

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE
LA TERRE DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/20

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV **Filière** : Sciences Alimentaires
Spécialité : Agroalimentaire et Contrôle de qualité

Présenté par :

Nacer Nadjat & Tigrine Thin-hinane

Thème

**Incorporation des grains du lin dans un yaourt
industriel « Ramdy »**

Soutenu le: 28/09/2020

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mme. Bensmail Souhila

MCB

Univ. de Bouira

Présidente

Mme. Chekroune Malika

MCB

Univ. de Bouira

Examinatrice

Mme. Bourfis Nassima

MAA

Univ. de Bouira

Promotrice

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant, de nous avoir donné la force, la volonté et la patience nécessaire pour la réalisation de ce modeste travail.

Nous remercions notre promotrice Mme BOURFIS Nassima pour avoir accepté de nous encadrer, orienter et donner les plus amples conseils précieux qui nous ont permis de s'affranchir des écueils rencontrés tout au long de la période de réalisation de ce travail.

Nos remerciements sont adressés aux membres du jury, Mme CHEKROUNE Malika et Mme BENSMAIL Souhila, qui ont accepté de juger ce travail.

Nous remercions notre responsable de spécialité Mme FERHOUM Fatiha, pour sa gentillesse, sa disponibilité, ses conseils et surtout sa confiance qui nous a permis d'exprimer nos compétences durant ce travail.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des enseignants de la faculté des sciences de la nature et de vie et des sciences de la terre.

Nous voudrions aussi exprimer notre profonde gratitude à nos familles pour leur soutien moral, matériel, leurs encouragements prodigués pendant toutes ces années d'études.

Nadjet et Thin-hinane



Dédicace

Je dédie ce travail:

A la source de la tendresse, ma mère.

A mon père, qui m'a appris que la patience est le Secret du succès.

A tous mes frères Said, Rabeh, Islam.

A mes sœurs, Souhila et Manel.

A ma grand-mère et mon grand père.

*A toutes mes copines, Souad, Sadia, Radia, Zahra, Zina, Nabila, Houriya, Yousra,
Saliha, Asma, Wissam et Thin-hinane.*

A toute la promotion TAA 2019-2020

A tous ceux qui ont m'aidé dans la réalisation de ce travail.

Nadjet





Dédicace

Ma chère mère Pour tout ce que tu as fait comme efforts avec moi dès mon jeune âge pour tant de sacrifices consentis.

Chère mère, j'avoue que tu étais pour moi la lumière qui guide ma route et qui m'emmène aux chemins de la réussite.

A mon très cher père que Dieu vous garde.

A mon très cher frère: Youcef

A toute ma famille.

*A tous mes amies intimes :
Nadjet, Fariza, Lydia, Zina.*

A tous mes amies de la promotion de 2015 à 2020.

Thin-Hinane

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction1

Chapitre I : Les graines de lin

| | |
|--|----|
| 1. Histoire de lin | 3 |
| 2. Définition | 3 |
| 3. Classification..... | 3 |
| 4. Description générale et morphologie | 4 |
| 4.1. Structure de la graine de lin..... | 4 |
| 5. Culture de lin et les facteurs qui l'influencent | 5 |
| 5.1. Culture de lin | 5 |
| 5.1.1. Facteurs influençant la culture du lin | 6 |
| 6. Variétés de lin | 6 |
| 7. Composition de grains de lin..... | 8 |
| 7.1. Lipides :..... | 9 |
| 7.2. Protéines | 9 |
| 7.3. Glucides..... | 10 |
| 7.4. Vitamines | 11 |
| 7.5. Cendres et minéraux..... | 11 |
| 7.6. Composés phénoliques | 11 |
| 8.1. Composés actifs des graines de lin | 13 |
| a. Acides gras polyinsaturés (oméga-3)..... | 13 |
| b. Mucilages..... | 13 |
| c. Lignanes..... | 13 |
| 9.1. Incorporation des grains de lin dans l'alimentation humaine | 14 |
| a. Applications des graines de lin entières..... | 14 |
| b. Applications des graines de lin moulues..... | 14 |
| c. Application de la farine de lin..... | 14 |

| | |
|--|----|
| 9.2. Incorporation des grains de lin dans l'alimentation animale | 15 |
| 9.3. Lin à usage industriel | 15 |

Chapitre II : Le yaourt

| | |
|--|----|
| 1. Historique | 16 |
| 2. Définition | 16 |
| 3. Classification du yaourt | 16 |
| 4. Ingrédients et matières premières | 17 |
| 4.1. Lait frais | 17 |
| 4.2. Poudre de lait..... | 17 |
| 4.3. Protéines et matière grasse | 17 |
| II.4.4. Eau | 17 |
| 4.5. Additifs..... | 17 |
| 5. Flore de fermentation de yaourt..... | 18 |
| 5.1. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt..... | 18 |
| a. <i>Streptococcus thermophilus</i> | 18 |
| b. <i>Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus</i> | 19 |
| 5.2. Intérêt et fonctions des bactéries du yaourt..... | 19 |
| a. Activité acidifiante | 19 |
| c. Activité aromatique (production d'acétaldéhyde) | 20 |
| d. Activité texturant | 20 |
| e. Comportement associatif des deux souches (symbiose)..... | 20 |
| 6. composition chimique du yaourt..... | 20 |
| 6.1. Glucides | 21 |
| 6.2. Protéines..... | 21 |
| 6.4. Minéraux | 22 |
| 6.5. Vitamines | 22 |
| 7.1. Réception et préparation du lait | 22 |
| 7.2. Mélange..... | 23 |
| 7.3. Normalisation et standardisation des graisses..... | 23 |
| 7.4. Homogénéisation | 23 |

| | |
|--|----|
| 7.5. Traitement thermique..... | 23 |
| 7.6. Ensemencement et Fermentation | 23 |
| 7.7. Refroidissement (l'arrêt de fermentation)..... | 23 |
| 7.8. Conditionnement et stockage..... | 23 |
| 8. Intérêt nutritionnel et thérapeutique du yaourt | 25 |

