.

**Kumar, M., Dahuja, A., Tiwari, S., Punia, S., Tak, Y., Amarowicz, R & Kaur, C. (2021).** Recent trends in extraction of plant bioactives using green technologies: A review. *Food Chemistry*. 353, 129431.

### L

**Lecerf, J. M. (2016).** Particularités et bienfaits des yaourts [Characteristics and benefits of yogurts]. *Nutrition & Santé*. 05 (01), 24-32.

**Lefebvre, A., & Bassereau, J. F. (2003).** L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception: ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. Application aux emballages. 10, 3-11.

**Linares, D. M., O'Callaghan, T. F., O'Connor, P. M., Ross, R. P., & Stanton, C. (2016).** *Streptococcus thermophilus* APC151 strain is suitable for the manufacture of naturally GABA-enriched bioactive yogurt. *Frontiers in Microbiology*.7, 1876.

**Liu, E., Zheng, H., Shi, T., Ye, L., Konno, T., Oda, M & Ji, Z. S. (2016).** Relationship between *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* under whey conditions: Focus on amino acid formation. *International Dairy Journal*. 56, 141-150.

**LOUMANI, A. (2011).** Etude microbiologique et hygiénique du yaourt fabriqué et commercialisé dans l'Ouest Algérien (Doctoral dissertation, Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella). 1-118

### M

**Maali, Y., Martins-Simões, P., Valour, F., Bouvard, D., Rasigade, J. P., Bes, M., ... & Trouillet-Assant, S. (2016).** Pathophysiological mechanisms of *Staphylococcus non-aureus* bone and joint infection: interspecies homogeneity and specific behavior of *S. pseudintermedius*. *Frontiers in microbiology*. 7, 1063.

**Mahmoudi, S., Khali, M., & Mahmoudi, N. (2013).** Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynarascolymus L.*). *Nature & Technology* .(9), 35.

**Maiwore, J., Baane, M. P., Ngoune, L. T., Fadila, J. A., Yero, M. Y., & Montet, D. (2018).** Qualité microbiologique et physico-chimique des laits fermentés consommés à Maroua (Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 12(3), 1234-1246.

**Marais, J. (1983).** Terpenes in the aroma of grapes and wines: a review. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 4(2), 49-58.

**Marette, A., & Picard-Deland, E. (2014).** Yogurt consumption and impact on health: focus on children and cardiometabolic risk. *The American journal of clinical nutrition*. 99(5), 1243S-1247S.

**Mehenni, C., Atmani-Kilani, D., Dumarçay, S., Perrin, D., Gérardin, P., & Atmani, D. (2016).** Hepatoprotective and antidiabetic effects of *Pistacia lentiscus* leaf and fruit extracts. *Journal of food and drug analysis*. 24(3), 653-669.

**Meydani, S. N., & Ha, W. K. (2000).** Immunologic effects of yogurt. *The American journal of clinical nutrition*. 71(4), 861-872.

**Milia, E., Bullitta, S. M., Mastandrea, G., Szotáková, B., Schoubben, A., Langhansová, L., ... & Eick, S. (2021).** Leaves and fruits preparations of *Pistacia lentiscus* L.: A review on the ethnopharmacological uses and implications in inflammation and infection. *Antibiotics*. 10(4), 425.

**Montemurro, M., Pontonio, E., Coda, R., & Rizzello, C. G. (2021).** Plant-based alternatives to yogurt: State-of-the-art and perspectives of new biotechnological challenges. *Foods*. 10(2), 316.

## N

**Nabila, B., Fawzia, A. B., & Tatjana, K. P. (2008).** Antioxidant and antimicrobial activities of the *Pistacia lentiscus* and *Pistacia atlantica* extracts. *African journal of pharmacy and pharmacology*. 2(2), 022-028.

**Nagaoka, S. (2019).** Yogurt production. In *Lactic acid bacteria*. Humana Press, New York, NY. 45-54.

**Nyanzi, R., Jooste, P. J., & Buys, E. M. (2021).** Invited review: Probiotic yogurt quality criteria, regulatory framework, clinical evidence, and analytical aspects. *Journal of Dairy Science*.104(1), 1-19.

