

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

**Université A. MIRA - Béjaia**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de des Sciences Alimentaires**  
**Spécialité Production et Transformation Laitière**



**Réf :.....**

**Mémoire de Fin de Cycle**  
**En vue de l'obtention du diplôme**

**MASTER**

***Thème***

**Innovation de yaourts enrichis  
en antioxydants naturels**

Présenté par :

**BADJI Nawel & MOUDACHE Youcef**

Soutenu le : **01 Octobre 2020**

Devant le jury composé de :

Mme BOULEKBACHE Lila

Professeur

Présidente

Mme GUENDOUZE Naima

MCB

Promotrice

Mme BRAHMI Fatiha

MCA

Examinatrice

**Année universitaire : 2019 / 2020**



## **Remerciements**

*En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour accomplir ce modeste travail.*

*Nous adressons nos profondes reconnaissances et nos chaleureux remerciements à notre promotrice **M<sup>me</sup> GUENDOUZE-Bouchefa Naïma** pour son encouragement, pour l'aide précieux qu'elle nous a donné, pour ses remarques et ses conseils et pour nous avoir accompagnés tout au long de notre travail.*

*Les membres de jury, la présidente **M<sup>me</sup> BOULEKBACHE Lila** et l'examinatrice **M<sup>me</sup> BRAHMJ Fatima***

*Nous voudrions exprimer nos remerciements à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. Tous ce qui ont contribué de pré ou de loin à la réalisation de ce travaille.*

*Notre profonde gratitude à nos familles et tous nos enseignants qui nous ont formés.*

## *Dédicaces*

*Au nom du dieu le plus puissant*

*Je dédie ce travail à :*

*A la lumière de ma vie, mes très chers parents*

*A celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, ma mère, la perle la plus chère La source de tous mes espoirs pour son sacrifice, son aide, ses conseils et sa patience.*

*A mon père, La base de toute ma carrière, le plus cher qui existe sur terre, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, m'aider et à me protéger.*

*A mon cher frère et deuxième père Amirouche Pour son soutien et ces sacrifices.*

*A mon cher frère et l'épaule sur qui je compte Makhlouf pour son soutien et ces conseils*

*A mes chères sœurs Kahina, Naïma, Farida pour leurs soutiens*

*A l'âme de ma chère sœur Nawel, que j'ai l'honneur de porter son prénom*

*Plus précisément à l'âme de ma très chère grand-mère Cherifa, je souhaitai qu'elle soit présente*

*Naouel*

# ***Dédicaces***

***Je dédie ce modeste travail à :***

***Mes très chers parents qui m'ont soutenu depuis toujours. C'est grâce à eux que je suis aujourd'hui au stade final de ma formation.***

***À mes très chers sœurs : wissam et lycia, auxquelles je souhaite une très bonne continuité et réussite dans la vie.***

***À toute ma famille et mes amis***

***Youcef***

**Liste des figures**

<b>Figures</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure 1</b>	Observation microscopique électronique à balayage (x 5000) des ferments lactiques en association dans un yaourt	<b>06</b>
<b>Figure 2</b>	Diagramme général de fabrication du yaourt ferme et du yaourt brassé	<b>07</b>
<b>Figure 3</b>	Photographies des plantes <b>a</b> : ombo , <b>b</b> : guimauve, <b>c</b> : taro corm	<b>11</b>
<b>Figure 4</b>	Photographie de la baie d'açaï	<b>12</b>
<b>Figure 5</b>	Lésions de l'ADN formées par attaque radicalaire du patrimoine génétique des cellules	<b>15</b>
<b>Figure 6</b>	Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliquées en biologie	<b>16</b>
<b>Figure 7</b>	Structure chimique de deux antioxydants de synthèse : la BHA et la BHT	<b>19</b>
<b>Figure 8</b>	Propriété réductrice d'un phénol	<b>20</b>
<b>Figure 9</b>	Photographie d'un pH mètre.	<b>22</b>
<b>Figure 10</b>	Photographie d'un dessiccateur	<b>23</b>
<b>Figure 11</b>	Photographie d'un refractomètre.	<b>25</b>
<b>Figure 12</b>	Les cinq sens intervenant dans la perception organoleptique d'un produit	<b>27</b>

**Liste des tableaux**

<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I</b>	Valeur nutritionnelle pour 100 g du yaourt	<b>04</b>
<b>Tableau II</b>	Différents types du yaourt et leurs caractéristiques	<b>08</b>
<b>Tableau III</b>	Analyse microbiologique du yaourt.	<b>26</b>

*Liste des abréviations*

**AFNOR** : Association Française de Normalisation.

**BHA** : hydroxyanisole butylé

**BHT** : hydroxytoluène butylé

°C : degré Celsius

**DPPH** : Le radical libre 1-diphényl-2-picryl hydrazyl.

**EST** : Extrait Sec Total

**ERO** : espèces réactives de l'oxygène

**FAO** : Food and Agriculture Organisation

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

**GC**: Giolitti Contoni

**MG** : matière grasse

**M17** : gélose utilisé pour le dénombrement des Streptocoques.

**MRS**: Gélose de Man, Rogosa, Sharpe.

**MRS** : De Man, Rogosa et Sharpe

**NAOH** : Hydroxyde de sodium.

**PG** : gallate de propyle

**PCA** : Plate Count Agar

**PH** : potentiel d'hydrogène

**SFB**: Selenite F. Brouth

**T°** : Température

**UFC** : Unité formant colonie.

**VRBL** : Milieu Lactosée Biliée au cristal Violet et au Rouge neutre

*Liste des annexes*

**Annexe 1** : Protocole de dénombrement des Germes totaux

**Annexe 2** : Protocole de dénombrement des coliformes totaux et fécaux

**Annexe 3** : Protocole de dénombrement des levures et des moisissures sur milieu Sabouraud.

**Annexe 4** : Protocole dénombrement des *Staphylococcus aureus*.

**Annexe 5** : Protocole de dénombrement des Salmonelles.

**Annexe 6** : Protocole de dénombrement de la flore lactique sur le yaourt.

**Annexe 7** : Table de Mc Graddy

# Table des matières

---

**Introduction**.....1

**Chapitre I: Généralités sur le yaourt**

1. Historique.....3  
2. Définition du yaourt.....3  
3. Composition du yaourt.....3  
4. Intérêts nutritionnels.....4  
5. Bactéries spécifiques du yaourt.....5  
5.1. *Streptococcus thrmophilus*.....5  
5.2. *Lactobacillus bulgaricus*.....6  
5.3. Synergie des deux bactéries du yaourt.....6  
6. Processus de fabrication du yaourt.....7  
7. Différents types de yaourt.....8

**Chapitre II : Innovation et yaourts enrichis**

I. Introduction.....9  
2. Yaourts aux fruits.....9  
2.1. Fruits ajoutés.....10  
3. Yaourts aux légumes.....10  
3.1. Légumes ajoutés.....11  
3.2. Amélioration de la consistance du yaourt par l'ajout de certains polysaccharides végétaux.....11  
4. Yaourts enrichis avec d'autres végétaux.....12  
4.1. Pulpe d'açaï.....12  
4.2. Yaourts aux céréales.....12  
4.2.1. Flocons d'avoine.....12  
4.2.2. Yaourts mélangés aux farines.....13  
4.3. Yaourts au soja.....13

4.4. Yaourts enrichis pour réduire le cholestérol.....13

**Chapitre III: Généralités sur les antioxydants**

1. Définition de l'oxydation.....14

2. Définition d'un antioxydant.....14

3. Radicaux libres.....15

4. Espèces réactives de l'oxygène.....15

5. Mécanisme de l'oxydation.....16

6. Système antioxydant.....17

6.1. Système antioxydant enzymatique.....17

6.2. Système antioxydant non enzymatique.....17

6.2.1. Vitamine E.....17

6.2.2. Vitamine C.....17

6.2.3. Caroténoïdes.....18

6.2.4. Composés phénoliques.....18

7. Différents types d'antioxydants utilisés en agro-alimentaire.....18

7.1. Antioxydants synthétiques.....18

7.2. Antioxydants synergiques.....19

7.3. Antioxydants d'origine végétale.....19

**Chapitre IV: Contrôle de qualité du yaourt**

1. Analyses physico-chimiques du yaourt.....21

1.1. Mesure du pH.....21

1.1.1. Définition du pH.....21

1.1.2. Principe.....21

1.1.3. Mode opératoire.....22

1.2. Mesure de l'acidité Dornic.....22

1.2.1. Définition.....22

1.2.2. Principe.....22

1.2.3. Mode opératoire.....	23
1.3. Détermination de l'extrait sec total.....	23
1.3.2. Principe.....	23
1.3.3. Mode opératoire.....	23
1.4. Détermination de la matière grasse (méthode acido-butyrométrique).....	24
1.4.1. Définition.....	24
1.4.2. Principe.....	24
1.4.3. Mode opératoire.....	24
1.5. Détermination du Brix.....	24
1.5.1. Définition.....	24
1.5.2. Principe.....	24
1.5.3. Mode opératoire.....	25
1.6. Détermination de la viscosité.....	25
1.6.1. Définition.....	25
1.6.2. Principe.....	25
1.6.3. Mode opératoire.....	25
2. Analyses microbiologiques.....	26
2.1. Préparation de la solution mère.....	26
2.2. Préparation des dilutions décimales.....	26
2.3. Germes recherchés.....	26
3. Analyses sensorielles du yaourt.....	28
3.1. Texture.....	28
3.2. Saveur.....	29
3.3. Apparence.....	29
4. Analyses phytochimiques.....	29
4.1. Préparation des extraits.....	29
4.2. Dosage des composés phénoliques totaux.....	30

4.2.1. Principe.....	30
4.2.2. Mode opératoire.....	30
4.3. Dosage des flavonoïdes.....	30
4.3.1. Principe.....	30
4.3.2. Mode opératoire.....	30
4.4. Mesure de l'activité antioxydante.....	31
4.4.1. Test de piégeage du radical DPPH.....	31
4.4.1.1. Principe.....	31
4.4.1.2. Mode opératoire.....	31
4.4.2. Test au phosphomolybdate d'ammonium.....	32
4.4.2.1. Principe.....	32
4.4.2.2. Mode opératoire.....	32
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>32</b>

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

# Introduction

---

## **Introduction**

Le lait se prête à de très nombreuses transformations et donne naissance à une multitude de produits laitiers qui sont au cœur de notre alimentation : laits, fromages, yaourts, beurres, crèmes, desserts lactés et autres produits laitiers (**Bourlioux et al., 2011**).

Les laits fermentés sont largement produits dans de nombreux pays. La fermentation est l'un des plus vieux procédés utilisés pour augmenter la durée de conservation, elle a été pratiquée par les Hommes depuis des milliers d'années (**Savadoغو et al., 2011**). Dans les pays industrialisés, les laits fermentés constituent une part importante et croissante de la consommation alimentaire (**Bouhnik, 1993**).

Parmi ces laits fermentés, le yaourt qui est un produit laitier populaire qui fournit des quantités importantes de substances nutritives. Il a été associé à une large gamme d'effets positifs sur la santé (**Fernanda et al., 2013**).

Dans le marché, sont présentés divers types de yaourts qui sont supplémentés de différents ingrédients répartis en fruits et en légumes secs. Parmi ces ingrédients, la fraise, le kiwi, les fragments de blé, les mûres forestières et les cerises. Un yaourt aux fruits est un produit qui est élaboré en ajoutant des morceaux de fruits ou des ingrédients à base de fruits comme les confitures, les gelées, les boissons et les sirops (**Vahedi et al., 2008**).

Les antioxydants sont largement utilisés comme additifs par l'industrie alimentaire pour empêcher ou retarder l'altération des aliments, en inhibant notamment l'oxydation lipidique. Parallèlement, leur rôle préventif vis-à-vis du stress oxydatif a fait l'objet de nombreuses études, dans le but d'éviter l'apparition de maladies graves comme certains cancers, maladies cardiovasculaire ou dégénérative liées au vieillissement. Les problèmes de sécurité liés à l'utilisation d'antioxydants de synthèse, ainsi que la préférence du consommateur pour les produits d'origine naturels, amènent à rechercher des produits d'origine alimentaire aux propriétés antioxydantes (**Girardet, 2011**).

Par ailleurs, ces dernières années ont connu une exploitation appréciable des plantes, fruits et légumes. Ces derniers ont suscité un intérêt de plus en plus croissant aussi bien chez les consommateurs que chez les diététiciens et les nutritionnistes. Ils servent, en outre, à

l'élaboration de produits alimentaires de grandes valeurs nutritionnelle et diététique  
**(Pincemail et *al.*, 2007).**

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail bibliographique, qui porte sur l'innovation de yaourts enrichis en antioxydants naturels.

Notre manuscrit comprend, un premier chapitre qui met l'accent sur les généralités du yaourt. Un deuxième chapitre exposant l'innovation et yaourts enrichis. Un troisième chapitre porte sur les antioxydants naturels. Pour finir un quatrième chapitre est dédié au contrôle de la qualité du yaourt.

Chapitre 1 :  
Généralité sur le  
yaourt

---

## Chapitre I: Généralités sur le yaourt

### 1. Historique

Originaire d'Asie, le mot yaourt (yoghurt ou yogourt) vient de yoghurmark, mot turc signifiant << épaissir >> (**Tamime et Deeth, 1980**).

Les écrits les plus anciens relatifs aux yaourts sont attribués à Pline l'ancien, celui-ci ayant remarqué que certaines tribus savaient épaissir le lait en une matière d'une agréable acidité. Il existe des preuves de l'existence de produits laitiers fermentés dans un but alimentaire depuis au moins le III<sup>e</sup> millénaire av. J.-C (**Lablondele, 2007**).

En 1902, Ris et Khoury, deux médecins français isolent la bactérie spécifique du yaourt (le bacille bulgare), analysent l'action acidifiante du lait caillé et suggèrent une méthode de production sûre et régulière (**Rousseau, 2005**).

Dans le sillage des découvertes de Louis Pasteur sur la fermentation lactique, de nombreux chercheurs s'intéressent aux micro-organismes présents dans le lait. En 1905, le bulgare Stamen Grigorov a découvert la bactérie *Lactobacillus bulgaricus* qui donne l'acidité au yaourt (**Lablondele, 2007**).

### 2. Définition du yaourt

Le yaourt est un produit laitier coagulé par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* à partir du lait frais ou du lait pasteurisé (concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec), avec ou sans addition de lait en poudre, poudre de lait écrémé, etc. (**Mahaut et al., 2005**). Les bactéries présentes doivent être encore vivantes au moment de la consommation du yaourt. La teneur en ferments viables à la commercialisation doit être supérieure à  $10^7$  germes/g de produit (**Burillard et al., 2016**).

### 3. Composition du yaourt

La principale matière première pour la fabrication du yaourt est le lait, essentiellement le lait de vache qui est constitué d'environ 88% d'eau et de 12% de matière sèche contenant des glucides, des protéines, des lipides et des minéraux. D'autre part, il est possible d'utiliser soit du lait entier, soit du lait partiellement ou totalement écrémé où les taux en matière grasse sont respectivement de 3,5%, 1% et 0% (**Keiling et Dewilde, 1985**) (tableau I).