Chapitre III : Caractérisation de la composition des grains de lin

| | |
|---|----|
| 1. Teneur en matière grasse | 26 |
| 1.2. Rendement en huile | 26 |
| 1.2. Profil d'acides gras | 27 |
| a. Teneur d'acides gras polyinsaturés | 27 |
| b. Teneur en acides gras saturés | 28 |
| 2. Teneur en protéines | 29 |
| 2.1. Profil en acides aminés | 30 |
| 3. Glucides | 31 |
| 3.1. Sucres simples | 31 |
| 3.2. Mucilages | 32 |
| 4. Composés phénoliques | 32 |
| 4.1. Polyphénols | 32 |
| 4.2. Flavonoïdes | 33 |
| 5. Enrichissement du yaourt en poudre de lin et évaluation de son profil d'acides gras, de ses propriétés physico-chimiques, antioxydantes et sensorielles (Ardabilchi, 2020) | 34 |
| 5.1. Propriétés physicochimiques des échantillons de yaourt enrichi | 34 |
| 5.2. Profil en acides gras des échantillons de yaourt enrichi | 34 |
| 5.3. Activité antioxydant des échantillons de yaourt enrichi | 34 |
| a. Contenu phénolique total | 34 |

Chapitre IV : Partie expérimentale

| | |
|--|----|
| I. Matériel et Méthodes | 35 |
| 1.1. Matériel | 35 |
| 1.2. Méthodes..... | 35 |
| I.2.1. Préparation des échantillons | 35 |
| I.2.2. Évaluation sensorielle | 36 |
| I.2.3. Groupe de l'évaluation sensorielle | 37 |
| II. Résultats et discussion..... | 37 |
| II.1. Evaluation de la qualité sensorielle | 37 |
| II.1.1. Couleur | 37 |
| II.1.2. Goût..... | 38 |
| II.1.3. Odeur | 39 |
| II.1.4. Texture | 39 |
| II.1.5. Acidité..... | 40 |
| II.2. Evaluation de l'acceptabilité globale des yaourts analysés | 41 |
| Conclusion..... | 42 |
| Références bibliographiques | |
| Annexes | |
| Résumé | |

Liste des abréviations

PMG: Poids de Mille Graines

SDG: Secoisolaricirésinol Di-glucoside

ALA: Acide alpha-Linolénique

UFC: Unité Formant Colonie

MG: Matière grasse

EPS: Exo-polysaccharides

AGS: Acide Gras Saturé

AGPI: Acide Gras Polyinsaturé

AGMI: Acide Gras Mono-Insaturé

EAG: Equivalent d'Acide Gallique

TPC: Teneur en Polyphénols Totaux

EQ: Equivalent de quercétine

HPLC: Chromatographie Liquide à Haute Performance

Liste des figures

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figure 01 : | Capsules de lin..... | 04 |
| Figure 02 : | Graines de lin..... | 04 |
| Figure 03 : | Fleurs de lin..... | 04 |
| Figure 04 : | Représentation schématique de la graine (A), section longitudinale de la graine (B, C)..... | 05 |
| Figure 05 : | Variétés de lin: capsules et grains..... | 08 |
| Figure 06 : | Les espèces de lin sauvage..... | 08 |
| Figure 07 : | Morphologie électronique de <i>L. bulgaricus</i> (x1000)..... | 19 |
| Figure 08 : | Morphologie électronique de <i>S. thermophilus</i> (x1000)..... | 19 |
| Figure 09 : | Diagramme de fabrication de yaourt..... | 24 |
| Figure 10 : | Démarche expérimentale de la préparation des échantillons..... | 36 |
| Figure 11 : | Evaluation préférentielle de la couleur des produits finis..... | 38 |
| Figure 12 : | Evaluation préférentielle du goût des produits finis..... | 38 |
| Figure 13 : | Evaluation préférentielle de l'odeur des produits finis..... | 39 |
| Figure14 : | Evaluation préférentielle de la texture des produits finis..... | 40 |
| Figure 15 : | Evaluation préférentielle de l'acidité des produits finis..... | 40 |
| Figure 16 : | Evaluation de l'acceptabilité générale des produits analysés..... | 41 |

Liste des tableaux

| | | |
|---------------------|--|----|
| Tableau 01 : | Composition chimique (%) des grains de lin..... | 09 |
| Tableau 02: | Les lipides contenus dans le grain de lin (g/100g). | 09 |
| Tableau 03: | Composition des graines de lin en acides gras. | 09 |
| Tableau 04: | La composition en acides aminés du grain de lin. | 10 |
| Tableau 05: | Les vitamines solubles du grain de lin. | 11 |
| Tableau 06: | La composition en minéraux du grain de lin. | 11 |
| Tableau 07: | Composition nutritionnelle de différents types de yaourt pour 100 g de produit. | 20 |
| Tableau 08: | Teneur en acides gras (g/100g) de différents types de yaourt..... | 21 |
| Tableau 09: | Rendement en huile des différentes variétés de lin..... | 26 |
| Tableau 10: | La teneur en acides gras polyinsaturés des différentes variétés de lin.... | 28 |
| Tableau 11: | La teneur en acides gras saturés des différentes variétés de lin..... | 29 |
| Tableau 12: | Teneurs en protéines des différentes variétés de lin..... | 29 |
| Tableau 13: | Profil en acides aminés des graines de lin..... | 30 |
| Tableau 14: | La teneur en glucides de quelques variétés de lin..... | 31 |
| Tableau 15: | Teneurs en mucilages des différentes variétés de lin..... | 32 |
| Tableau 16: | Teneurs en composés phénoliques de quelques variétés de lin..... | 33 |
| Tableau 17: | Teneurs en flavonoïdes de deux variétés de lin..... | 33 |