**Orrù, G., Demontis, C., Mameli, A., Tuveri, E., Coni, P., Pichiri, G., ... &D'hallewin, G. (2017).** The selective interaction of Pistacia lentiscus Oil vs. human Streptococci, an old functional food revisited with new tools. *Frontiers in Microbiology*. 8, 2067.

### **P**

**Pal, M., Tefera, M., Tasew, A., Jergefa, T., &Deressa, A. (2015).** Hygienic and Microbial Quality of Yoghurt. *Beverage and Food World*. 42, 25-27.

**Panahi, S., Doyon, C. Y., Després, J. P., Pérusse, L., Vohl, M. C., Drapeau, V., & Tremblay, A. (2018).**Yogurt consumption, body composition, and metabolic health in the Québec Family Study. *European journal of nutrition*. 57(4), 1591-1603.

**Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., &Tiwari, B. K. (2010).**Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science &Technology*. 21(1), 3-11.

**Pelletier, J. F., Faurie, J. M., François, A., & Teissier, P. (2007).** Lait fermenté: la technologie au service du goût. *Cahiers de Nutrition et deDietetique*.42, 15-20.

**Piccolella, S., Nocera, P., Carillo, P., Woodrow, P., Greco, V., Manti , L., Fiorentino, A., Severin Pacifico, S. (2016).** An apolar Pistacia lentiscus L. leaf extract . *Food and Chemical Toxicology*. 95, 64-74.

### **R**

**Radojčin, M., Pavkov, I., BursaćKovačević, D., Putnik, P., Wiktor, A., Stamenković, Z., ... & Gere, A. (2021).** Effect of selected drying methods and emerging drying intensification technologies on the quality of dried fruit: A Review. *Processes*. 9(1), 132.

**Rauf, A., Patel, S., Uddin, G., Siddiqui, B. S., Ahmad, B., Muhammad, N., ... &Hadda, T. B. (2017).** Phytochemical, ethnomedicinal uses and pharmacological profile of genus Pistacia. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 86, 393-404.

**Rodríguez-Pérez, C., Quirantes-Piné, R., Amessis-Ouchemoukh, N., Madani, K., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutierrez, A. (2013).**A metabolite-profiling approach

allows the identification of new compounds from *Pistacia lentiscus* leaves. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*.77, 167-174.

**Ryan, M. P., O'Dwyer, J., &Adley, C. C. (2017).** Evaluation of the complex nomenclature of the clinically and veterinary significant pathogen *Salmonella*. *BioMed research international*.(2017),1-6.

## S

**Sanalibaba, P., &Çakmak, G. A. (2016).** Exopolysaccharides production by lactic acid bacteria. *Appl. Microbiol. Open Access*. 2(115), 10-4172.

**Sandine, W. E., Daly, C., Elliker, P. R., &Vedamuthu, E. R. (1972).** Causes and control of culture-related flavor defects in cultured dairy products. *Journal of Dairy Science*. 55(7), 1031-1039.

**Savadogo, A., & Traore, A. S. (2011).**La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 5(5), 2057-2075.

**Savaiano, D. A., &Hutkins, R. W. (2021).**Yogurt, cultured fermented milk, and health: A systematic review. *Nutrition reviews*. 79(5), 599-614.

**Settachaimongkon, S. (2014).** Simultaneous growth and metabolite production by yoghurt starters and probiotics: a metabolomics approach. *Wageningen University and Research*,1-214

**Shah, N. P. (Ed.). (2017).** Yogurt in health and disease prevention. Academic Press.

**Şimşek, B., Aksoy, A., Kırhan, S., &ŞahinTopçu, D. (2019).** Effects of mastic gum (*Pistacia lentiscus*) on chemical, rheological, and microbiological properties of yogurt ice cream. *Journal of Food Processing and Preservation*. 43(7), e13945.

**Singh, R. K., Ranjan, A., Singh, M., & Srivastava, A. K. (2021).** Anticancer natural product from marine invertebrates. In *Evolutionary Diversity as a Source for Anticancer Molecules*. Academic Press, 255-266

**Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C. (2007).** Industrial yogurt manufacture: monitoring of fermentation process and improvement of final product quality. *Journal of dairy science*. 90(6), 2641-2654.