**Tableau I :** Valeur nutritionnelle pour 100 g du yaourt (**Anonyme 1**).

Nutriments	Quantités
Protéines	4,44 g
Lipides	3,23 g
Glucides	4,63 g
Eau	85,9 g
Fibres	0 g
Vitamine B2	0,223 mg
Vitamine B12	0,306 ug
Calcium	167 mg
Potassium	219 mg
Cuivre	0,1 mg
Zinc	0,39 mg

#### 4. Intérêts nutritionnels

Le yaourt est considéré comme aliment riche en nutriments. Il contribue à satisfaire les recommandations quotidiennes en macronutriments et micronutriments et à réduire les risques de santé possibles dans les populations vulnérables (**Noblet, 2012**).

En plus de l'appréciation par son goût et sa texture, le yaourt est aussi apprécié pour sa valeur nutritionnelle remarquable :

- *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* améliorent la digestion du lactose et réduisent les symptômes liés à l'intolérance au lactose (douleurs abdominales, ballonnements) (**Guarner et al., 2008**) ;
- le yaourt est une bonne source de calcium et d'autres minéraux comme le magnésium, le potassium et le zinc, il contient également peu de sodium (**Butriss, 1997**) ;
- un pot de yaourt nature possède la même valeur nutritive qu'un verre de lait (**Jeanet et al., 2008**).

- il est une excellente source de protéines de bonne qualité, entraînant une plus grande suppression de l'appétit (**Shah et Champagne, 2016**).
- il diminue la durée de certains types de diarrhées, en particulier chez l'enfant ; ses ferments régularisent l'activité intestinale et tendent à rétablir un équilibre bactérien favorable à la normalisation du tube digestif (**Boudraa et al., 1990**).
- le yaourt offre d'autres avantages pour la santé tels que le renforcement du système immunitaire, la prévention du cancer, et la prévention de l'ostéoporose (**C.Senaka, 2012**). Il permet l'augmentation de la production d'interférons et d'immunoglobulines, ainsi que la stimulation de l'activité des lymphocytes « B ». cet effet est attribué au *Lactobacillus bulgaricus* (**Jeanet et al.,2008**). Les bactéries modifient les enzymes bactériennes à l'origine de carcinogène (indicateur du cancer) dans le tube digestif, inhibant ainsi la formation des substances précancéreuses (**Jeanet et al.,2008**).

## 5. Bactéries spécifiques du yaourt

Les bactéries lactiques du yaourt sont caractérisées par leur aptitude à fermenter les glucides en produisant de l'acide lactique. Elles regroupent un ensemble d'espèces hétérogènes dont le trait commun est la production d'acide lactique (**Sawadogo et Traore, 2011**).

Deux bactéries sont nécessaires pour pouvoir appeler un lait fermenté un yaourt, ce sont *Lactobacillus delbureckii subsp bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* dont le rôle principal est d'abaisser le pH du lait au point isoélectrique de la caséine (pH=4,6) de façon à former un gel (**FAO, 1995**).

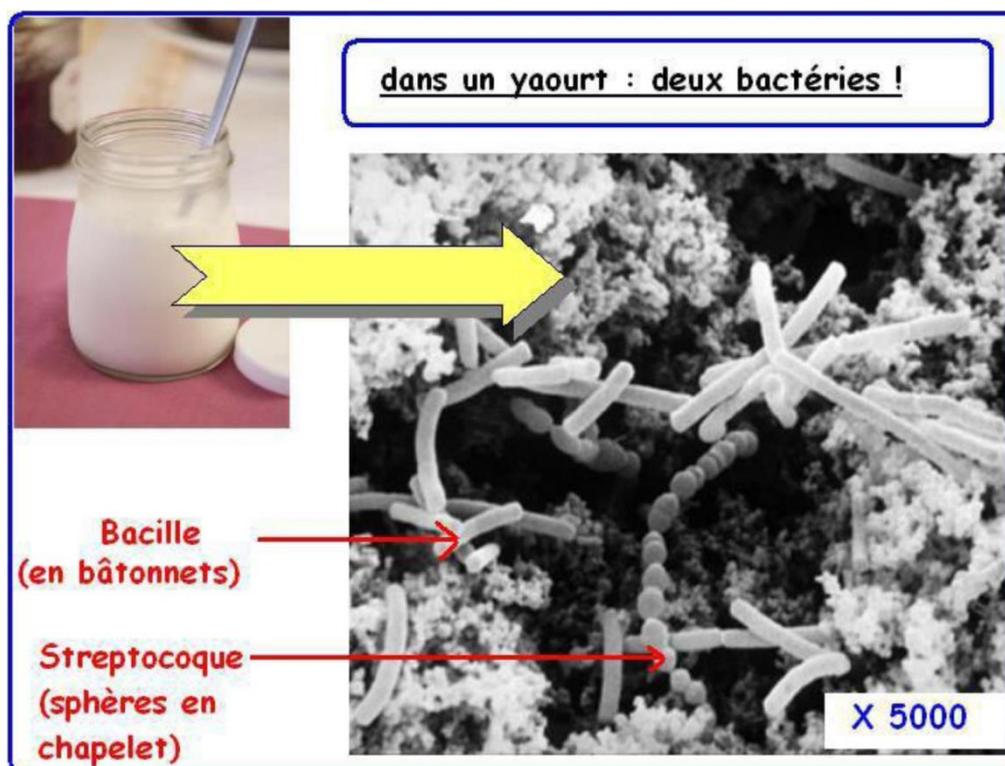
### *Streptococcus thrmophilus*

*Streptococcus thermophilus* est une cocci à Gram positif, anaérobie facultatif et non mobile (**Roussel et al., 1994**) (figure 1). Elle est thermorésistante, sensible au bleu de méthylène (0,1%) et aux antibiotiques, elle est aussi résistante au chauffage à 60°C pendant 30 minutes. Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C et son métabolisme est du type homofermentaire (**Lamoureux, 2000**).

Le rôle principal de cette bactérie est la fermentation du lactose du lait en acide lactique, en plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture du yaourt (**Bergamaier, 2002**).

***Lactobacillus bulgaricus***

*Lactobacillus bulgaricus* est un bacille Gram positif, immobile et possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit final. *Lactobacillus bulgaricus* est une bactérie thermophile et sa température optimale de croissance est d'environ de 42°C (figure 1). Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptique et hygiénique du yaourt (Marty-Teyssset et al., 2002).



**Figure 1** : Observation microscopique électronique à balayage (x 5000) des ferments lactiques en association dans un yaourt (Guichard et al., 2012).

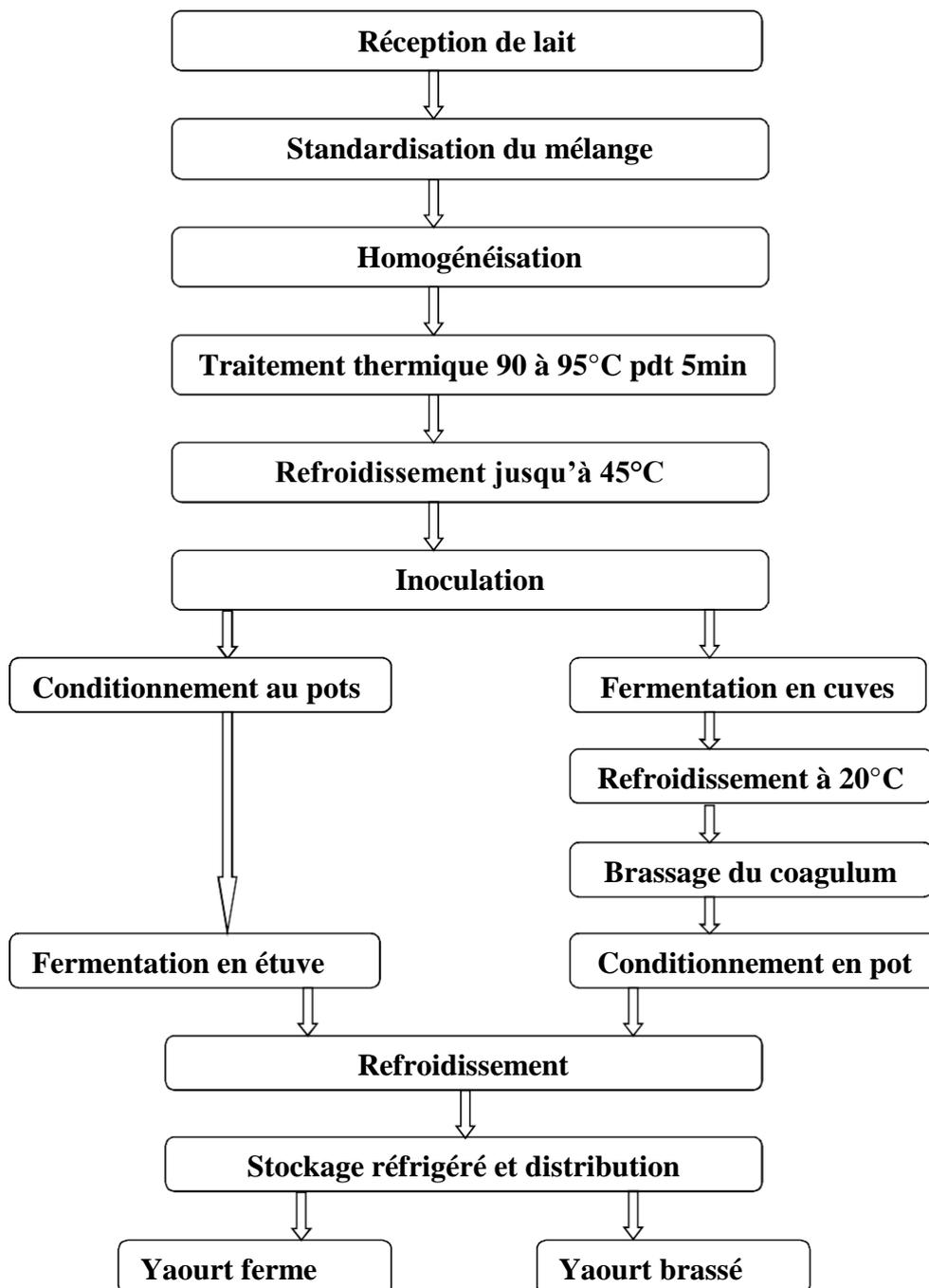
**Synergie des deux bactéries du yaourt**

Les deux bactéries lactiques, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, vivent en symbiose étroite, en culture associée (culture mixte), dans laquelle l'interaction est souvent positive. Cette interaction est appelée « proto-coopération » car elle est indispensable à la survie des deux ferments. En effet, la production d'acide formique, d'acide pyruvique et du CO<sub>2</sub> par *streptococcus thermophilus* favorise la croissance de *Lactobacillus bulgaricus*, en augmentant ainsi son activité protéolytique. Par contre, *Lactobacillus bulgaricus* produit des peptides et des acides aminés qui stimulent la croissance de *streptococcus thermophilus* (Béal

et Sodini, 2003). Ces deux bactéries produisent davantage de l'acide lactique que lorsqu'elles sont cultivées seules (culture pure) (Veisseyre, 1975).

## 6. Processus de fabrication du yaourt

Le procédé de fabrication diffère d'un type de yaourt à un autre, et les principales étapes sont illustrées dans le diagramme de la figure 2.



**Figure 2 :** Diagramme général de fabrication du yaourt ferme et du yaourt brassé (Beal et al., 2008).

## 7. Différents types de yaourt

Il existe plusieurs types de yaourt qui diffèrent par leur composition chimique, leur technologie de fabrication ainsi que leur saveur. Le tableau II résume les différentes catégories de yaourt.

**Tableau II : Différents types du yaourt et leurs caractéristiques (Vignola, 2002).**

Différents types	Caractéristiques
<b>a) Selon la teneur en matière grasse</b>	
<b>Yaourt entier</b>	MG minimum 3%
<b>Yaourt partiellement écrémé</b>	MG moins de 3% et plus de 0,5%
<b>Yaourt écrémé</b>	MG maximale 0,5%
<b>b) Selon la technologie de fabrication</b>	
<b>Yaourt étuvé ou ferme</b>	Ce sont des yaourts nature ou aromatisés, qui ont une texture ferme à surface lisse incubé et refroidi en pot.
<b>Yaourt brassé</b>	Il présente une texture presque fluide. Amené à une consistance crémeuse après coagulation, incubé en cuve et refroidi avant le conditionnement.
<b>Yaourt à boire</b>	Similaire au type brassé mais dont le coagulum est réduit à l'état liquide avant conditionnement.
<b>c) Selon les additifs alimentaires</b>	
<b>Yaourt aromatisé</b>	Addition d'arôme.
<b>Yaourt fruité</b>	Addition de fruits.
<b>Yaourt light</b>	Addition d'édulcorant sans sucre.

MG : Matière Grasse

Chapitre 2 :  
Innovation et yaourts  
enrichis

---

## Chapitre II : Innovation et yaourts enrichis

### 1. Introduction

Toutes les entreprises agroalimentaires innoveront et deux sur trois innoveront en permanence. Plus de 3000 innovations de produit sont mises sur le marché chaque année, et la moitié des produits trouvés dans un supermarché aujourd'hui n'existait pas il y a cinq ans. Ces innovations constituent un des moteurs du développement des industries agro-alimentaires. C'est par elles que les firmes peuvent s'ouvrir de nouveaux marchés, développer des produits différents des concurrents, et ainsi disposer, le plus souvent temporairement, de 'rentes' d'innovation (Agreste, 2011). D'après Food drink Europe, si le plaisir est le principal axe d'innovation alimentaire, la santé et la praticité sont aussi des moteurs importants de l'innovation avec respectivement 20 et 16 % des innovations (Arts et al., 2011).

Le marché du yaourt est au premier rang de l'alimentaire. La prise de conscience croissante des bienfaits du yaourt pour la santé, l'innovation des produits et la disponibilité de différentes saveurs et sortes de yaourts ont contribué de manière significative à l'augmentation de la consommation de yaourts au cours des dernières décennies (Chandan et al., 2017).

Le yaourt avec des antioxydants ajoutés de sources naturelles fait son apparition et semble être un format alimentaire pratique pour satisfaire l'intérêt des consommateurs. C'est pourquoi plusieurs tentatives de production de yaourts enrichis d'antioxydants naturels ont été entreprises (Chouchouli et al., 2013).

### 2. Yaourts aux fruits

Les additifs sont généralement ajoutés au moment ou juste avant le remplissage des pots de yaourt. Les additifs les plus courants sont les fruits ou les baies, généralement sous forme de purée ou de fruits entiers dans un sirop. Ces additifs contiennent souvent jusqu'à 50 % de sucre, mais avec la tendance à une alimentation saine qui se développe, de nombreux fabricants proposent une gamme de produits à faible teneur en sucre et en matières grasses. Les yaourts à faible teneur en sucre ou sans sucre sont souvent sucrés avec de la saccharine ou, plus communément, de l'aspartame (Aswal et al., 2012).

### 2.1. Fruits ajoutés

Les fruits sont ajoutés pour améliorer les propriétés organoleptiques du yaourt. Dans le yaourt brassé, les fruits sont ajoutés après la fermentation et dans les yaourts fermentés, ils sont ajoutés avant la fermentation (**Dhineshkumar et Ramasamy, 2016**).