Introduction

La croissance de la population mondiale et l'augmentation du niveau de vie exigent un approvisionnement accru des denrées alimentaires. Celui-ci peut être obtenu non seulement par une augmentation de la production, mais également par une amélioration de la qualité des aliments. C'est le cas de l'industrie laitière qui génère de façon continue des nouveaux produits alimentaires à l'instar des laits fermentés (**Anonyme, 1995**).

Le yaourt est l'un des produits du lait fermenté le plus consommé au monde, où il a connu un développement spectaculaire au cours des dernières années. Il occupe une place très importante au sein d'une alimentation saine et équilibrée non seulement à cause de sa grande valeur nutritive, mais également grâce au plaisir que procure au consommateur. Il est obtenu par la fermentation lactique, due à l'activité de deux espèces des bactéries lactiques : *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* (**Yildiz, 2010**).

Les produits laitiers ne conviennent pas aux humains en raison des acides gras trans, du cholestérol et des acides gras saturés présents dans leur composition. On met tellement l'accent sur le remplacement des graisses des produits laitiers par des graisses végétales appropriées issues généralement des plantes médicinales et des graines oléagineuses tel que le soja, le tournesol, le sésame, le lin et d'autres (**Kaci et Sassi, 2007**).

La graine de lin peut être considérée comme une meilleure source des graisses végétales. Elle a été utilisée comme une céréale alimentaire nutritionnelle précieuse dans les régimes alimentaires et en médecine traditionnelle pendant des milliers d'années et plus récemment. Elle est identifiée comme un aliment fonctionnel, dont les avantages sur la santé sont généralement attribués à une forte concentration d'acide linoléique (oméga 3) et de lignanes, ainsi que des quantités importantes de fibres alimentaires, y compris des fibres solubles et insolubles (**Anon, 2003**).

Ce travail rentre dans le cadre d'enrichissement de yaourt industriel « Ramdy » par la poudre de lin afin d'obtenir un aliment fonctionnel à caractère nutritionnel et thérapeutique. Le choix de cette graine est justifié par sa richesse en fibres (mucilages), en acides gras polyinsaturés, en vitamines E et en composés phénoliques. Le travail consiste dans la formulation de plusieurs recettes de yaourt contenant différentes concentrations de la poudre des graines de lin (0%, 4%, 7% et 10%).

Dans le cadre de cette étude, ce mémoire est composé de deux parties :

- La première partie propose une mise au point bibliographique. Elle est divisée en deux chapitres, dont le premier correspond à des généralités sur la graine de lin et le second chapitre à des généralités sur le lait fermenté type yaourt.
- La seconde partie, est aussi divisée en deux parties : la première partie est une caractérisation de la composition des graines de lin, tandis que la deuxième englobera les résultats de l'évaluation sensorielle.
- Le manuscrit est achevé par une conclusion générale et perspectives.

1. Histoire de lin

La culture de lin est l'une des plus anciennes (Age de pierre) (**Jhala et Hall, 2010**). Son usage par l'homme est attesté à plus de 30000 ans. Il a été découvert dans les sites archéologiques à Tell Abu Hureyra en Syrie. Il était largement implantée en Egypte et en Europe où il a été utilisé pour fabriquer du papier et des tissus durant plusieurs siècles (**Chatain et al., 2016**).

De nos jours, le lin continue d'être largement cultivé pour la nourriture, son huile et ses fibres (**Oomah, 2001**). C'est la troisième plus grande culture de fibres naturelles et l'une des cinq principales cultures oléagineuses au monde, étant cultivé dans plus de 50 pays. Le Canada est le principal producteur de lin, suivi de la Chine, des États-Unis et de l'Inde (**Kasote et al., 2013**).

2. Définition

Le lin du nom Latin *Linum usitatissimum* signifie «le plus utile» (en anglais Flax, en arabe El-katan) est une plante herbacée annuelle qui appartient à la famille des Linacées. Le lin est utilisé dans les domaines de l'industrie textile (fibres), alimentaire (graine et huile) et chimique (huile) (**Beroual et al., 2013**).

3. Classification

La famille des *Linaceae* est géographiquement répandue avec environ 300 espèces dans le monde entier. Elle est positionnée dans le royaume des plantes comme suit :

- **Division** : Magnoliophyta (Angiospermes).
- **Classe** : Magnoliopsida (Dicotylédones).
- **Sous-classe** : Rosidae.
- **Ordre** : Linales.
- **Famille** : Linaceae
- **Genre** : *Linum*.
- **Espèce** : *Linum usitatissimum* (espèce cultivé actuellement) (**Guignard, 2015**).

4. Description générale et morphologie

Le lin c'est une plante dicotylédone autogame d'une racine pivotante, présente sous l'aspect d'une tige fibreuse. La hauteur de la plante varie de 20 à 150 cm. Ses feuilles sont simples, alternes et lancéolées, elles varient de 3 à 13 mm de largeur et de 15 à 55 mm de longueur. Elles sont disposées en panicule et toutes les branches de la pousse se terminent en fleurs (Vaisey et Morris, 2003).