**Soulaidopoulos, S., Tsiogka, A., Chrysohoou, C., Lazarou, E., Aznaouridis, K., Doundoulakis, I., ... & Lazaros, G. (2022).** Overview of Chios Mastic Gum (*Pistacia lentiscus*) Effects on Human Health. *Nutrients*. 14(3), 590.

**Szczawińska, M. E., Szczawiński, J., Łobacz, A., & Jackowska-Tracz, A. (2014).** Modeling the effect of temperature on survival rate of *Salmonella Enteritidis* in yogurt. *Polish journal of veterinary sciences*. (3). 479–485

### T

**Taleb, A. (2017).** Contrôle et qualité d'un lait déshydraté. Mémoire de master, Université AboubekrBelkaid de Tlemcen, 59p.

**Terpou, A., Bosnea, L., & Kanellaki, M. (2017).** Effect of Mastic Gum (*Pistacia Lentiscus Via Chia*) as a Probiotic Cell Encapsulation Carrier for Functional Whey Beverage Production. *SCIOL Biomed*. 1, 1-10.

**Trabelsi, H., Cherif, O. A., Sakouhi, F., Villeneuve, P., Renaud, J., Barouh, N, Boukhchina, S., ... & Paul Mayer (2011).** Total lipid content, fatty acid and 4-desmethylsterols accumulation in developing fruit of *Pistacia lentiscus L.* growing wild in Tunisia. *Food Chemistry*. 131(2012), 434-440

**Trachoo, N. (2002).** Yogurt: The fermented milk. *Journal of Science and Technology*. 24(4), 727-738.

**Tsarouhas, P. H., & Arvanitoyannis, I. S. (2014).** Yogurt production line: reliability analysis. *Production & Manufacturing Research*. 2(1), 11-23.

**Tufail, M., Hussain, S., Malik, F., Mirza, T., Parveen, G., Shafaat, S., ... & Sadiq, A. (2011).** Isolation and evaluation of antibacterial activity of bacteriocin produced by *Lactobacillus bulgaricus* from yogurt. *African Journal of Microbiology Research*. 5(22), 3842-3847.

### U

**Uriot, O., Denis, S., Junjua, M., Roussel, Y., Dary-Mourot, A., &Blanquet-Diot, S. (2017).** Streptococcus thermophilus: from yogurt starter to a new promising probiotic candidate. *Journal of Functional Foods* .37, 74-89.

**V**

**Vandi, D., Nga, E. N., Betti, J. L., Loe, G. E., Ottou, P. M., Priso, R. J., ... &Mpondo, E. M. (2016).** Contribution des populations des villes de Yaoundé et Douala à la connaissance des plantes à tanins et à anthocyanes. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 3, 4797-4814.

**W**

**Wang, H., Livingston, K. A., Fox, C. S., Meigs, J. B., & Jacques, P. F. (2013).** Yogurt consumption is associated with better diet quality and metabolic profile in American men and women. *Nutrition Research*. 1(33), 18-26.

**Webb, D., Donovan, S. M., &Meydani, S. N. (2014).** The role of yogurt in improving the quality of the American diet and meeting dietary guidelines. *Nutrition reviews*. 72(3), 180-189.

**Weerathilake, W. A. D. V., Rasika, D. M. D., Ruwanmali, J. K. U., &Munasinghe, M. A. D. D. (2014).** The evolution, processing, varieties and health benefits of yogurt. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 4(4), 1-10.

**X**

**Xu, Y., Cui, Y., Yue, F., Liu, L., Shan, Y., Liu, B., ... &Lü, X. (2019).** Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and Bifidobacteria: Structures, physiochemical functions and applications in the food industry. *Food Hydrocolloids*. 94, 475-499.