Les fruits sont considérés comme une excellente source d'antioxydants et de fibres prébiotiques (**Fernandez et Marette, 2017**). La consommation de fruits et de yaourt en combinaison a le potentiel de fournir une valeur nutritionnelle et physiologique supplémentaire qui entraîne un effet synergique sur la santé (**Rybka et Kailasapathy, 1995**).

Parmi les fruits ajoutés aux yaourts : compote ou purées, coulis de fruits rouges ou de fruits de la passion, petites baies ou fruits de saison coupés en morceaux, fruits séchés (raisins, abricots, dattes, figues, canneberges, etc.), et des fruits secs concassés (noix, amande, noisettes, pecan, pistaches, etc.) (**Anonyme 2**).

#### Yaourt probiotique enrichi en fibres de fruits de la passion

La fibre du fruit de la passion est un ingrédient neutre pour la conception de nouveaux yaourts à valeur ajoutée. La viscosité apparente était nettement plus élevée dans les yaourts à fibres co-fermentés par les lactobacilles en fin de conservation au froid. Dans les yaourts aux fibres de fruits de la passion, le gel de caséine était plus compact et recouvrait la fibre, tandis que les filaments d'exo-polysaccharides étaient plus fréquents dans les yaourts témoins. L'apparence, l'odeur et la couleur des yaourts aux fibres de fruits de la passion ont été jugées "bonnes", et l'intensité de la saveur du fruit de la passion a été jugée faible par les évaluateurs sensoriels (**Espírito-Santo et al., 2012**).

### 3. Yaourts aux légumes

Experts de l'alimentation, blogueurs et distributeurs internationaux s'accordent tous pour envisager une place de choix aux yaourts aux légumes en 2017. La tendance a tout pour attirer : mixer fruits et légumes, ajouter du lait et déguster un produit sain, riche en fibres et pauvre en matières grasses. L'un des avantages de ces produits serait notamment de pouvoir faire consommer davantage de légumes aux enfants, dans les cantines scolaires par exemple (**Maréchel, 2017**).

### 3.1. Légumes ajoutés

Les yaourts de légumes sont élaborés à partir des associations de légumes et d'autres végétaux comme les fruits et les plantes aromatiques. Parmi ces associations : petits pois et menthe, panais et amande, betterave et framboise, tomates et fraises, carotte et yuzu, etc. Ces yaourts présentent une texture lisse et sans morceau. D'autres associations inédites ont été également créées comme l'association entre l'oignon de Roscoff et cassis (**Maréchal, 2017**).

### 3.2. Amélioration de la consistance du yaourt par l'ajout de certains polysaccharides végétaux

Six polysaccharides végétaux (PS) extraits de gombo (*Hibiscus esculents*), de guimauve (*Corchorus olitorius*) et de taro corm (*Arum colocasia*) sont ajoutés au yaourt pour améliorer sa consistance (figure 3). Le yaourt ainsi obtenu a été analysé organoleptiquement (aspect, texture et saveur) et chimiquement après sa production et pendant sa conservation (0, 3, 5 et 7 jours) à  $5 \pm 1$  °C. Les résultats obtenus ont montré qu'il était possible de produire un yaourt ayant une bonne apparence, une texture et un goût satisfaisants en utilisant des PS extraits du taro à une concentration de 0,3 %, du gombo à une concentration de 0,1 % et de la guimauve à une concentration de 0,1 % (**Hussein et al., 2011**).



**Figure 3** : Photographies des plantes (a : ombo (**Fourtnet 2002**), b : guimauve (**Micha et al., 2007**), taro corm (**Umberto, 2016**)).

## 4. Yaourts enrichis avec d'autres végétaux

### 4.1. Pulpe d'açaï

L'açaï (*Euterpe oleracea*) est une espèce de palmier originaire d'Amérique du sud. La baie d'açaï est le petit fruit tropical de couleur violette poussant sur un palmier, vendue à un prix exorbitant pour sa richesse en antioxydants (Alexander, 2019) (figure 4).

Une étude a démontré que l'ajout de pulpe d'açaï augmentait la teneur en acides gras mono-insaturés et poly-insaturés dans le yaourt probiotique et améliorait la production d'acides  $\alpha$ -linoléique et linoléique conjugués pendant la fermentation du lait écrémé préparé avec les souches B104 et B94 de *Bifidobacterium. Animalis subsp. lactis* (Espírito Santo et al., 2010).



Figure 4: Photographie de la baie d'açaï (Alexander, 2019).

### 4.2. Yaourts aux céréales

Les céréales sont considérées par certains auteurs comme la principale source alimentaire mondiale, car elles contribuent à 50 % de l'apport en calories (FAO, 1995 ; Kearney, 2010).

Certains yaourts contiennent des pétales de céréales qui se versent directement dans le yaourt. La praticité est le point fort de ce produit pour prendre son petit-déjeuner sur le pouce (Alloucherie et al., 2017).

#### 4.2.1. Flocons d'avoine

Les flocons d'avoine (*kaer en estonien, herkkula en finnois*) désignent l'avoine vannée, puis passée à la chaleur sèche ; ensuite retiré sa barbe avant de l'aplatir sous une presse. Ces flocons crus sont consommés dans du yaourt, du lait ou du kefir (Lesage, 2015).

L'avoine contient une quantité importante d'acides aminés. Ainsi, elle possède une action dépurative pour l'organisme car elle favorise l'élimination des toxines. Cette céréale est riche en fibres solubles, ce qui permet l'amélioration de la digestion ; elle contient aussi de la bêta-glucane qui aide à normaliser la glycémie et le cholestérol sanguin (anonyme 3).

#### 4.2.2. Yaourts mélangés aux farines

Une farine consommée crue appelée *kama* en estonien et en *seto* et *talkkuna* en finnois est trouvée chez les peuples fenniques. Il s'agit d'un mélange de quatre farines : l'orge, le seigle, l'avoine et les pois grillés. Cette farine est consommée en la mélangeant à une spécialité laitière : lait caillé, yaourt, kefir, fromage blanc, lait frais et rokka (boisson à base de farine, le plus souvent de seigle) (Lesage, 2015).

#### 4.3. Yaourts au soja

La richesse en protéines, l'absence de lactose et le faible apport en acides gras saturés font du soja une alternative crédible aux protéines animales avec une bonne qualité nutritionnelle et des impacts environnementaux limités. Les yaourts au soja sont les produits à base de soja les plus fréquemment consommés (Chevalier et al., 2016). La consommation de yaourts au soja représente plus de la moitié de la consommation totale de yaourts pour seulement moins de 20% des ménages (Bouamra-Mechemache et al., 2019).

#### 4.4. Yaourts enrichis pour réduire le cholestérol

Certaines firmes ont mis au point des yaourts enrichis en stérols végétaux qui permettent de réduire le cholestérol (Alloucherie et al., 2017 ; Marette et al., 2010).

Le taux élevé de cholestérol dans le plasma est souvent associé à l'apparition de maladies cardio-vasculaires. Il a été rapporté que le taux de cholestérol sérique diminue suite à la consommation de produits laitiers fermentés, malgré un apport alimentaire important en cholestérol (Jeantet et al., 2008).

Les bactéries du yaourt ont la capacité d'assimiler le cholestérol (Dilmi-Bouras, 2006). Un certain nombre d'études ont montré que la consommation de yaourt a un effet hypocholestérolémiant. Cet effet qui n'est pas totalement élucidé, serait dû à une synergie entre des composés du lait et un métabolite bactérien (Jeantet et al., 2008).

Chapitre 3 :  
Généralités sur les  
antioxydants

---

## Chapitre III: Généralités sur les antioxydants

### 1. Définition de l'oxydation

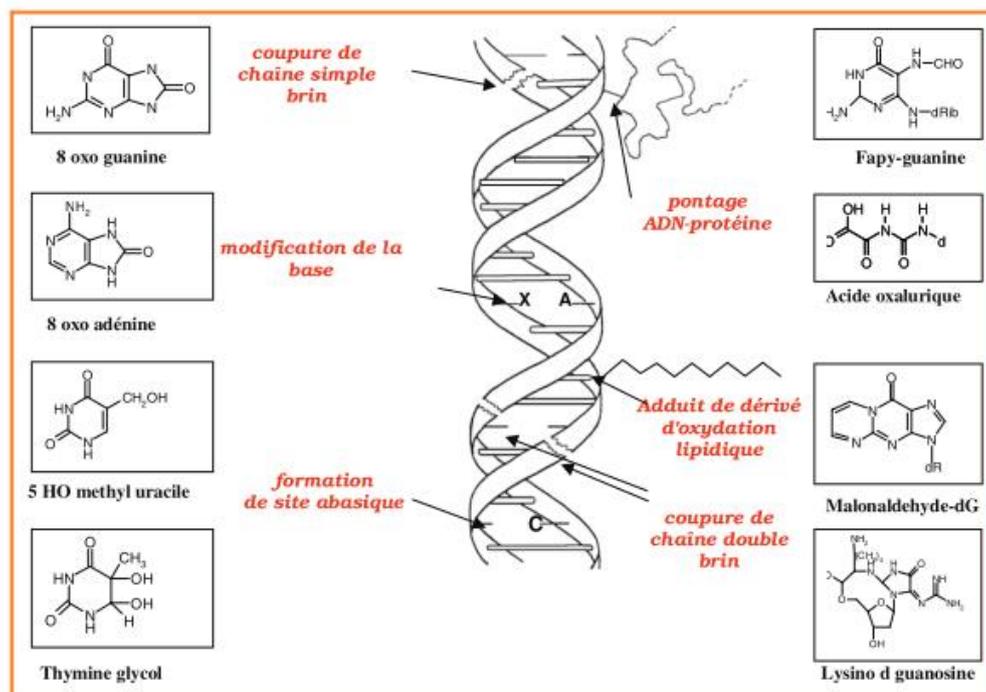
L'oxydation est un phénomène complexe qui se traduit par le rancissement des graisses, la rouille des métaux et la flétrissure des fruits et légumes (Judde, 2004 ; Rolland, 2004). Elle modifie le goût et la couleur des aliments (Yohan, 2004).

L'organisme subit également le phénomène d'oxydation, mais il est équipé d'un énorme système de défense pour lutter contre les altérations causées par ce phénomène. Mais ce système de défense est parfois débordé, surtout quand il est exposé à certaines conditions comme le stress, la fumée du tabac, la pollution, l'effort physique intense, etc. (Yohan, 2004).

L'oxydation est générée par des radicaux libres, espèces chimiques neutres ou chargées instables qui ne cherchent qu'à récupérer un électron dans leur environnement pour retrouver un état plus stable. Ces deux propriétés font que les réactions d'oxydation sont très rapides et se propagent en cascade. Les espèces moléculaires cibles de l'oxydation sont avant tous les corps gras comme les phospholipides des membranes cellulaires, mais aussi les protéines. Dans le cas des enzymes, l'oxydation entraîne une modification ou une perte de l'activité biologique de la molécule, ce qui provoque des désorganisations cellulaires parfois irréversibles entraînant la mort de la cellule. Il en est de même quand l'oxydation touche l'ADN (Yohan, 2004) (figure 5). Ces désorganisations peuvent mener aux maladies dégénératives (Miller et al., 2000).

### 2. Définition d'un antioxydant

Un antioxydant est une substance qui inhibe ou retarde significativement l'oxydation d'un substrat (Berger, 2006 ; Tachakittirungrod et al., 2007). Il capte les radicaux libres et les rend inoffensifs en interagissant directement avec les composés réactifs de l'oxygène (Fu et al., 2014 ; Léophonte, 2006), complexe les ions métalliques pro-oxydants et empêche la formation de l'oxygène singulet (Amarowicz et al., 2004 ; Fu et al., 2014).



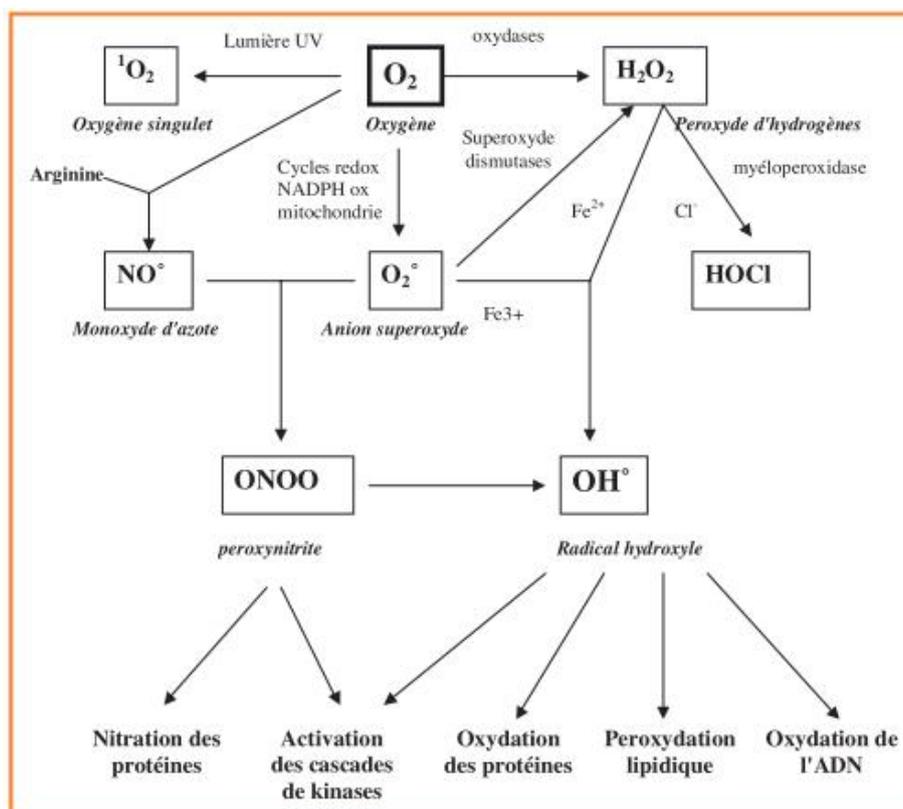
**Figure 5:** Lésions de l'ADN formées par attaque radicalaire du patrimoine génétique des cellules (Favier, 2003).

### 3. Radicaux libres

Un radical libre est une molécule indépendante contenant un ou plusieurs électrons non appariés (Cadenas et Packer, 2002). Ces électrons offrent une très grande réactivité chimique aux radicaux libres (Poortsmann et Boisseau, 2003). Ces espèces chimiques instables cherchent à récupérer un électron dans leur environnement pour retrouver un état plus stable (Rolland, 2004).

### 4. Espèces réactives de l'oxygène

Les radicaux libres issus de la réduction monovalente de l'oxygène constituent les espèces réactives de l'oxygène (ERO). Ces dernières sont des molécules contenant de l'oxygène dont la réactivité est supérieure à celle de la molécule de dioxygène ( $O_2$ ) (Fontaine et al., 2002; Morel et Barouki, 1999). Les ERO comprennent des espèces radicalaires telles que le superoxyde ( $O_2^{\dot{O}}$ ), l'hydroxyle ( $OH^{\dot{O}}$ ), l'oxyde nitrique ( $NO^{\dot{O}}$ ), et des espèces non radicalaires comme le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ), l'oxygène singulet ( $^1O_2$ ) et le nitroperoxyde ( $ONOOH$ ) (Amarowicz et al., 2004 ; Tachakittirungrod et al., 2007) (figure 6).