Les cinq pétales sont inversement ovoïdes de couleur varie de blanc, bleu (plus fréquente), rose et violet. Les cinq étamines sont jointes à leur bord basal. Les étamines et les cinq anthères varient avec la même gamme de couleurs que celle des pétales. Les anthères peuvent également être de couleur orange ou jaune. Les cinq carpelles produisent un fruit de type capsule, de 6–9 mm de large. Chaque carpelle forme deux cloisons qui divisent la capsule contenant dix grains au maximum (Vaisey et Morris, 2003).



Figure 1: Capsules de lin



Figure 2: Graines de lin
(Heli *et al.*, 2007).



Figure 3: Fleurs de lin

4.1. Structure de la graine de lin

Les graines des différentes variétés de lin sont ovales de dimensions 2,5mm*5mm*1mm, et ont un poids moyen de 3 à 13 mg. La couleur de la graine peut varier du jaune au brun, sa texture est croquante et moelleuse et elle possède un goût agréable de noisette (Carter, 1996). Elle se compose de deux compartiments principaux: l'embryon et des enveloppes protectrices maternelles appelées téguments ou testa (coque/spermoderme) (Gutierrez *et al.*, 2006). Ces enveloppes protégeant l'embryon contre les attaques pathogènes et les dommages mécaniques (Attoumbré *et al.*, 2010). Différentes assises cellulaires composent le tégument (en partant de l'intérieur vers l'extérieur) (Figure 4) :

- Une couche de pigments, contenant les tanins responsables de la couleur de la graine (du jaune au marron) (endosperme);
- Deux assises cellulaires de fibres (longitudinales et transverses) (spermoderme);

- Une couche de cellules rondes (spermoderme);
- Une assise mucilagineuse, contenant le mucilage est située sur la couche la plus externe de la graine de lin (épiderme) (Kadivar, 2001).

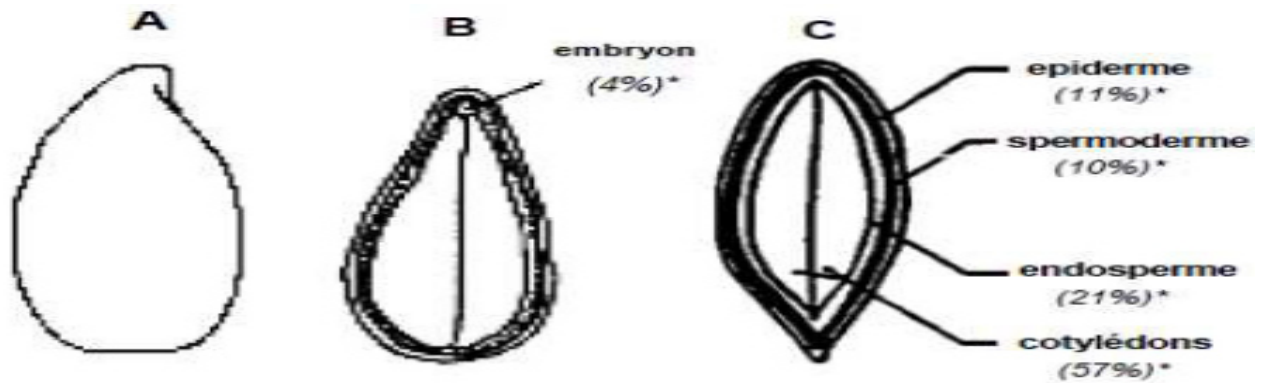


Figure 4: Représentation schématique de la graine (A), section longitudinale de la graine (B,C) (Daun *et al.*, 2003).

5. Culture de lin et les facteurs qui l'influencent

5.1. Culture de lin

Le lin cultivé est une culture annuelle d'été dans les climats tempérés et les zones subtropicales (Vaisey Morris, 2003). C'est une espèce végétale à cycle court: 100 jours en moyenne, sa culture respecte l'écosystème et ne nécessite que très peu d'intrants (produits phytosanitaires et engrais) et d'eau (l'eau de pluie est suffisante) (Onidol, 2009).

Le lin se développe mieux dans les régions au climat humide et modérément chaud, avec une humidité suffisante pendant la période de croissance et où de longues périodes de pluie continues n'alternent pas avec une sécheresse longue et continue (Dillman et Goar, 1937).

5.1.1. Facteurs influençant la culture du lin

a. Température

Le lin est bien adapté à l'ouest du Canada où les températures varient de 10 à 25°C pendant la saison de croissance, sa température optimale de croissance est entre 12°C et 24°C (Braidek, 1975).

b. Eau

Le lin peut être cultivé dans des conditions irriguées et pluviales. En conditions pluviales, le lin a besoin de 450 à 750 mm de pluie répartis uniformément tout au long de la saison de croissance (**Braidek, 1975**).

c. Préparation du sol

La production de lin est optimale sur des sols bien drainés et moyennement lourds, en particulier le limon limoneux, le limon argileux et les argiles limoneuses (**Braidek, 1975**).

d. Fertilisation

Les niveaux de nutriments dans le sol varient considérablement selon les régions et selon les types de sol. Le lin est très sensible à l'engrais appliqué avec la graine et même des doses faibles causent parfois des dommages aux semis (**Braidek, 1975**).

6. Variétés de lin

Le développement industriel a conduit à la sélection de deux familles de lin, l'une pour la culture des graines riches en huile polyinsaturée et plus particulièrement en acide linoléique (lin oléagineux) et l'autre pour ses fibres contenues dans ses tiges (lin "fibre") (**Vaisey et Morris, 2003**).