# *Annexes*

## Annexe 1 : L'ensemble du matériel utilisé dans la partie expérimentale

<b>Matières premières</b>	La poudre de lait
	La poudre de lentisque
	Sucre
	Yaourt nature
	Eau minérale
<b>Appareillage et verrerie</b>	Bec bunsen
	Agitateur
	Étuve
	Bain-marie
	Réfrigérateur (4-5°C)
	Vortex
	Balance électrique
	Compteur de colonies
	PH-mètre
	Burette graduée
	Barreau magnétique
	Micropipette / embouts stériles
	Pipette Pasteur
	Tubes à essais stériles
	Boîtes de pétri
	Flacons / béchers stériles
	Boîtes / pots en verre
	Cuillère / spatule de laboratoire
	<b>Milieus de culture</b>
Gélose VRBL	
Gélose Chapman	
Gélose Hektoen	
Milieu SFB	
<b>Produits chimiques</b>	NaOH
	Phénolphtaléine
	Eau physiologique stérile
	Eau distillée
<b>Matériel supplémentaire</b>	Étiquettes
	Marqueur
	Scotch
	Papier aluminium

## Annexe 2 : Généralités sur le logiciel « JMP »

JMP "John's Macintosh Product" est un logiciel initialement développé par John Sall pour exécuter des analyses de statistiques simples ou complexes, le logiciel est conçu pour les ordinateurs personnels et possède des versions adaptées à Windows, Macintosh ou Linux , et fournit un ensemble d'outils statistiques compréhensible, un moyen de mettre en place des expériences et de contrôle qualité statistique dans un seul paquetage logiciel. Il peut fonctionner avec divers formats de données.

JMP se compose de JMP, JMP Pro, JMP Clinical et JMP Live, ainsi que de l'application Graph Builder pour iPad. Les logiciels JMP portent sur l'analyse exploratoire des données et la visualisation. Ils sont conçus de manière à permettre aux utilisateurs de rechercher des données pour apprendre quelque chose d'inattendu, par opposition à la confirmation d'une hypothèse. JMP est une application de bureau avec une interface utilisateur guidée par un assistant, tandis que SAS peut être installé sur des serveurs. Il est exécuté en mémoire plutôt que d'être stocké sur disque. Selon un article de revue publié dans Pharmaceutical Statistics, JMP est souvent utilisé comme interface graphique pour un système SAS, qui effectue l'analyse statistique et la mise en tableaux. JMP Clinical, utilisé pour l'analyse des données d'essais cliniques comprend des logiciels JMP et SAS.

The image displays three screenshots of the JMP software interface. The top-left screenshot shows a menu with various statistical analysis options. The top-right screenshot shows a data table and a graph. The bottom-left screenshot shows a data table titled "Données : 3 facteurs dans plan simplexe (Degré m= 2)". The bottom-right screenshot shows a dialog box titled "Spécifications des Variables du Mélange".

Standard	Brome	Poudre	HCM
1	0,730000	0,250000	0,020000
2	0,300000	0,680000	0,020000
3	0,300000	0,250000	0,450000
4	0,515000	0,465000	0,020000
5	0,515000	0,250000	0,235000
6	0,300000	0,465000	0,235000

Fact.	Nom du facteur	inf. Valeur	sup. Valeur
A (1)	BROME	0	1
B (2)	POUDRE	0	1
C (3)	HCL	0	1
Total=	1,		

### Annexe 3 : Photos de quelques étapes du travail pratique



Macération



Préparation du mélange de yaourt



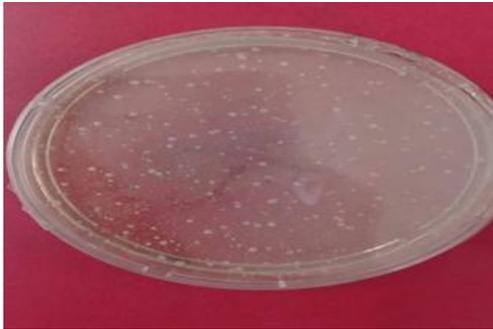
Traitement thermique



Analyses microbiologiques

## Annexe 4 : Photos de quelques résultats microbiologiques

### 1. Résultats de l'analyse microbiologique de la poudre du lait :



FTAM



Coliformes



Staphylocoques

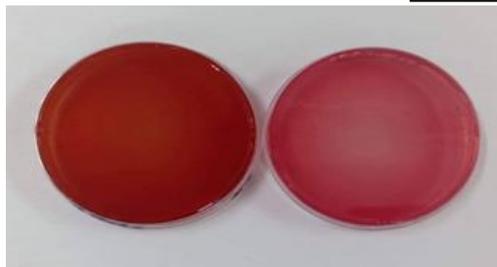
### 2. Résultats de l'analyse microbiologique de la poudre de lentisque :