**Figure 6:** Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqués en biologie (Favier, 2003).

### 5. Mécanisme de l'oxydation

L'oxydation est initiée par la lumière, la chaleur, ou les traces de métaux lourds ( $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$ ). Les réactions radicalaires sont d'autant plus destructrices qu'elles se propagent en chaîne (Manach *et al.*, 2004). Elle se fait en en trois phases simultanées :

- **Initiation** : cette phase conduit à la formation d'espèces très réactives : ROOH et  $\text{R}^\bullet$ . L'oxygène n'oxyde pas directement les molécules. De même, l'oxygène triplet, stable, peut être activé en oxygène singulet, réactif, par l'intermédiaire d'un photosensibilisateur.
- **Propagation** : destruction des hydro peroxydes et apparition des composés responsables des goûts et odeur de rance. La liaison O-O dans un hydro peroxyde est faible et peut être facilement rompue. Les deux dernières réactions sont en boucles, ce qui explique que des traces de ions métalliques suffisent à générer une grande quantité de radicaux libres. Les espèces radicalaires produites par les premières réactions sont hautement réactives et vont à leur tour arracher un hydrogène à une autre molécule ou réagir avec un oxygène triplet.

- **Terminaison:** il y aura l'apparition de nouvelles espèces moléculaires anarchiques. La chaîne de propagation peut s'arrêter par la formation de polymères ou au contact avec un autre radical. Les molécules créées n'ont plus de fonction biologique (Anonyme 5).

## 6. Système antioxydant

L'organisme humain est équipé de systèmes de défense antioxydants très complexes, enzymatique et non enzymatique localisé dans les compartiments intra- et extracellulaires (Amarowicz *et al.*, 2004 ; Berger, 2006 ; Berké *et al.*, 2003).

### 6.1. Système antioxydant enzymatique

L'organisme se défend contre les radicaux libres en synthétisant des enzymes qui les neutralisent. Les principales enzymes antioxydantes sont la superoxyde dismutase, la glutathion peroxydase et la catalase (Li *et al.*, 2009 ; Vincent *et al.*, 2004).

### 6.2. Système antioxydant non enzymatique

Le système antioxydant non enzymatique fait appel à des molécules non enzymatiques telles que les vitamines antioxydantes (vitamine C et vitamine E), les caroténoïdes et les composés phénoliques (Samarth *et al.*, 2008).

#### 6.2.1. Vitamine E

La vitamine E (  $\alpha$ -tocophérol) neutralise les radicaux libres et stoppe la chaîne de réactions de peroxydation des lipides. Elle devient par la suite un radical moins réactif (Ré *et al.*, 2005).

#### 6.2.2. Vitamine C

La vitamine C ou l'ascorbate agit principalement en piégeant directement les ERO ou en régénérant la vitamine E (Ré *et al.*, 2005). Elle peut prendre une forme réduite ou oxydée. Le passage de l'une à l'autre se fait par l'intermédiaire d'un radical libre, le radical ascorbyle, et en présence de glutathion/glutathion réductase. Elle forme donc un couple redox avec une forme intermédiaire radicalaire capable de capter l'oxygène singulet et certaines espèces radicalaires (Rios-Evans *et al.*, 1997).

### 6.2.3. Caroténoïdes

Les caroténoïdes font partie des micronutriments qui participent aux défenses de l'organisme contre les espèces oxygénées (**Barizão et al., 2016**). Ils réagissent avec l'oxygène singulet, les radicaux peroxy et alkoxy en les capturant (**Bossokpi, 2003**).

### 6.2.4. Composés phénoliques

Plusieurs études ont montré que les composés phénoliques présentent une activité antioxydante plus élevée que celle des vitamines antioxydantes et des caroténoïdes (**Podsedek, 2005**). L'activité antioxydante de ces composés est principalement due à leurs propriétés redox, qui leur permettent d'agir comme des agents réducteurs ou des donneurs d'atomes d'hydrogène (**Amarowicz et al., 2004 ; Duthie et al., 2003**).

Dans l'industrie alimentaire, les polyphénols présentent un grand intérêt car ils ont la capacité de retarder la dégradation oxydative de lipides et d'améliorer ainsi la qualité et la valeur nutritionnelle des aliments (**Amarowicz et al., 2004 ; Mathew et Abraham, 2006**).

## 7. Différents types d'antioxydants utilisés en agro-alimentaire

L'antioxydant alimentaire idéal doit être efficace à faible dose, non toxique, n'entraîne ni coloration, ni odeur, ni saveur indésirable, résistant aux processus technologiques, et stable dans le produit fini (**Hellal, 2011**).

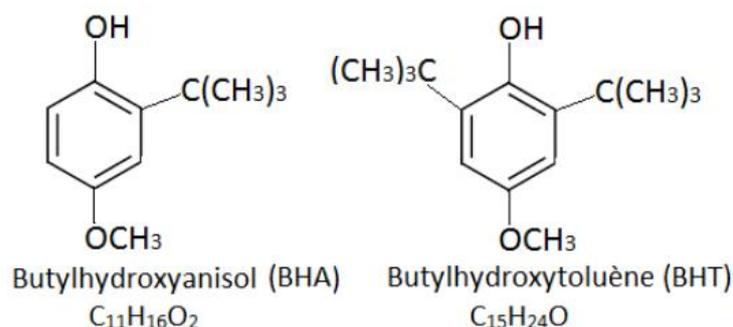
Ces antioxydants sont classés en trois catégories différentes (**Bouhadjra, 2011**) :

- Les antioxydants synthétiques
- Les antioxydants synergiques
- Les antioxydants d'origine végétale

### 7.1. Antioxydants synthétiques

Parmi les antioxydants de synthèse qui sont autorisés dans certains aliments: le BHT 321 (3,5-ditertiobutyl-4-hydroxytoluène) et le BHA 320 (3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole) (figure 7). Ils sont solubles dans les lipides et résistent bien à la chaleur. Ils ont une action synergique, et ils présentent l'inconvénient d'avoir une odeur désagréable et s'évaporent rapidement. Le TBHQ (tertiobutyl-hydroxyquinone) est moins soluble dans les graisses et le PG (gallate de propyle) a l'avantage d'être relativement soluble dans l'eau, mais l'inconvénient d'être peu soluble dans les lipides, peu résistant à la chaleur, et de donner avec le fer des sels de couleur foncée. Le nitrite présente des propriétés antioxydantes, il peut aussi

former des nitrosamines cancérigènes. Les chélateurs de métaux utilisés et plus efficaces sont les polyphosphates et les dérivés d'acide citrique (**Bouhadjra, 2011**).



**Figure 7:** Structure chimique de deux antioxydants de synthèse : la BHA et la BHT (**Anonyme 6**).

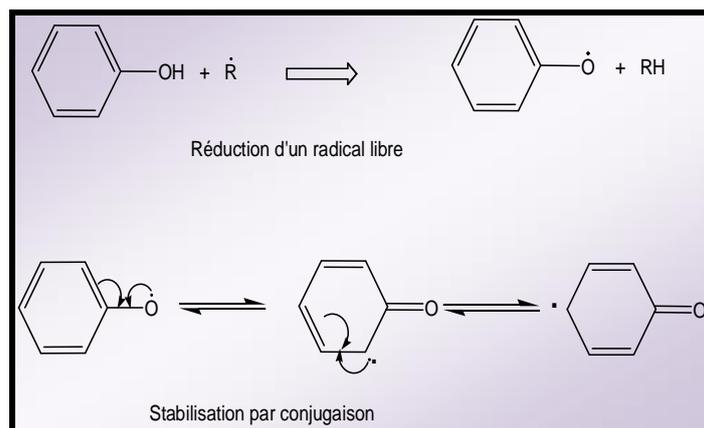
### 7.2. Antioxydants synergiques

Ce sont des molécules qui améliorent l'action de certains antioxydants, ce qui se traduit souvent par un accroissement de la période de protection. Parmi eux se trouvent : les acides lactique, tartrique et ortho phosphorique, et leurs sels de sodium, potassium ou calcium. Leurs propriétés peuvent s'expliquer par un effet chélatant de métaux comme le fer ou le cuivre, dont on connaît bien l'effet pro-oxydant à faible dose. Cependant, ce n'est peut-être pas la seule explication, car plusieurs de ces produits sont d'assez mauvais chélatants (**Hellal, 2011**).

### 7.3. Antioxydants d'origine végétale

Les plantes constituent des sources très importantes d'antioxydants (**Hellal, 2011**). Ces derniers se trouvent principalement dans les grains entiers, les fruits et les légumes. Parmi ces antioxydants naturels : la vitamine C, la vitamine E, les caroténoïdes, les acides phénoliques, le phytate et les phytoestrogènes (**Miller et al., 2000**) (figure 8).

Les antioxydants naturels dont l'efficacité est la plus reconnue aussi bien dans l'industrie agroalimentaire que pour la santé humaine sont : les tocophérols, les caroténoïdes et les polyphénols (**Hellal, 2011**).



**Figure 8:** Propriété réductrice d'un phénol (Rolland, 2004).

Chapitre 4:  
contrôle de qualité du  
yaourt

---

## Chapitre IV: Contrôle de qualité du yaourt

Le contrôle de qualité du yaourt a objectif de déterminer la qualité du yaourt par le suivie de ses paramètres physico-chimiques et microbiologiques au cours du procédé de fabrication pour avoir un produit fini conforme aux normes de qualité. De plus, des analyses sensorielles sont réalisées en vue de déterminer l'appréciation du produit par les consommateurs.

L'ensemble de ces analyses concernent la masse blanche du yaourt, ainsi que le produit fini c'est-à-dire le yaourt enrichi. Pour ce dernier, il est important de faire des analyses phytochimiques pour déterminer la teneur en antioxydants présents dans le yaourt, ainsi que son activité antioxydante.

### 1. Analyses physico-chimiques du yaourt

Afin d'éviter toutes anomalies ou dysfonctionnement, le laboratoire de contrôle de qualité de l'unité de production est appelé à effectuer des analyses physico-chimiques. Ces dernières sont réalisées afin de garantir les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques du produit (Scriban, 1999).

#### 1.1. Mesure du pH

##### 1.1.1. Définition du pH

Le pH d'une solution est le cologarithme décimal de l'activité de la solution en ions hydrogène ; il s'exprime en unités de pH (OIV-MA-BS-13 : R2009). Il est en relation étroite avec la concentration des ions hydrogène ( $H^+$ ) et hydroxyde ( $OH^-$ ) présents dans une solution. Ces ions confèrent au milieu son caractère acide ou basique (Amiot et Britten, 2002).

##### 1.1.2. Principe

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. En effet, d'après les lois de NERNST, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions  $H^+$  présents par la relation suivante:

$$H = k + RT \text{Loa} (H^+) F$$

Où :

**R** : Constante des gaz (Joules/degrés)

**T** : Température absolue (°K) ;

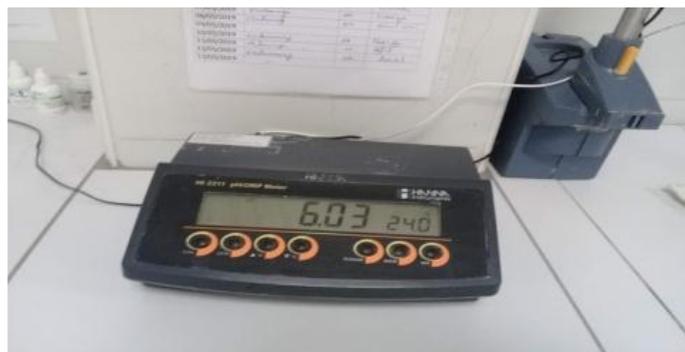
**F** : Symbole du Faraday (96 500 coulombs) ;

**(H+)** : est l'activité des ions H+ ;

**K** : Constante dépendant de la nature du verre de l'électrode et du dispositif de mesure (**OIV-MA-BS-13 : R2009**).

### 1.1.3. Mode opératoire

La sonde du pH-mètre, préalablement étalonnée, est directement introduite dans l'échantillon. La valeur du pH de l'échantillon est obtenue par simple lecture sur l'écran de l'appareil (**AFNOR, 1986**) (figure 9).



**Figure 9:** Photographie d'un pH mètre.

## 1.2. Mesure de l'acidité Dornic

### 1.2.1. Définition

L'acidité Dornic correspond à la quantité d'acide lactique contenu dans le yaourt (**Luquet, 1985**). En effet, les souches lactiques présentent la faculté de fermenter les carbohydrates du lait notamment le lactose pour produire des acides, particulièrement l'acide lactique, ce qui acidifie le milieu et abaisse son pH (**Alais, 1984**).

### 1.2.2. Principe

Il s'agit d'un titrage acido-basique, l'acide lactique est neutralisé par une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (N/9) en présence de phénolphaléine comme indicateur coloré (**Bordjah 2011**).

### 1.2.3. Mode opératoire

Une quantité de 10g de l'échantillon à analyser est additionnée de 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine, puis titrée par une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH à 1N) jusqu'à pH=8,30. Le volume de la solution de NaOH utilisé est noté (**Manuel de la laiterie SOUMMAM**).

Les résultats sont exprimés comme suit :

$$\text{Acidité} = V \times 0,9 \times 10^{\circ D}$$

Où :

V : Volume de la chute de burette (mL)

$10^{\circ D} = 0,1 \text{ g d'acide lactique}$

0,9 : Facteur de conversion pour l'acide lactique

## 1.3. Détermination de l'extrait sec total

### 1.3.1. Définition

L'extrait sec total ou matières sèches totales est l'ensemble de toutes les substances qui, dans des conditions physiques déterminées, ne se volatilisent pas (**OIV-MA-BS-09**).

### 1.3.2. Principe

La matière sèche d'un aliment est le produit résultant de la dessiccation par évaporation d'une certaine quantité de cet aliment (**AFNOR, 1985**) (figure 10).



**Figure 10:** Photographie d'un dessiccateur.

### 1.3.3. Mode opératoire

Une quantité de deux grammes de yaourt bien mélangé est étalée sur la surface de la coupelle tout en respectant la symétrie de l'étalement, puis la coupelle est placée dans le dessiccateur. A la fin de l'analyse, le résultat sera affiché directement sur l'appareil (dessiccateur) et exprimé en pourcentage (**Manuel de la laiterie SOUMMAM**).

## **1.4. Détermination de la matière grasse (méthode acido-butyrométrique)**

### **1.4.1. Définition**

La méthode acido-butyrométrique est une technique conventionnelle qui donne une teneur en matière grasse exprimée en grammes pour 100 g/ou 100 mL de lait lorsqu'elle est appliquée à un lait entier de teneur en matière grasse moyenne et de masse volumique moyenne à 20 °C (27 °C dans les pays tropicaux) (**AFNOR, 1985**).

### **1.4.2. Principe**

La détermination de la teneur en matière grasse consiste tout d'abord à digérer les protéines par l'acide sulfurique, suivie de la séparation de la matière grasse du produit contenu dans un butyromètre par centrifugation. La séparation est favorisée par l'addition d'une petite quantité d'alcool isoamylique (**Bordjah 2011**).