Contrairement au lin fibre, le lin oléagineux présente un taux de ramifications des tiges plus important, ce qui conduit à une production plus élevée des grains. Les variétés de lin oléagineux sont différenciées en variétés de printemps et d'hiver. Le lin de printemps est semé en mars et le lin d'hiver est semé en septembre et présente un rendement en graines plus stable, car la variété est plus tolérante au froid et moins sensible aux stress environnementaux (**Labalette, 2011**).

Il existe de nombreux noms pour le lin. Les noms renvoient aux expériences faites avec le lin en tant que plante cultivée. Selon que la capsule s'ouvre ou reste fermée à maturité (déhiscence ou indéhiscence), la hauteur des plantes, le poids de mille graines, on distingue : (**Schilperoord, 2018**).

6.1. *Convar. crepitans (Boenningh)*

Les capsules sont déhiscentes et les graines tombent à terre. Cette variété fut dénommée Springlein. L'éclatement des capsules provoque un son, c'est pourquoi on appelait cette variété également lin sonore (Figure 5) (**Schilperoord, 2018**).

Chez **Johann Conrad Freyenmuth (1827)**, on trouve une autre dénomination pour cette variété, il l'appela lin solaire, car en étant exposée au soleil lorsqu'elle sèche, la capsule éclate par elle-même et libère les graines. Le lin dit Springlein était toujours cultivé pour ses fibres longues.

6.2. *Convar. elongatum*

Elle désigne le lin textile typique. La longueur des plantes dépasse 70 cm et tout au plus le tiers supérieur de la tige possède des pousses latérales. Le poids de mille graines (PMG) du lin se situe entre 4 et 7 g. Les Capsules ne s'ouvrent pas pendant la maturation ou ne se séparent que légèrement. Les graines ne sont pas facilement brisées (Figure 5) (**Vavilov, 1926**).

6.3. *Convar. mediterraneum*

Les plantes font moins que 70 cm de haut, elles sont ramifiées dans plus que leur tiers supérieur. En général, la tige principale des plantes n'est pas ramifiée depuis la base. Le PMG est supérieur à 9 g. Les capsules sont en conséquence plus grosses. Le lin de ce type est originaire de la région méditerranéenne et a une longue période végétative (**Dillman, 1953**).

6.4. *Convar. usitatissimum*

Les plantes font moins que 70 cm de haut, elles sont ramifiées dans leur cinquième supérieur. Le PMG est inférieur à 9 g, les tiges sont souvent ramifiées à la base. C'est le type de lin le plus répandu au monde comprend des lins à deux fins cultivées pour leurs fibres et pour leurs graines à huile (Figure 5) (**Schilperoord, 2018**).

En plus de l'espèce cultivée, il existe d'autres lins sauvages (Figure 6): *Linum angustifolium* ; *Linum album* ; *Linum grandiflorum* d'origine africaine à grandes fleurs rouges et *Linum perenne* que l'on rencontre en Europe et en Asie tempérée (**Renouard, 2011**).

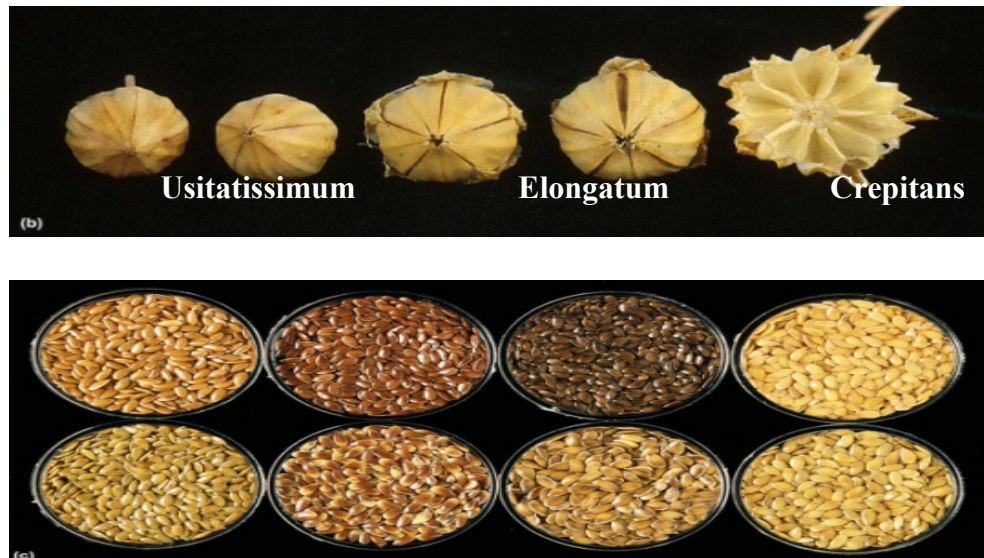


Figure 5: Variétés de lin: capsules et grains (Om Lukow, 2004).



Figure 6: Les espèces de lin sauvage (Renouard, 2011).

7. Composition de grains de lin

Le grain de lin est riche en lipides, essentiellement l'acide α -linoléique. Sa composition chimique varie considérablement entre les variétés et dépend aussi des conditions de l'environnement dans les quelles la plante est cultivée (Daun *et al.*, 2003).

La graine de lin contient environ 40% de lipides, 30% de fibres alimentaires, 20% de protéines, 460-520 Kcal/100g d'énergie et une faible quantité d'amidon (Marie-Claude, 2011).

Les téguments sont composés majoritairement de polyphénols et de composés glucidiques (mucilage), alors que l'embryon est composé majoritairement d'huile et de protéines (Lepiniec *et al.*, 2006; Venglat *et al.*, 2011). Le tableau suivant montre le taux de chaque composant contenu dans la graine de lin.