FTAM

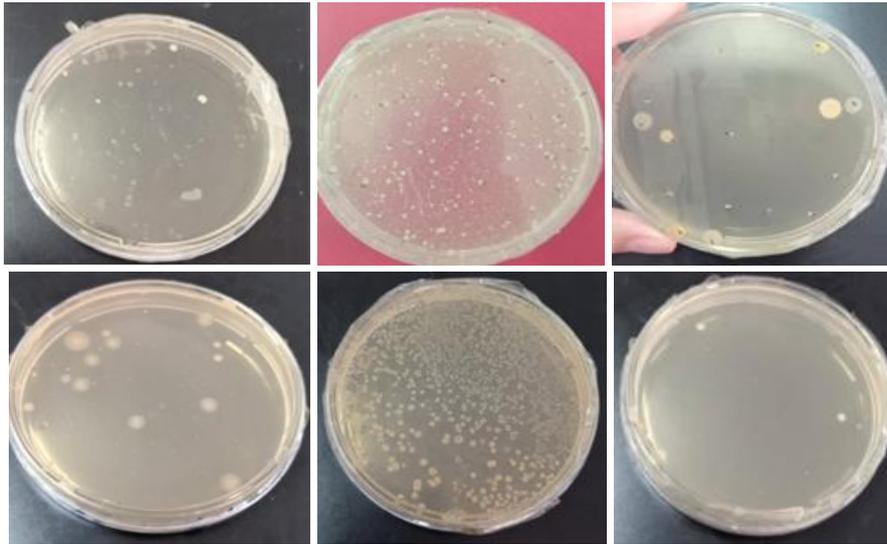


Coliformes



Staphylocoques

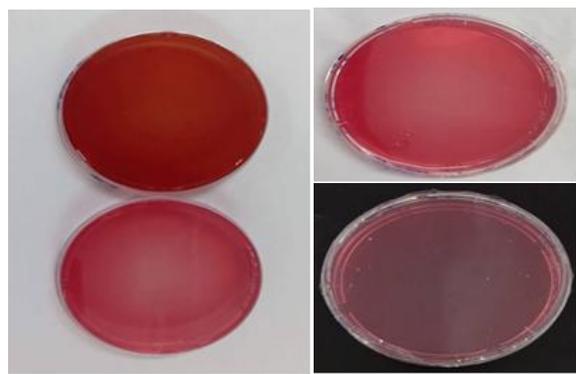
3. Résultats de l'analyse microbiologique du yaourt fabriqué :



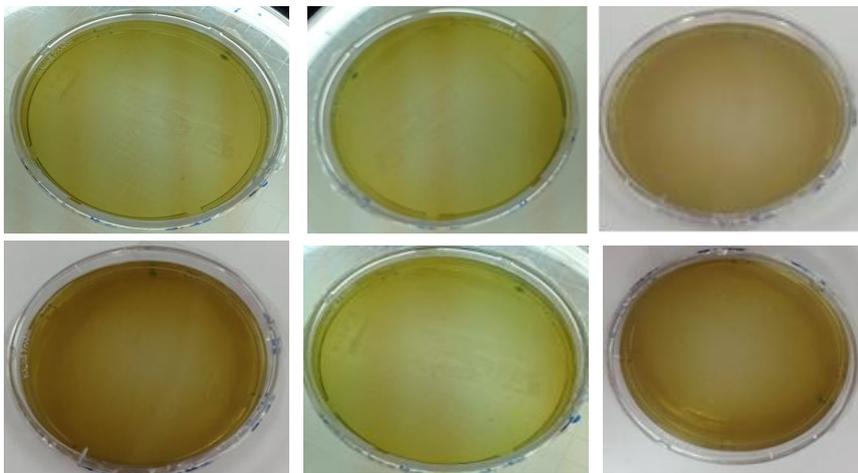
FTAM



Coliformes



Staphylocoques



Salmonelles



#### 4. Texture :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ferme												
Homogène												
Onctueuse												
Légère												

B. Classez selon l'ordre de préférence / acceptabilité générale les échantillons (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), en donnant une note de 1 à 12, sachant que 1 correspond au moins préféré et 12 au plus préféré :

Échantillons	Préférences
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	

**Merci pour votre coopération**

# *Résumé*



## Résumé

Le but de ce travail été d'optimiser la formulation d'un yaourt ferme d'une bonne qualité hygiénique et organoleptique, en valorisant les tourteaux de « *Pistacia lentiscus* » après extraction de ses huiles. En termes de ce travail 12 mélanges de yaourt ont été préparés en variant les quantités de la poudre de lentisque, la poudre de lait et de sucre de table en suivant un plan de mélange donné de logiciel SAS.JMP7.