### **1.4.3. Mode opératoire**

Dans un butyromètre, 10 mL d'acide sulfurique et 11 mL du produit homogénéisé sont introduits. 1 mL d'alcool iso-amylique est ajouté sans mouiller le col du butyromètre et en évitant de mélanger les liquides. Après fermeture, le butyromètre, est agité avec précaution mais énergiquement et rapidement jusqu'à la disparition des grumeaux. Ensuite, ce mélange est centrifugé à 1000 tours/min pendant 10 minutes et à une température de 65+ 2°C. Après, la teneur en matière grasse est lue directement sur le butyromètre (**Manuel de la laiterie SOUMMAM**).

## **1.5. Détermination du Brix**

### **1.5.1. Définition**

Le Brix est la mesure des matières solides du sucre dans une solution liquide. Elle est généralement utilisée pour déterminer la teneur en sucre dans les boissons gazeuses et le vin (**Bordjah 2011**).

### **1.5.2. Principe**

Le degré Brix, également appelé indice réfractométrique, est basé sur la réfraction de la lumière; les réfractomètres donnent par simple lecture, l'extrait sec soluble d'un liquide sucré à une température déterminée (**Dongare, 2015**) (figure 11).



**Figure 11:** Photographie d'un refractomètre.

### 1.5.3. Mode opératoire

La cuvette du réfractomètre est remplie avec le produit à analyser (le filtrat du yaourt). En appuyant sur la touche START de l'appareil, le résultat Brix s'affiche sur l'écran.

## 1.6. Détermination de la viscosité

### 1.6.1. Définition

La viscosité du yaourt fait partie des critères de qualité de ce dernier, et ce, quelque soit le type (ferme ou brassé). La texture du yaourt est évaluée par la mesure de sa viscosité. La viscosité est définie comme étant la résistance à l'écoulement d'un système soumis à une contrainte tangentielle. Elle est exprimée en **N.S/m<sup>2</sup>, Pa.s** ou **centipoises (10<sup>-3</sup> Pa.s)**.

Celle-ci dépend de 4 paramètres indépendants :

- la nature physico-chimique du produit ;
- la température du produit ;
- la pression ;
- le gradient de vitesse ;
- le temps (**Scher, 2003**).

### 1.6.2. Principe

La viscosité du yaourt représente la dureté, l'adhérence, la cohésion et la résistance à l'écoulement des laits fermentés (**Vasiljevic et al, 2016**).

### 1.6.3. Mode opératoire

L'échantillon se place bien centré au-dessous du géomètre de l'appareil à une température de 10°C. Ce dernier est ensuite introduit à environ 5mm de la surface de l'échantillon. En appuyant sur la touche démarrer, le résultat s'affiche sur l'écran de l'appareil (**Mannuel de la laiterie SOUMMAM**).

## 2. Analyses microbiologiques

La recherche des microorganismes dans tous les produits destinés à l'Homme est obligatoire, car certains d'entre eux pourraient être à l'origine de maladies infectieuses microbiennes, de toxi-infections alimentaires collectives (TIAC), et d'altération de certains produits. Ces microorganismes constituent les paramètres ou les critères microbiologiques à rechercher dans ces produits (Camille, 2014).

Le but des analyses microbiologiques est d'assurer que les différents échantillons analysés sont de bonnes qualités hygiénique et organoleptique. Toutefois, avant de procéder à ces analyses, il faut passer par l'étape de préparation.

### 2.1. Préparation de la solution mère

Dans un flacon de 250 mL stérilisé, 25 mL de yaourt et 225 mL de diluant Ringer (eau physiologique) ont été versés. Toutefois, il faut noter que pour la recherche des salmonelles, le diluant utilisé est l'eau peptonnée.

### 2.2. Préparation des dilutions décimales

Dans un tube à essai contenant 9 mL d'eau physiologique, 1 mL de la solution mère est versé pour avoir la dilution  $10^{-1}$ . Ensuite, 1 mL de cette dernière est mélangé avec 9 mL d'eau physiologique pour obtenir la dilution  $10^{-2}$ , et ainsi de suite jusqu'à la dilution  $10^{-4}$ .

### 2.3. Germes recherchés

Les germes recherchés dans le yaourt sont : la flore totale, les coliformes totaux et fécaux, les levures et moisissures, *Staphylococcus aureus* et les salmonelles (annexes 1 jusqu'à 6).

De plus, il est important de faire le dénombrement de la flore lactique du yaourt pour suivre l'influence des variations des paramètres physico- chimiques (pH, Acidité) sur le taux de croissance des ferments dans le yaourt.

Le tableau III montre les différentes analyses microbiologiques effectuées sur le yaourt, ainsi que les conditions dans lesquelles ces analyses sont réalisées.

**Tableau III** : Analyse microbiologique du yaourt.

Germes Recherchés	Milieux utilisés	Durée d'incubation	Températures d'incubation (°C)
Flore totale	PCA	24 h	30
Coliformes totaux	VRBL	48 h	37
Coliformes fécaux	VRBL	24 h	44
Levures et moisissures	SABOUROD	3 jours	25
<i>Staphylococcus aureus</i>	GC et Chapman	24 h	37
Salmonelles	SFB et Hektoen	24 à 48 h	37
Flore lactique	M17 et MRS	24 h	37

**GC**: Giolitti Contoni; **MRS** : De Man, Rogosa et Sharpe ; **PCA** : Plate Count Agar; **SFB**: Selenite F. Brouth ; **VRBL** : Milieu lactosé biliée au cristal violet et au rouge neutre.

Le dénombrement sur le milieu liquide se fait selon la table de Mac Grady (annexe 7) tandis que le dénombrement des colonies sur le milieu gélosé se fait selon l'expression suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{V (n_1 + 0,1n_2) d} \times \text{UFC/g}$$

Où,

**Σc**: Somme des colonies comptées sur toutes les boîtes de Pétri de deux dilutions successives et dont l'une contient au moins 15 colonies;

**V**: Volume de l'inoculum appliqué à chaque boîte (mL);

**N1**: Nombre de boîtes de Pétri retenus à la première dilution;

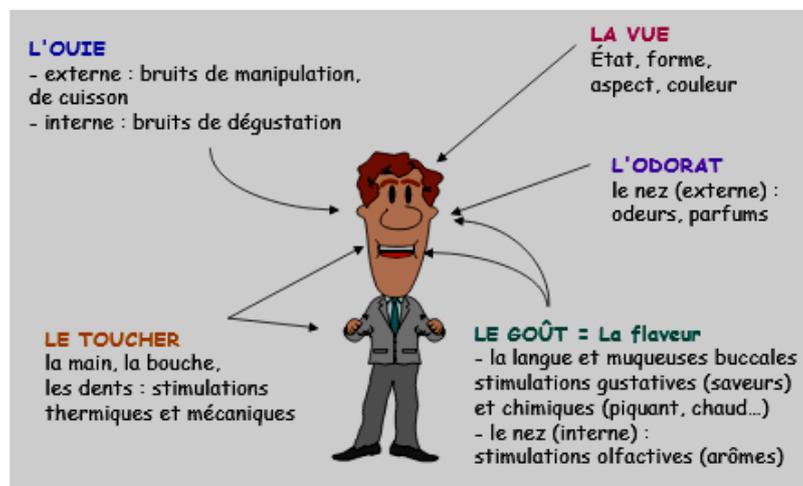
**N2**: Nombre de boîtes de Pétri retenues à la deuxième dilution ;

**d** : Facteur de dilution correspondant à la première dilution retenue.

### 3. Analyses sensorielles du yaourt

Née aux Etats-Unis dans les années 1950, l'analyse sensorielle est un ensemble de techniques permettant de mesurer les perceptions sensorielles provoquées par un produit grâce aux 5 sens humaine (vue, ouïe, odorat, goût, toucher) (figure 12). Le secteur agroalimentaire s'est intéressé très tôt à cette science (**Depledt et al., 2009**).

L'évaluation sensorielle peut être un test de préférence ou un test d'acceptabilité. Le test de préférence consiste à comparer deux ou plusieurs produits pour n'en choisir qu'un ou pour les ordonner selon la préférence du sujet. Alors que le test d'acceptabilité consiste à accorder une note sur une échelle à chacun des produits de l'étude (**Schlich et al. 2010**).



**Figure 12:** Les cinq sens intervenant dans la perception organoleptique d'un produit (**Evrat, 2008**).

En industrie alimentaire, il est d'usage d'ajouter au yaourt des agents stabilisants. Ces derniers ont pour but d'améliorer et de maintenir les caractéristiques désirées du produit fini telles qu'une certaine fermeté, viscosité ou consistance, une texture adéquate et une sensation en bouche agréable.

#### 3.1. Texture

La texture est habituellement définie comme l'ensemble des propriétés mécaniques, géométriques et de surface d'un produit perceptibles par les récepteurs sensoriels (**Michon et al., 2012**).

En ce qui concerne la structure du produit, il faut discerner entre la consistance et la viscosité. La consistance est particulièrement importante pour le yaourt nature non brassé et la viscosité l'est pour le yaourt nature brassé et pour le yaourt aux fruits (**Kurmann, 1967**). La

texture du yaourt est affectée par les solides totaux, les stabilisants et les fruits ajoutés (Shaker *et al.*, 2000).

### 3.2. Saveur

La saveur correspond à la sensation perçue par l'organe gustatif lorsqu'il est stimulé par certaines substances solubles (ISO 5492, 1992).

Le yaourt est caractérisé par une saveur acide due à la présence d'acide lactique. La saveur sucrée est due à la présence du lactose non hydrolysé et du galactose produit au cours de la fermentation. Elle peut être renforcée par l'ajout de saccharose. La saveur amère, considérée indésirable, est due aux peptides amers produits par certains ferments ou à une contamination par des germes protéolytique (Barthélémy 1998).

### 3.3. Apparence

L'observation d'un aliment nous renseigne sur sa forme, sa couleur, son apparence et sa consistance (Toussain, 2003).

## 4. Analyses phytochimiques

Avant de procéder au dosage des antioxydants et leur activité antioxydante, il faut passer par l'étape d'extraction.

### 4.1. Préparation des extraits

Deux extractions différentes ont été réalisées, l'une concerne la matrice végétale et l'autre le yaourt.

Pour la matrice végétale, 1,25 g de chaque échantillon est macéré dans 25 mL d'eau distillée pendant une heure sous agitation magnétique. L'extrait est ensuite filtré à l'aide d'un papier filtre (Soares *et al.*, 2009).

L'extraction des composés phénoliques à partir du yaourt préparé a été réalisée selon la méthode décrite par Zainoldin (2009). Pour ce faire, 2,5 mL d'eau distillée sont ajoutés à 10 g de yaourt. Ce mélange est agité et son pH est ajusté à 4 à l'aide d'une solution d'HCl (1N), puis incubé à 45°C pendant 10 minutes, ensuite centrifugé (6000 tours/min pendant 20 minutes à 4°C). Après centrifugation, le surnageant est récupéré et son pH est ajusté à 7 à l'aide d'une solution de NaOH (1N). Une deuxième centrifugation est réalisée (6000 tours/min pendant 20 minutes à 4°C) et le surnageant récupéré va servir pour effectuer les différents dosages.

## 4.2. Dosage des composés phénoliques totaux

### 4.2.1. Principe

La réaction est basée sur la réduction du mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ) du réactif de Folin-Ciocalteu, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ). La présence de carbonate de sodium rend le milieu légèrement alcalin (**Vermeris et Nicholson, 2008**).

### 4.2.2. Mode opératoire

La teneur en polyphénols totaux des extraits est déterminée par la méthode de **Singleton et Rossi (1965)** en utilisant le réactif de Folin Ciocalteu. 250  $\mu$ L du réactif de Folin Ciocalteu ont été ajoutés à 50  $\mu$ L de chaque extrait. Après agitation, 750  $\mu$ L de carbonate de sodium (7,5%) ont été additionnés et le mélange est ajusté à 5 mL avec de l'eau distillée. Le mélange obtenu est agité, puis laissé à l'obscurité pendant 2 heures. L'absorbance est mesurée à 740 nm.

La teneur en polyphénols totaux est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique. Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g MS).

## 4.3. Dosage des flavonoïdes

### 4.3.1. Principe

Les groupements hydroxydes (OH) des flavonoïdes forment un complexe très stable avec le chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ). Ce complexe jaune absorbe la lumière visible à une longueur d'onde de 430 nm (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

### 4.3.2. Mode opératoire

La teneur en flavonoïdes est déterminée par la méthode de  $AlCl_3$  de **Lamaison et Carnet (1990)** qui est décrite comme suit : 1 mL du chlorure d'aluminium (2%) est ajouté à 1 mL de l'échantillon, le mélange est ensuite incubé à l'obscurité. Après 15 minutes d'incubation, la lecture des absorbances est faite à 430 nm.

La teneur en flavonoïdes des différents extraits est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec de la quercétine. Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent quercétine par gramme de matière sèche (mg EQ/g MS).

Il faut noter que d'autres antioxydants peuvent être déterminés selon la nature de la matrice végétale utilisée. Par exemples, dans le cas d'un yaourt à la betterave, les bétalains sont dosés ; pour le yaourt enrichi en carotte, les caroténoïdes sont dosés.

#### 4.4. Mesure de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des molécules peut être évaluée *in vivo* comme *in vitro*. Pour évaluer l'activité antioxydante, *in vitro*, des extraits de plantes ou de celui du yaourt enrichi, différentes méthodes ont été développées. Ces méthodes impliquent le mélange d'espèces oxydantes, tels que des radicaux libres ou des complexes métalliques oxydés, avec un échantillon qui contient des antioxydants capables de piéger les radicaux libres et réduire les complexes métalliques. Ces antioxydants peuvent agir selon deux mécanismes majeurs, par transfert d'atome d'hydrogène ou par transfert d'électron. Ainsi, compte tenu des différents facteurs impliqués, tels que les propriétés physico-chimiques des molécules, il est recommandé d'utiliser plusieurs tests pour confirmer l'activité antioxydante d'un échantillon testé (Prior et al., 2005). Parmi ces méthodes le test de piégeage des radicaux libres (DPPH<sup>•</sup>, ABTS<sup>•+</sup>, etc.), le pouvoir réducteur, la méthode électrochimique, etc.

Dans ce document, nous allons développer juste deux tests : le test de piégeage du radical libre DPPH<sup>•</sup> et le pouvoir réducteur.

##### 4.4.1. Test de piégeage du radical DPPH<sup>•</sup>

###### 4.4.1.1. Principe

Ce test est basé sur la mesure de l'aptitude d'un antioxydant à exercer un effet scavenger sur le radical libre DPPH<sup>•</sup> (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl). Le radical DPPH<sup>•</sup> est réduit en son hydrazine correspondant lorsqu'il réagit avec un donneur d'hydrogène. La réduction du DPPH<sup>•</sup> s'accompagne par le passage de la solution d'une couleur violette à une couleur jaune, l'absorbance est mesurée par spectrophotomètre à 517 nm. Une faible absorbance indique une meilleure activité antiradicalaire (Milardovic et al., 2006).

###### 4.4.1.2. Mode opératoire

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical DPPH<sup>•</sup>. L'effet de chaque extrait sur le DPPH<sup>•</sup> est mesuré par la procédure décrite par Seung-cheol et al. (2004).