Tableau 1: Composition chimique des grains de lin (Coskuner et Karababa, 2007).

| Humidité | Protéines | Lipides | fibres | cendres |
|----------|-----------|---------|--------|---------|
| 4-8% | 20-25% | 30-40% | 20-25% | 3-4% |

7.1. Lipides

Les graines de lin contiennent 35 à 45% d'huile, ce qui permet de classer le lin dans la catégorie des oléagineux. Une partie de l'huile se trouve dans la cuticule (10%), cependant la majorité est localisée au niveau des cellules des cotylédons (78%) et de l'endosperme (12%) (Oomah, 2001). La teneur en acides gras et en lipides des grains de lin sont présentés dans les tableaux 2 et 3 respectivement.

Tableau 2: Les lipides contenus dans le grain de lin (g/100g) (Daune *et al.*, 2003).

| Stérols | Cholestérol | Lipides complexes | Glycolipides | Phospholipides |
|---------|-------------|-------------------|--------------|----------------|
| 2,9 | 0-0,09% | 1,8 | 2,9 | 2,3 |

Tableau 03: Composition des graines de lin en acides gras (Odile, 2015).

| Acides gras | Quantité en % des acides gras |
|---------------------------|-------------------------------|
| Acides gras saturés | 6-10 |
| Palmitique | 4-6 |
| Stéarique | 2-4 |
| Acides gras monoinsaturés | 11-23 |
| Acides gras polyinsaturés | 70-80 |
| Linoléique | 12-18 |
| Alpha-linolénique | 54-71 |

7.2. Protéines

La teneur en protéines des graines de lin varie de 20 à 30%. Elles sont limitées par 20% d'albumines et 80% des globulines (légumineuses) (Martinchik *et al.*, 2012).

Les graines sont composées de protéines de réserve (10 à 30%) qui sont accumulées dans les cotylédons (76%) et une partie minoritaire au niveau de l'endosperme (16%). Ces protéines sont synthétisées au cours de la phase de maturation (Oomah, 2003).

Les protéines de lin présentent un profil d'acides aminés similaire à celui des protéines de soya (Tableau 4) (**Malcolmson, 2012**).

Tableau 4: La composition en acides aminés du grain de lin (**Martinchik *et al.*, 2012**).

| Acide aminé | Quantité (g/100g) | Acide aminé | Quantité (g/100g) |
|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| l'acide glutamique | 19,6 | Phénylalanine/valine | 4,6 |
| l'acide aspartique | 9,3 | l'isoleucine/lysine | 4,0 |
| l'arginine | 9,2 | thréonine | 3,6 |
| Leucine | 5,8 | Cystine | 1,1 |
| Méthionine | 4,6 | Tryptophane | 1,8 |

7.3. Glucides

Les graines de lin peuvent contenir un petit pourcentage de sucres solubles probablement inférieur à 2%. La majorité des glucides présents dans les graines de lin sont du groupe qui est résistantes à l'action des enzymes digestives humaines (**Vaisey et Morris, 1997**). Deux types de sucres entrent dans la composition des graines de lin :

- L'amidon (constituant de réserve des graines): sa teneur est très faible, localisé dans les embryons et les téguments des graines de lin.
- Les fibres alimentaires sont plus importantes (25-32%), elles comprennent des fibres solubles (4,3-8,6 mg/g) et des fibres insolubles (12,8-17,1mg/g) (**Acket *et al.*, 2011**). Elles sont constituées majoritairement de mucilage (solubles), mais également de cellulose et de lignine (insolubles) (**Jahla et Hall, 2010**).

Les mucilages sont des hydrocolloïdes solubles dans l'eau, composés principalement de deux polysaccharides: un polymère neutre et un polymère acide. Ils représentent environ 8% de poids des graines (**Guilloux *et al.*, 2009**).

7.4. Vitamines

Selon la teneur en vitamines du groupe B et certains minéraux, les graines de lin sont proches des cultures. Elles contiennent la vitamine E sous forme de gamma-tocophérol (9,2 mg/100 g de graines) et une petite quantité de vitamine K sous forme de phylloquinone (**Malcolmson *et al.*, 2000**). Les teneurs en vitamines sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5: Les vitamines solubles du grain de lin (Daune *et al.*, 2003).

| Vitamines | Teneur (mg/100 g) | Vitamines | Teneur (mg/100 g) |
|----------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| Acide ascorbique (C) | 1,3 | Acide pantothénique (B5) | 1,5- 7 |
| Thiamine (B1) | 0,03- 0,6 | B6 | 0,4- 10 |
| Riboflavine (B2) | 0,1- 0,3 | Folâtre | 278 |
| Niacine (B3) | 1,4- 5,5 | Cyan cobalamine (B12) | 0,5 |

7.5. Cendres et minéraux

La grain de lin contient les composés suivants : potasse, soude, magnésie, oxyde de fer, acide phosphorique, acide sulfurique, chlore, silice (Château, 1863), carbonate de calcium, aluminium et des petites quantités de cadmium (Daune *et al.*, 2003). Le tableau suivant présente le profil minéral du grain de lin.