Les résultats de contrôle microbiologique de la poudre de lait sont conformes aux normes de la réglementation Algérienne. La poudre de lentisque est exempte de coliformes totaux et fécaux ainsi que de staphylocoques. Les résultats du pH et de l'acidité titrable des yaourts été conformes aux normes réglementaires Algérienne ( $4.3 < \text{pH} < 4.6$  ;  $80 < D < 100$ ). L'analyse sensorielle des 12 yaourts fabriqués que le yaourt 8 fabriqué avec 0,18g de poudre de lentisque, 0,33g de sucre et 0.46 de poudre de lait est le plus apprécié. L'analyse des résultats de plan de mélange JMP a montré que la formule optimale du yaourt été 18 % de poudre de lentisque, 33% de sucre et 46 % de poudre de lait.

**Mots clés :** Yaourt, *Pistacia lentiscus*, Plan de mélange, JMP, Optimisation

## Abstract

The aim of this work was to optimize the formulation of firm yoghurt of good hygienic and organoleptic quality, valorizing the fruit residues of "*Pistacia lentiscus*" after extraction of its oils. In the course of this work 12 yogurt mixtures were prepared by varying the quantities of lentisk powder, milk powder and table sugar following a given mixing plan of SAS.JMP7 software. The results of the microbiological control of the milk powder are in accordance with the standards of the Algerian regulation. The lentisk powder is free of total and fecal coliforms and staphylococci. The results of pH and titratable acidity of yoghurts were in accordance with Algerian regulatory standards ( $4.3 < \text{pH} < 4.6$ ;  $80 < D < 100$ ). The sensory analysis of the 12 yoghurts manufactured that the yoghurt 8 manufactured with 0.18g of lentisk powder, 0.33g of sugar and 0.46 of milk powder is the most appreciated. The analysis of the results of JMP mixing plan showed that the optimal formula of the yogurt was 18% of lentisk powder, 33% of sugar and 46% of milk powder.

**Keywords:** Yogurt, *Pistacia lentiscus*, Mixing plan, JMP, Optimization

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحسين تركيبة زبادي ذو جودة صحية وحسية عالية عن طريق تثمين بقايا ثمار نبات الضرو الناتجة عن عملية استخلاص الزيوت. في إطار هذا العمل تم تحضير 12 مزيجا من الزبادي باستعمال كميات مختلفة من كل من مسحوق الضرو ومسحوق الحليب والسكر وذلك باتباع خطة خلط معينة من برنامج SAS.JMP7.

وقد أظهرت نتائج التحليل الميكروبيولوجية لمسحوق الحليب توافق المعايير المتحصل عليها مع المعايير اللائحة الجزائرية. وكذلك الأمر مع مسحوق الضرو الخالي من القولونيات والمكورات العنقودية. كما أظهرت نتائج الحموضة عامة توافقا مع المعايير التنظيمية بقيم منحصرة بين 4.3 و 4.6 بالنسبة لدرجة الحموضة وقيم متغيرة بين 80 و 100 بالنسبة للحموضة القابلة للمعايرة.

اخيرا فقد اسفرت نتائج التحليل الحسي عن اختيار العينة 8 المحضرة ب 0.46 غ من مسحوق الحليب و 0.36 غ من السكر و 0.18 غ من مسحوق الضرو كأفضل عينة وهو ما تم تأكيده بالصيغة المثلى للخلطة المثالية المحددة من طرف JMP والمقدرة ب 0.18 بالمئة لمسحوق الضرو و 0.46 بالمئة لمسحوق الحليب و 0.33 بالمئة للسكر.

**الكلمات المفتاحية:** الزبادي - الضرو - خطة الخلط - التحسين - JMP