Un volume de 100µL de différentes concentrations de chaque extrait est ajouté à 1 mL de la solution méthanolique du DPPH<sup>•</sup> (0,025 g/L) fraîchement préparée. En ce qui concerne le contrôle négatif, ce dernier est préparé en parallèle en mélangeant 100µL du méthanol avec 1mL d'une solution méthanolique de DPPH<sup>•</sup> à la même concentration utilisée. Après incubation à l'obscurité pendant 30 min et à la température ambiante, la lecture des absorbances est effectuée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

#### 4.4.2. Test au phosphomolybdate d'ammonium

##### 4.4.2.1. Principe

Le test du pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium est basé sur la réduction du molybdate sous la forme Mo<sup>6+</sup> vers la forme Mo<sup>5+</sup> par des substances présentes dans les différents extraits qui sont antioxydantes. Une coloration verte se forme en milieu acide, cela est dû au complexe phosphate-Mo<sup>5+</sup> formé dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en antioxydants (**Bougatef et al., 2009**).

##### 4.4.2.2. Mode opératoire

La détermination du pouvoir réducteur des différents échantillons est menée selon la méthode de **Silici et al. (2010)** qui est décrite comme suit: 2 mL d'un solvant réactif composé de phosphate de sodium, de phosphomolybdate d'ammonium et d'acide sulfurique, ont été ajoutés à 0.2 mL de chaque échantillon, puis ce mélange est agité et incubé dans un bain marie à 90°C pendant 90 min. La lecture des absorbances est faite à 695 nm.

# Conclusion

---

## **Conclusion et perspectives**

Les yaourts et les produits fermentés frais, identifiés comme aliments bénéfiques pour la santé, sont des produits de grande consommation. La production de yaourt et d'autres laits fermentés ne cesse de croître. La dynamique de ce marché oblige les industriels à formuler sans cesse de nouveaux produits laitiers frais.

De nombreuses innovations variées se sont développées sur le marché mondial en ciblant certains profils particuliers. Elles visent notamment le côté organoleptique mais également le domaine de la santé. Le yaourt avec des antioxydants ajoutés provenant de sources naturelles (fruits, légumes, etc.) semble être un format alimentaire pratique pour satisfaire l'intérêt des consommateurs.

Les yaourts aux fruits contiennent au minimum 5% de fruits (fruits séchés, fruits de la passion, fruits secs concassés, compote ou purées) qui sont ajoutés à des yaourts nature brassés, après les étapes de fermentation, brassage et refroidissement. D'autres yaourts sont préparés avec une combinaison entre les fruits et les légumes ou d'autres végétaux (petits pois et menthe, betterave et framboise, tomates et fraises, etc.).

Les antioxydants apportés par ces différents enrichissements du yaourt permettent de lutter contre le stress oxydatif qui est impliqué dans l'apparition de la plupart des maladies chroniques liées à l'âge et à l'alimentation.

Les qualités microbiologique, physicochimique et sensorielle du yaourt sont les critères les plus importants dans l'alimentation. Toutes anomalies relatives aux deux premières qualités nuisent à la santé du consommateur. Toutefois, les analyses phytochimiques sont aussi importantes à réaliser lorsque le yaourt est enrichi en antioxydants naturels.

Cette synthèse bibliographique ne constitue qu'une première étape dans la recherche des différents antioxydants naturels ajoutés aux yaourts afin de créer de nouvelles recettes qui répondent à la fois à la santé du consommateur et à son plaisir.

Cependant, comme perspective il serait intéressant de:

- Elargir notre recherche sur d'autres bases de données pour découvrir des nouveautés sur le yaourt;
- Elaborer des yaourts enrichis avec des espèces végétales endémiques ou des produits de terroir.

# Liste des références

---

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



**AFNOR (Association Française de Normalisation), 1985.** Contrôle de la qualité des produits laitiers. Analyses physiques et chimiques, 3<sup>ème</sup> édition.

**Ait Abdelouahab, N., 2008.** Microbiologie alimentaire. Office des publications universitaires. (3<sup>ème</sup> édition), 98-99.

**Agreste., 2011.** Enquête annuelle innovation 2006-2008. L'agroalimentaire innove en faveur de l'environnement. Agreste primeur, n° 269.

**Alais, C., 1984.** Science du lait. Principes et techniques laitières. Édition Sepaic. 4<sup>ème</sup> éd. Paris, 814.

**Amarowicz, R., Pegg, R.B., Rahimi-Moghaddam, Barl, B., Weil, J.A., 2004.** Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. *Food chemistry* 84, 551-562.

**Ana Paula doEspírito Santo, Roberta C Silva, Fabiana ASM Soares, Doudais Anjos, Luiz A Gioielli, Marice N Oliveira., 2010.** Acai pulp addition improves fatty acid profile and probiotic viability in yoghurt. *International dairy Journal* 20(6) 415-422.

**Arts J.W., Frambach R.T., Bijmolt T.H., 2011.** Generalizations on consumer innovation adoption: A meta-analysis on drivers of intention and behavior. *International Journal of Research in Marketing*, 28(2), pp.134-144.

**Anonyme :** <http://www.ocl-journal.org>; consulter le 20/04/2020

**Anonyme2:** <https://www.yogurtinnutrition.com/fr/les-benefices-du-yaourt>. consulté le 28/02/2020

**Anonyme 3 :** [https://www.ides.cz/ekonomika/test-a-spotrebitel/prvni-ovocny-jogurt-se-narodil-u-vltavy.A020723\\_103620\\_test\\_jan](https://www.ides.cz/ekonomika/test-a-spotrebitel/prvni-ovocny-jogurt-se-narodil-u-vltavy.A020723_103620_test_jan)

## B

**Barthélémy J., 1998.** Evolution d'une grandeur sensorielle complexe: Description quantifiée. In : «Evolution Sensorielle» 2<sup>ème</sup> éd Tec et Doc. Lavoisier. Paris. p. 149-169.

**Barizão, É.O., Visentainer, J.V., Almeida, V.C., Ribeiro, D., Chisté, R.C., Fernandes, E., 2016.** *Citharexylum solanaceum* fruit extracts: Profils of phenolic compounds and carotenoids and their relation with ROS and RNS scavenging capacities. Food Research International 86,24-33.

**Bergamaier D., 2002.** Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de lactobacillus rhamnosus RW-959 M dans un milieu à base de permeat de lactosérum. Thèse de Doctorat, Université de Laval, Canada.

**Berger, M.M., 2006.** Manipulations nutritionnelles du stress oxydant : état des connaissances. Nutrition Clinique et Métabolisme 20 (1), 48-53.

**Beckman K.B. et Ames B. N., 1997.** "Oxidative Decay of DNA." J. Biol. Chem. 272(32): 19633- 19636.

**Biesalski, H. K., Böhles H., Esterbauer H., Fürst P., Gey F., Hundsdörfer G. et al., 1997.** Antioxydant vitamins in prevention. Consensus statement. Clin Nutr; 16:151–5.

**Bouhadjra, K., 2011.** Étude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge, thèse pour l'obtention du diplôme de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou.

**Bonnefoy, C., Guillet, F., Leyral, G., Verne, E., 2002.** Microbiologie et qualité dans les industries agro-alimentaires (collection biosciences et techniques ; séries : sciences des aliments). Edition : Doin, Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, Bordeaux, Paris, 18-20.

**Bourlioux, P., Braesco, V., Mater, DDG., 2011.** Yaourts et autres laits fermentés. Cahiers de nutrition et de diététique 46, 305-314.

**Bouhnik., 1993.** Probiotiques, bactéries probiotiques, levains Survie et effets chez l'homme des bactéries ingérées dans les laits fermentés. Ed INSERM hôpital Saint-Lazare - Paris, France. p 241.

**Boudraa, G., Touhami, M., Pochrt, P., Soltana, R., Mary, J.Y. et Desieux, J.F., 1990.**Effect of yogurt versus milk in children with persistent diarrhea.J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. 11 pp509-512.

**Burillard, L., Daumas, V., Glaz, M., Kouyoumdjian, I., Lobrot, S., Logier, D., Mallot, N., Marchand, C., 2016.**La fermentation alimentaire.

**Buttriss, J., 1997.** International Journal of Dairy Technology;50:21-7.

## C

**C.Senaka, Ranadheera, CAE Vans., MC Adams., SK Baines (2012).** In vitro analysis of gastrointestinal tolerance and intestinal cell adhesion of probiotics in goat's milk, ice cream and yogurt . Food research international 49(2), 619-625.

**Camille, D., 2014.** Pratique en microbiologie de laboratoire : Recherche de bactéries et de levures-moisissures: Lavoisier, paris, 38 -237.

**Cadenas, E., Packer, L., 2002.** Handbook of Antioxidants.2<sup>ème</sup> édition, Taylor et Francisgroup, LLC, New York. pp 1-4.

**Caroline Maréchal.** Succés annoncés pour le yaourt aux légumes (en ligne), mis en ligne le 18 juillet 2017. URL:<https://www.reussir.fr/fruits-legumes/succes-annonce-pour-le-yaourt-aux-legumes>.

**CEAE, 2013.** Méthode d'analyse : Recherche des salmonelles. Gouvernement du Québec, 5-25.

**Chandan, R. C., Gandhi, A., & Shah, N. P. (2017).** Yogurt. In Yogurt in Healand Disease Prevention (pp. 3–29). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805134-4.00001-8>

**Christopher, J., Morris, J. E., Charles, W. et Trenam, D. B., 1995.** Reactive oxygen species and iron-a Dangerous Partnership in Inflammation. International Journal of Biochemistry and Cellular biology, 27: 109-122.

**V. Chouchouli, V., Kalogeropoulos, N., Konteles, S.J., Karvela, E., Makris, D.P., Karathanos, V.T., 2013.** Fortification of yoghurts with grape (*Vitisvinifera*) seed extracts LWT-Food Sci. Technol., 53 (2): 522-529.

**Chevalier, D., Debeuf, C., Joubrel, G., Kocken, M., Planchenault N., 2016.** Les aliments au soja : consommation en France, qualités nutritionnelles et données scientifiques récentes sur la santé. OCL, 23(4), D405.

**Cuq, J.L., 2007.** Microbiologie Alimentaire. Edition Sciences et Techniques du Langue et Doc, Université de Montpellier, 20-25.

## **D**

**D'Archivio M., Filesi C, Di Benedetto R, Gargiulo R, Giovannini C, MasellaRD'Archivio., 2007.** Polyphenols, dietary sources and bioavailability;43(4):348-61.

**Dhineshkumar, V., Ramasamy, D., 2016.** Studies on Development of Yoghurt Flavoured with Beetroot Juice (*Beta vulgaris*L.). Research Scholar, College of Food and Dairy Technology, TANUVAS, Chennai-52. Professor and Head, Food Science and Technology, Chennai-52.

**Dröge, W., 2002.** Free radicals in the physiological of cell function. Physiology Reviews, 82: 47-95.

**Duthie, G.G., Gardher, P.T., Kyle, J.A.M., 2003.** Plant polyphenols: Are they the new magic bullet? Rowett Research Institute, Aberdeen. Proceedings of the Nutrition Society 62,599-603.

## **E**

**Enkelejda, P., 2004.** Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur, thèse de doctora en science des aliments. INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE PARISGRIGNON.

## **F**

**FAO.,1995.** Staple foods: What do people eat? In: Dimensions of Need: An Atlas of Food and Agriculture (Santa Barbara, Calif.: ABC-CLIO).

**Favier, A., 2003.** Le stress oxydant Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité chimique. 108-115.

**FAO., 1995.** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Amazon, Rome, Italie.

**Fernandez, Murette., 2017.** MA Fernandez, A. Murette Avantage potentiels pour la santé de combiner le yogourt et les fruits en fonction de leurs propriété probiotiques et prébiotiques Adv. Nutr. Int. Rév.j. , 8(1) : 155S-164S.

**Fontaine, E., Barnoud, D., Schwebel, C., Leverve, X., 2002.** Place des antioxydants dans lanutrition du patient septique. Editions scientifiques et médicales, Grenoble. pp. 2-4.

**Fu, R., Zhang, Y, Guo, Y., Chen, F., 2014.** Antioxidant and tyrosinase inhibition activitiesof the ethanol-insoluble fraction of water extract of *Sapiumsebiferum* (L.) Roxb. Leaves.South African Journal of Botany 93, 98–104.

## G

**Gautier, M., Le loir, Y., Pellerin, J., N., 2010** .Staphylococcus aureus. Edition Tec, Doc, Lavoisier, Paris, 35

**Guiraud, J. P., 2003.** Microbiologie Alimentaire. Agro-alimentaire. Edition : Dunod, Paris, 291.

**Guiraud, J. P., 2012.** Microbiologie Alimentaire. Agro-alimentaire. Edition : Dunod, Paris, 342- 401.

**Guarner, F., Khan, A., Garisch, J., Eliakim, R., Gangl, A., 2008.**Recommandation Pratique : Probiotique et prébiotiques. Organisation mondiale de Gastroentérologie, pp3-17.

**Girardet, J.M., 2011.** Le lait -une source d'antioxydants d'origine alimentaire, université Henri Poincaré Nancy 1.

**Guiraud, J.P., 1998.** Microbiologie alimentaire. Edition Dunod. Paris. p. 137.

**Guichard, E., Genot, C., Voilley, A., 2012.** Texture et flaveur des aliments : Vers une conception maîtrisée. Éduction Educagri, Pp297.

## H

**Hellal, Z., 2011.** Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydantes de certaines huiles essentielles extraites des *Citrus*. Application sur la sardine (*Sardina pilchardus*). Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.

**Heringuez, J., Lempreur, G., Medjtouh, N., Notredame, L., Saglam, C.L., 2010.**Le yaourt : Secteur des produits ultra-frais 2010-2011. Université Lille 1, sciences et technologies.

**Husseina, Fatma A.M., Hassanb, H.H., Abdel Daymc, A., Salamac, A.K., Enabb, Asmaa, A., Abd El-Galila., 2011.** Utilization of some plant polysaccharides for improving yoghurt consistency. *Annals of Agricultural Science* **56**(2): 97–103.

## **J**

**Jean, M., 2007.** Germes aérobies mésophiles. Edition : Service de la consommation et des affaires vétérinaires, Neuchâtel, Suisse, 37.

**Jean, L., 1997.** Microbiologie alimentaire : Contrôle microbiologiques des aliments. Edition : université Montpellier de sciences et techniques, 4-37.

**Jeantet, R., Croguennes, T., Mahaut, M., Schuck, P., Brulé, G. (2008).** Les produits laitiers. Ed Techniques et documentations. Lavoisier-Paris .Pp185.

**Jeantet R ., Croguennec T ., Mahaut M., Schuck P et Brule G. (2008).** Les produits laitiers (2e Ed.), Edition Tec et Doc, Lavoisier (3) Paris, P31, P 4-37

## **K**

**Keilling et Dewilde R (1985) :** Lait et les produits laitiers vaches, brebis, chèvre. (Eds), Apria, Lavoisier, Paris. 446p

**Kearney, J. (2010).** Food consumption trends and drivers. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol.Sci.* **365**, 2793–2807.

## **L**

**Lablondele, 2007.** Les laits fermentés : vos alliés pour une meilleure santé. Pp. 3.

**Lamoureux L, 2000.** Exploitation de l'activité  $\beta$ -galactosidas de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maitrise, Université de Laval, Canada.