Tableau 6: La composition en minéraux du grain de lin (Daune *et al.*, 2003).

| Composé minéral | (mg/g de grain) | Composé minéral | (mg/g de grain) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Potassium | 5,5-10,6 | zinc | 38,2-93,6 |
| Magnésium | 3,2-4,1 | manganèse | 13-42,8 |
| Calcium | 2-4,4 | aluminium | 2,2-9,5 |
| Sodium | 0,2- 0,6 | nickel | 0,8-2,8 |
| Phosphore | 4,4-7,6 | sélénium | 0,6 |

7.6. Composés phénoliques

a. Polyphénols

Les graines de lin sont également composées de polyphénols. Ces molécules protègent la plante contre les UV et les pathogènes et les insectes. Les polyphénols de lin sont composés de faibles teneurs en acides phénoliques (8 à 10 g/Kg de lin), en flavonoïdes, en tanins et d'une teneur élevée en lignanes et notamment en SDG (secoisolaricirésinol di-glucoside) (Nesbitt *et al.*, 1999).

b. Lignanes

Les lignanes sont définis comme étant un groupe de polyphénols (Moss, 2000). La graine de lin est la source la plus riche dans le monde végétal de lignanes (Martinchik *et al.*,

2012). Elle fournissant jusqu'à 800 fois plus de lignanes que la plupart des autres aliments (Malcolmson, 2012).

Les glucosides de lignanes retrouvés dans la graine de lin sont le SDG, le matairésinol, le pinorésinol et le laricirésinol (Thompson *et al.*, 2006). Le prédomine est le SDG, qui peut représenter plus de 1% de la masse des graines et 5% de celle des téguments (Martinchik *et al.*, 2012).

c. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des pigments responsables de la coloration des graines. Ils sont répartis en plusieurs classes : les flavones, les flavonols, les flavanones, les anthocyanines, les flavanols. La graine de lin est constituée de 35 à 71 mg/100g de flavonoïdes et majoritairement de flavonols (Oomah *et al.*, 1996).

8. Effets thérapeutiques des grains de lin

L'huile et les graines de lin sont redécouvertes comme de véritables aliments indispensables pour la santé. Le lin n'est pas un nouvel aliment, il est en fait un des plus anciens et précieux en raison de ses propriétés de guérison. C'est une plante millénaire aux vertus médicinales, son utilisation en médecine remonte également à l'Égypte ancienne (Anwar *et al.*, 2013).

La graine de lin est également considérée comme efficace en cas de troubles respiratoires et urinaires. Elle calme les douleurs pulmonaires et à un moindre degré l'irritation de l'appareil urinaire. Elle s'avère efficace contre la toux chronique ou aiguë, la bronchite, l'emphysème et la cystite chronique, également comme une prévention utile contre l'angine de poitrine, le rhume et l'artériosclérose (Halligudi, 2012).

En usage externe, un cataplasme de graines concassées ou de farine de lin appliqué sur les furoncles et les anthrax, calme les ulcérations et draine le pus. La graine du lin est aussi conseillée chez les personnes souffrant de sclérose, elle a aussi un effet sur les systèmes hormonal et immunitaire. L'utilisation quotidienne d'huile de lin protège la membrane gastrique et urinaire. Les graines de lin contiennent des quantités considérables de vitamine E, qui augmente l'excrétion de sodium dans l'urine (Katare *et al.*, 2012).

8.1. Composés actifs des graines de lin

La valeur nutritive et les propriétés fonctionnelles du lin sont analysées. Il existe trois groupes de composés dans ces graines, caractérisés par une activité biologique spécifique et des propriétés fonctionnelles: ALA (oméga-3), les fibres alimentaires solubles et les composés phénoliques (**Anwar et al., 2013**).

a. Acides gras polyinsaturés (oméga-3)

Plus de 57% des acides gras du lin sont ALA. Il a deux grands axes de valorisations: le premier réside dans leur importance et leur rôle dans le maintien de divers organes, surtout le cerveau, et le second réside dans la prévention de diverses pathologies et des maladies cardiovasculaires, les syndromes métaboliques, réduction des taux de lipides et de glucose, la pression artérielle et le stress oxydatif (**Bloedon et Szapary, 2004**).

b. Mucilages

Les mucilages sont des polysaccharides qui possèdent une très importante capacité de gonflement en milieu humide, c'est à eux que la graine de lin doit ses capacités laxatives et émoullientes. Notamment, en cas de constipation chronique sous forme concassée, les graines de lin absorbent les liquides intestinaux. Les mucilages favorisent le drainage du colon et contribuent à ramollir les selles et à faciliter leur évacuation (**Blumenthal, 2000**). Aussi grâce aux mucilages, les graines du lin prodiguent un effet calmant et anti-inflammatoire (l'inflammation intestinale et les hémorroïdes) (**Chen, 2012**).

c. Lignanes

Le lin contient également des lignanes qui ont des propriétés antioxydantes et anticancéreuses (**Chen, 2012**). Le SGD supprime le développement de l'athérosclérose (**Prasad, 2009**), réduit les taux d'incidence du diabète de type 1 et retarde le développement du diabète de type 2 (**Prasad et Dhar, 2016**).

Les lignanes possèdent une activité antimicrobienne contre cinq souches de bactéries : *Staphylococcus aureus*, *S. agalactiae*, *Enterococcus faecalis*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis* et une levure *Candida albicans* (**Prasad et Dhar, 2016**).

9. Applications des grains de lin

9.1. Incorporation dans l'alimentation humaine

L'ajout de graines de lin à une formulation alimentaire représente un excellent choix dans l'amélioration de la valeur nutritive et la texture des aliments, et ajoutent une saveur de noix. Elles peuvent être utilisées dans une variété d'applications (**Malcolmson, 2012**).

Le lin a trouvé une place de choix dans l'alimentation moderne avec l'avènement des régimes riches en AGP (**Chen *et al.*, 1994**). Il existe plusieurs façons de manger ces graines : moulues, sous forme d'huile ou ajoutées aux produits de la boulangerie (**Bernacchia *et al.*, 2014**).

a. Applications des graines de lin entières

Les graines de lin entières peuvent être utilisées dans du gruau de grains entiers, ou saupoudrées sur les salades, petits pains, muffins, bagels, et pains avant la cuisson pour leur donner un aspect agréable et croquant (**Morris, 2003**).