**Léophonte, P., 2006.** Stress oxydatif et BPCO. Rôle des infections. Prévention. Médecine et maladies infectieuses 36 (5), 245–252.

**Li, S.W., Xue, L., Xu, S., Feng, H., Lizhe, A., 2009.** IBA-induced changes in antioxidant enzymes during adventitious rooting in mung bean seedlings: The role of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Environmental and Experimental Botany 66, 442–450.

**Luquet, F.M., Corrieu, G. (2008).** Bactéries lactiques de la génétique aux ferments. Edition Tec, Doc, Lavoisier, Paris, 517-520.

## **M**

**Mahaut M. Jeantet R. Brule G et Schuck P. 2005.** Les produits industriels laitiers. Ed : Tec et Doc ; Lavoisier. France, pp 1-40.

**Martini, M.C.** Introduction à la dermatopharmacie et à la cosmétologie. ISBN 2743005912. 331p

**Marty-teyssset C., De La Torre F. et Garel J.R, 2000.** Increased production of hydrogen peroxyde by lactobacillus delbruekiisspbulgaricus upon aeration: involvement. Applied and Environmental Microbiology, 66(1), pp262-267.

**Mathew, S., Abraham, T.E., 2006.** Studies on the antioxidant activities of cinnamon (*Cinnamomum verum*) bark extracts, through various in vitro models. Food Chemistry 94, 520–528.

**Miladovic, S., Ivekovic, D. et Bozidar, S.G. (2006).** A novel amperometric method for antioxidant activity determination using DPPH free radical. Bioelectrochemistry, 68: 175-180.

**Miller H.E., Rigelho F., Marquart L., Prakash A. et Kanter M. (2000).** Cereal Foods World 45(2): 59-63.

**Montagnier L., Olivier R. et Pasquier C. (1998)** Oxidative stress in cancer, AIDS and neurodegenerative diseases, Marcel Dekker, New York.

**Morel, Y., Barouki, R., 1999.** Repression of gene expression by oxidative stress. *Biochemistry* 342 (3), 481-496.

## **N**

**Nagaoka, S. (2019).** Yogurt Production. Lactic Acid Bacteria: Methods and Protocols. M. Kanauchi. New York, NY, Springer New York: 45-54.

**Norme internationale ISO 5492.** Analyse sensorielle. Contrôle de la qualité des produits alimentaires AFNOR.

## **P**

**Podsdek, A., 2005.** Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables. *LWT-Food Science and Technology* 40 (1), 1-11.

**Poortsman, J.R., Boisseau, N., 2003.** Biochimie des activités physiques. 2ème édition. DeBoeck Supérieur. Bruxelles. 638 pages.

**Prior, R.L., Wu, X., Schaich, K. (2005).** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary. *J. Agric. Food Chem*, 53: 4290- 4302.

**Priyanka Aswal, Anubha Shukla and, Siddharth Priyadarshi (2012).** Yoghurt : preparation, characteristics and recent advancements. School of Biotechnology, Gautam Buddha University, Yamuna Expressway, Greater Noida (U.P)

**Pincemail J., Degrune F., Voussure S., Malherbe C., Paquot N., Defraigne J O. (2007).** Effet d'une alimentation riche en fruits et légumes sur les taux plasmatiques en antioxydants et des marqueurs des dommages oxydatifs. *Nutrition clinique et métabolisme* 21(2) :66 -75.

## **R**

**Ré, D.B., Nafia, I., Nieoullou, A., Kerkerian Le Goff, L., Hadi-Aissouni, L., 2005.** Stress oxydatif cérébral : les astrocytes sont-ils vulnérables aux faibles concentrations intracellulaires de glutamate ? Implications sur la survie neuronale. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation* 24, 502-509.

**Rios-Evans, C., Miller, N.J., Paganga, G.C., 1997.** Antioxidant properties of phenolic

compound. *Trend in Plant Sciences* 2 (4), 152-159.

**Rolland, Y., 2004.** Antioxydants naturels végétaux. *Oléagineux Corps gras Lipides Journal* 11 (6), 419-424.

**Rousseau .M (2005).** La fabrication du yaourt, les connaissances. INRA. p9

**Rybka et Kailasapathy, 1995** S. Rybka, K. Kailasapathy la survie des bactéries de culture dans les yaourts AB frais et lyophilisés *Aust. J. Dairy Technol.* , 50 (2) (1995) , pp. 51-57

**Rafieian-Kopaei et al., 2013** M. Rafieian-Kopaei , A. Baradaran , M. Rafieian le stress oxydatif et les effets paradoxaux des antioxydants *J. Res. Sci.* , 18 (7) (2013) , p. 628

**Recueil des méthodes internationales d'analyse des boissons spiritueuses d'origine vitivinicole, détermination du ph, Méthode OIV-MA-BS-13(2009).**

## **S**

**Samarth, R.M., Panwar, M., Kumar, M., Soni, A., Kumar, M., Kumar, A., 2008.**

Analytical, Nutritional and Clinical Methods Evaluation of antioxidant and radical-scavenging activities of certain radioprotective plant extracts. *Food Chemistry* 106, 868–873.

**Sarni-machado P., cheynier V., 2006.** Les polyphénols en agroalimentaire., Ed; Lavoisier. Tec et Doc- France; pp 01.

**Savado, A. et 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.

**Savado a., Alfred s., 2011.** La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés Traore. *Int. J. Biol. Chem. Sci-Ouagadougou, Burkina Faso.* 5(5): 2057-2075

**Scher J. (2003).** Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires. In *Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire*, f3300. Pp 2-15

**Sennequier N. et Vadon-Le Goff S. (1998).** Biosynthèse du monoxyde d'azote (NO) : mécanisme, régulation et contrôle. *Médecine Science*, 14: 1185-1195.

**Seung-cheol, L., Seok-Moo, J., So-Young, K, Dong-Ryul, K., Seong-Chun, J., Nam, K.C., ET Ahn, D.U. (2004).** Effet of Heat Treatment on the Antioxydant Activity of Extracts from Citrus Peel. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 3389-339.

**Serra M., Trujilo A.J., Gaumis B. et Ferragut V. (2009).** Evaluation of physical proprieties during storage of set and stirred yoghurts made from ultra-high pressure homogenization treated milk. *Food Hydrocolloids*, 23: 82-91.

**Shah., Champagne. (2016).** Cultured Milk and Yogurt. *Dairy Processing and Quality Assurance*, 219–251. <https://doi.org/10.1002/9780813804033.ch10>

**Shaker, R., Jumah, R. Y., Abdou-Jdayil, B. (2000).** Rheological properties of plain yoghurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of milk. *Journal of Food Engineering*, 44, 175-180.

**Singleton V.L., Rossi, J.A., 1965.** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16 (3), 144– 158.

**Sies H. (1997).** Antioxidant in disease mechanisms and therapy, *Advances in Pharmacology*, Academic Press, New York, 38.

**Sodini I. et Beal C. (2012).** Fabrication des yaourts et laits fermentés. Ed. *Techniques de l'ingénieur*, F6315. Pp : 02-16.

**Soares A.A., Marques de Souza C.G., Daniel F.M., Ferrari G.P., Gomes da Costa S. M., Peralta R.M., 2009.** Antioxidant activity and total phenolic content of *Agaricus brasiliensis* (*Agaricus blazei* Murril) in two stages of maturity. *Food Chemistry- France*; 112 (4), 775–781.

**Stadtman E.R. et Levine R.L. (2000).** "Protein Oxidation." *Annals of NY Academy of Science*, 899(1):191-208.

**Stéphan Marette., Jutta Roosen., Sandrine Blanchemanche., Eve Feinblatt-Mélèze (2010).** Functional food, uncertainty and consumers' choices: A lab experiment with enriched yoghurts for lowering cholesterol. *Food Policy* 35(5) 419–428.

**Suzanne Lesage,** La place des céréales dans les habitudes alimentaires des peuples fenniques, Etude finno-ougriennes [En ligne], 47|2015, mis en ligne le 01 juillet 2016, consulté le 03 septembre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/efo/5384>; DOI: <https://doi.org/10.4000/efo.5384>

**Tachakittirungrod, S., Okonogi, S., Chowwanapoonpohn, S., 2007.** Study on antioxidant activity of certain plants in Thailand: Mechanism of antioxidant action of guava leaf extract. Food Chemistry 103, 381–388.

**Taillier,p(2001).**Les bactéries lactiques , ces êtres vivants apparus il ya prés de 3 milliards d'années .Le lait, INRA Editions,81(1-2), 1-11.

**Tamime A.Y et Deeth H.C (1980).** Yoghurt: technology and biochemistry. Journal of Food protection, 43, 12 939-977.

**TOUSSAIN F., 2003 :** Les Etapes de l'Analyse Sensorielle, Objectif de l'Analyse Sensorielle et les Descripteurs du Produit. Technologie Appliquée, Site web : TechnoResto.org.

## V

**Vahedi N., Mazaheri M., Tehrani., Shahidi F., 2008.** Optimizing of Fruit Yoghurt Formulation and Evaluating Its Quality During Storage. Ed; American-Eurasian J. Agric. & Environ- Iran, 922- 927.

**Vasiljevic T., McKechnie S., Donkor O.N., Sah B.N.P., 2016,** Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre -rich pineapple peel powder during refrigerated storage. Ed; Journal international de laiterie. Sydney-Australie ; 978-986.

**Vermerris W., Nicholson R., 2008.** Phenolic compound Biochemistry. Springer science Business Média B.V. P: 36.

**Vincent, A.M., Russeli, J.W., Low, P., Feldnan, E.L., 2004.** Oxidative stress in the pathogenesis of Diabetic Neuropathy. Department of Neurology, Endocrine Reviews 25 (4), 612-628.

**Vignola, C. L. (2002).** Sciences et technologie du lait : transformation du lait. Edition : Ecole polytechnique Montreal, Canada, 311-600.

## W

**Weststrate et al., 2002.** Aliments fonctionnels, tendances et avenir Br. J. Nutr., 88 (S2) (2002), p. S233-S235

## **Y**

**Yohan R (2004)**, Burgundy Botanical Extracts, Actiparc de pont de Vaux, Les chapelles Sud, 011190 Reyssouze –France

## **Z**

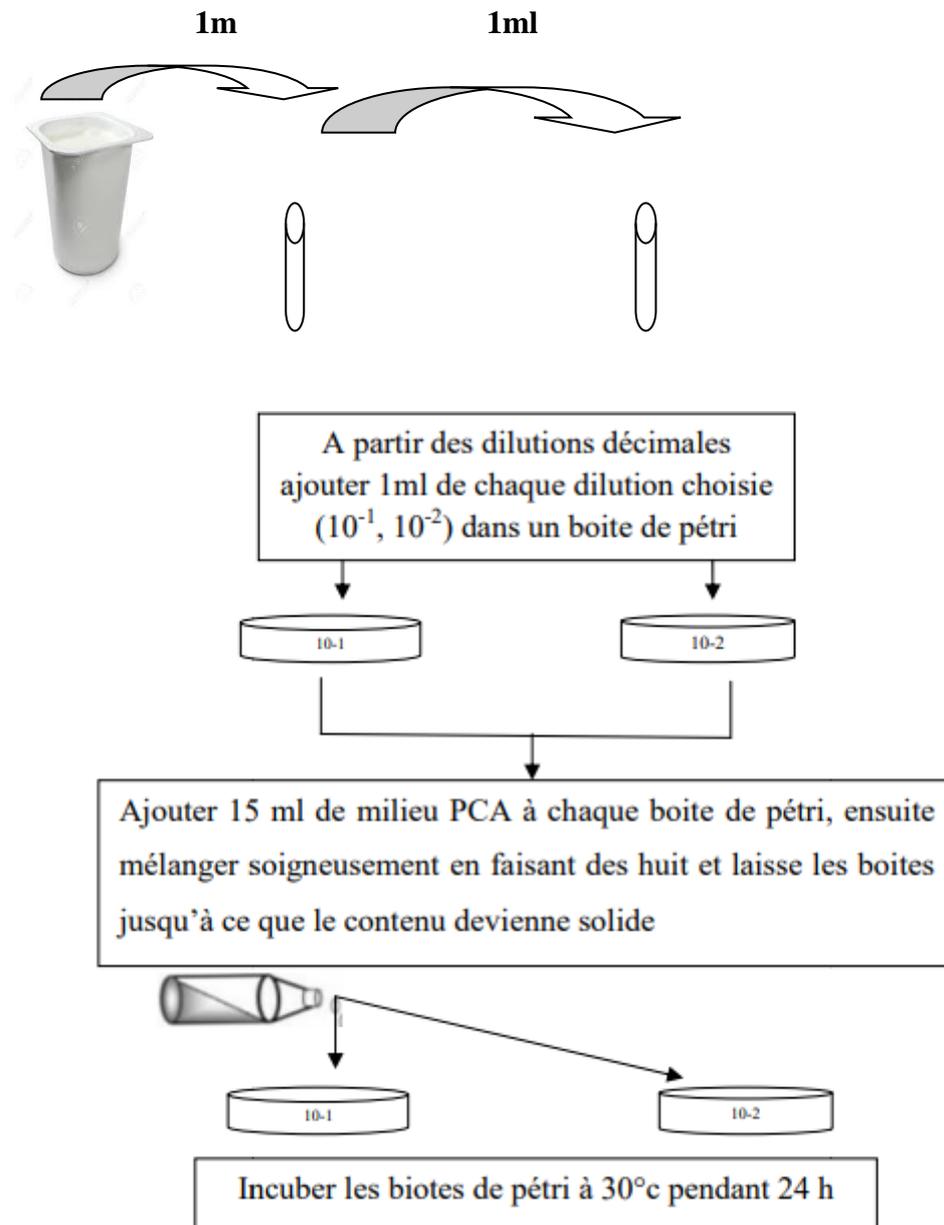
**Zainoldin, K.H., Baba., A.S.,2009.**The Effect of *Hylocereus undatus* on Physicochemical, Proteolysis, and Antioxidant Activity in Yogurt World Academy of Science, Engineering and Technology. Ed; International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering; Vol:3, No:12. p 586.

**Zohra Bouamra-Mechemache, Vincent Requillart, Louis Sirugue.** Adoption par les consommateurs de produits innovants : le cas des “ yaourts ” au soja. Innovations Agronomiques, INRA, 2019, 74, pp.193-202.hal-02244974.

# Annexes

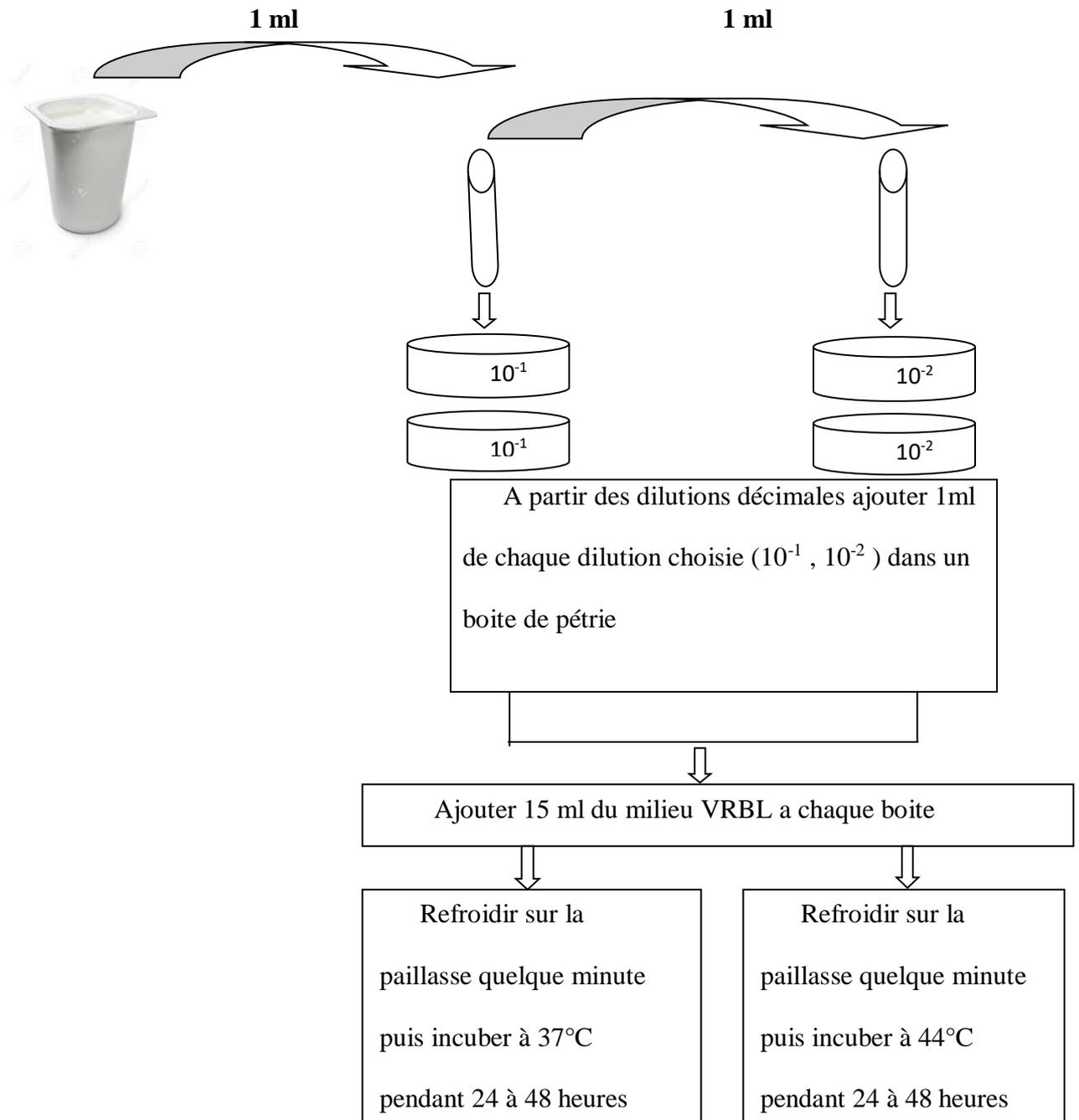
---

## Annexe 1 : Protocole de dénombrement des Germes totaux.

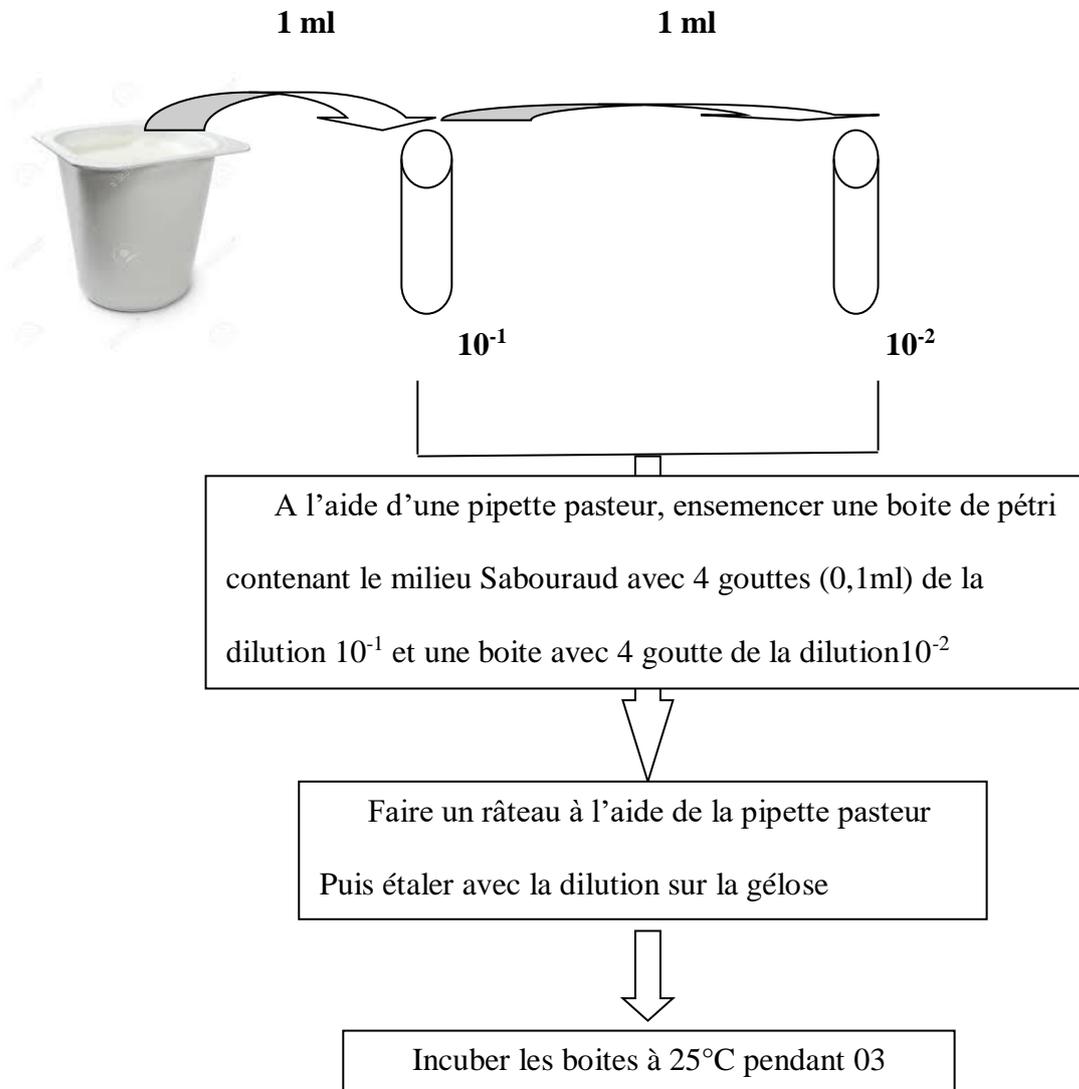


## Annexe 2 : Protocole de dénombrement des coliformes totaux et fécaux.

### Mode opératoire



**Annexe 3 : Protocole de dénombrement des levures et des moisissures sur milieu Sabouraud.**



#### **Annexe 4 : Protocole dénombrement des *Staphylococcus aureus*.**

##### **Test présomptif**

- \* Ouvrir aseptiquement le flacon contenant le milieu de Giolliticantonii et ajouter 15 ml d'une solution de téllurite de potassium
  
- \* A partir des dilutions décimales porter 1 ml par dilution dans un tube à vis stérile
  
- \* Ajouter par la suite environ 15 ml du milieu d'enrichissement Giolliticantonii
  
- \* Incuber les tubes à 37°C pendant 24 h



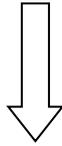
##### **Test confirmatif**

- \* Si le résultat est positif (noircissement des tubes), effectue un isolement sur milieu Chapman préalablement fondue, coulée en boîtes de pétri et bien séchées.
  
- \* En faisant des stries à l'aide d'une pipette pasteur à partir des tubes positifs, et incuber à 37°C pendant 24 h

## **Annexe 5 : Protocole de dénombrement des Salmonelles.**

### **Pré-enrichissement**

Introduire 1ml de produit à analyser (yaourt) dans un 9 ml d'eau peptonée tamponnée. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 h



### **Enrichissement**

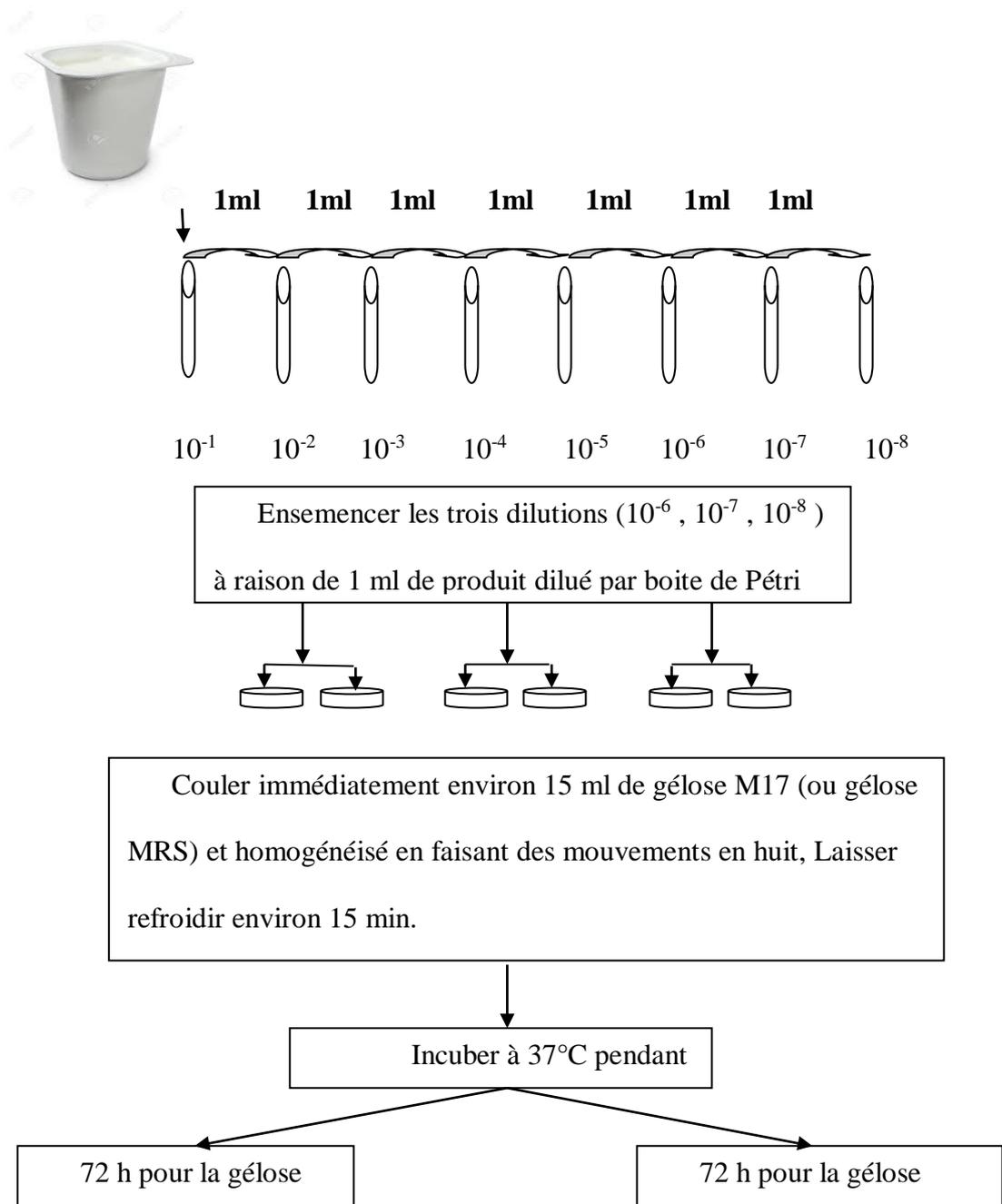
A partir de la culture de pré-enrichissement, transférer 1 ml dans tube contenant 10 ml de bouillon SFB (milieu d'enrichissement). L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 à 48 h



### **Isolement**

A partir de tube SFBensemencé en stries à l'aide d'une pipette pasteur la boîte de pétrie contenant le milieu Hektoen. L'incubation se fait à 37 °C pendant 24 h

## Annexe 6 : Protocole de dénombrement de la flore lactique sur le yaourt.



### Annexe 7 : Table de Mc Graddy

Nombre de tubes positifs au niveau de trois taux de dilutions retenus			NPP	Nombre de tubes positifs au niveau de trois taux de dilutions retenus			NPP
0	0	0	< 0,3	2	2	1	2,8
0	0	1	0,3	2	3	0	2,9
0	1	0	0,3	3	0	0	2,3
0	2	0	0,6	3	0	1	4
1	0	0	0,4	3	0	2	6
1	0	1	0,7	3	1	0	4
1	1	0	0,7	3	1	1	7
1	1	1	1,1	3	1	2	12
1	2	0	1,1	3	2	0	9
1	2	1	1,5	3	2	1	15
1	3	0	1,6	3	2	2	21
2	0	0	0,9	3	2	3	29
2	0	1	1,4	3	3	0	20
2	1	0	1,5	3	3	1	50
2	1	1	2,0	3	3	2	110
2	2	0	2,1	3	3	3	> 110

## Résumé

Ce travail porte sur l'étude de l'innovation de yaourts enrichis en antioxydants naturels. Le yaourt est un lait fermenté coagulé grâce aux bactéries lactiques (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) qui sont considérées comme des probiotiques avec des effets bénéfiques pour l'organisme humain. Les industries laitières ont pensées à améliorer les bienfaits et la qualité nutritionnelle de ce lait fermenté par son enrichissement avec des antioxydants d'origine naturelle (fruits, légumes, céréales, etc.). Ces antioxydants permettent de protéger notre organisme contre les radicaux libres, ainsi ils permettent la prévention de nombreuses maladies. Parmi ces antioxydants : les tocophérols, les caroténoïdes et les polyphénols, dont l'efficacité est également reconnue dans l'industrie agroalimentaire. La qualité des yaourts enrichis est évaluée par des paramètres physico-chimiques, microbiologiques, sensorielle et phytochimiques.

**Mots clés :** Yaourt ; Antioxydants ; Analyses physicochimiques ; Analyses microbiologiques; Analyses sensorielles; Analyses phytochimiques; Fruits; Légumes.

## Abstract

This work concerns the study of the innovation of yoghurts enriched with natural antioxidants. Yoghurt is fermented milk coagulated with lactic acid bacteria (*Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*) which are considered to be probiotics with beneficial effects for the human organism. The dairy industries have thought of improving the benefits and nutritional quality of this fermented milk by enriching it with antioxidants of natural origin (fruits, vegetables, cereals, etc.). These antioxidants help protect our body against free radicals, thus preventing many diseases. Among these antioxidants: tocopherols, carotenoids and polyphenols, whose effectiveness is also recognized in the food industry. The quality of the enriched yoghurts is evaluated by physico-chemical, microbiological, sensory and phytochemical parameters.

**Key words:** Yogurt; Antioxidants; Physicochemical analyzes; Microbiological analyzes; Sensory analyzes; Phytochemical analyzes; Fruits; Vegetables.