Contrairement aux idées reçues, les graines de lin entières n'apportent aucun bienfait à l'organisme. En effet, les ALA et les fibres sont contenues à l'intérieur de la graine, que seul un broyage préalable permet de libérer ces composés (**Bleu-Blanc-Cœur, 2016**).

b. Applications des graines de lin moulues

Les graines de lin moulues sont disponibles en différentes grosseurs selon le fabricant (**Lipilina et Ganki, 2009**). L'ajout des graines de lin moulues aux boissons fait augmenter la viscosité créée par la haute teneur en matières grasses et à l'absorption de l'eau libre en raison de sa teneur élevée en fibres (**Malcolmson *et al.*, 2000**).

c. Application de la farine de lin

La farine de lin disponible sur le marché, est produite après l'extraction d'huile. Elle contient des niveaux élevés de lignanes, de protéines et de fibres (**Manthey *et al.*, 2002**). Elle est généralement associée à une autre farine, telle que la farine de blé ou de froment qui agissent comme un buvard et permettent une meilleure conservation des ALA (**Bleu-Blanc-Cœur, 2016**).

9.2. Incorporation des grains de lin dans l'alimentation animale

Dans les filières animales, la graine de lin a également ajoutée aux rations de bovins laitiers, de porcs et aux volailles pour but de fournir des aliments (produits laitiers, œufs, jambon, et viandes) enrichis naturellement en ALA (**Labalette *et al.*, 2011**).

Le lin est intégré aux rations animales sous plusieurs formes : graines entières, suppléments d'huile, coques ou sous forme de farine. La fraction fine obtenue comme sous-produit du décorticage pourrait être un ingrédient potentiel dans l'alimentation animale (**Oomah et Mazza, 1998**).

9.3. Lin à usage industriel

Chaque partie de la plante de lin est utilisée commercialement, directement ou après traitement. La graine fournit une huile riche en ALA, protéines digestibles et lignanes. Il est également utilisé pour fabriquer des peintures, des vernis, encres d'imprimerie, savons et de nombreux autres produits (**Halligudi, 2012**).

1. Historique

Le yaourt est un produit originaire d'Asie. Il a été trouvé dès 2000 années avant JC dans les civilisations du Moyen-Orient comme un moyen de conservation de lait (**Yildiz, 2010**).

Les premiers yaourts ont probablement été fermentés sur les sacs en peau de chèvre portés par les nomades (**Reay, 1988**). Une autre légende affirme que le yaourt a été inventé pour la première fois par les Balkans, à partir de lait de brebis (**Kosikowski et Mistry, 1997**).

En 1902, deux médecins français, Rist et Khoury, isolent les bactéries présentes dans un lait fermenté égyptien. Elie Metchnikoff isole ensuite une bactérie du yaourt « le bacille bulgare » (**Rousseau, 2005**).

Aujourd'hui, le yaourt est désormais un produit populaire et une partie importante de l'alimentation en Europe, en Australie et dans de nombreux autres pays du monde (**Kosikowski et Mistry, 1997**).

2. Définition

Le mot yaourt (yoghourt ou yogourt) est dérivé du mot turc (yoghurmak) signifiant «épaissir» (**Peters, 2000**).

Le Codex Alimentarius (**Codex Stan A-11 (a) —1975**) définit ainsi le yaourt comme un produit laitier coagulé obtenu par fermentation de l'acide lactique sous l'action de *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* à partir du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en solides secs) avec ou sans ajouts facultatifs (lait en poudre, lait écrémé en poudre, etc.).

3. Classification du yaourt

Les procédés de fabrication permettent d'obtenir différents types du yaourt (**Delolme et Etievant, 2011**) :

3.1. Yaourt « ferme »

Yaourt conditionné en pot après mélange d'ingrédients, passé à l'étuvage à 45°C puis en chambre froide pour arrêter l'acidification.

3.2. Yaourt « brassé »

Yaourt préparé en vrac dont le caillé subit un brassage puis un refroidissement avant d'être conditionné en pots qui seront stockés au froid (4°C).

3.3. Yaourt « à boire »

Le yaourt à boire est un yaourt brassé dont la teneur totale en solides ne dépasse pas 11% et qui a subi une homogénéisation supplémentaire pour réduire la viscosité.

4. Ingrédients et matières premières

4.1. Lait frais

La principale matière première pour la fabrication des yaourts est le lait, essentiellement le lait de vache (**Tamime et Robinson, 1985**).

4.2. Poudre de lait

Afin d'augmenter la viscosité et la consistance des yaourts, la teneur en matière sèche du lait est augmentée au préalable jusqu'à 10-12% (**Schkoda et al., 2001**). Cet enrichissement est réalisé par l'addition de poudre de lait écrémé à 40°C, et suivi d'une étape de filtration et désaération pour une bonne réhydratation des poudres (**Jeantet et al., 2008**).

4.3. Protéines et matière grasse

Les protéines et la MG ont un rôle déterminant sur la texture, sur les caractéristiques organoleptiques (saveur, arômes), Elles contribuent également à masquer l'acidité du produit (**Jeantet et al., 2008**).

4.4. Eau

L'eau est l'une des matières premières de tous les types des produits laitiers reconstitués et recombinaison. Elle doit être potable, de bonne qualité, dépourvue de microorganisme et d'un niveau de dureté acceptable (**Gosta, 1995**).

4.5. Additifs

a. Arômes

L'aromatisation est l'un des principaux facteurs de la qualité (**Gosta, 1995**). L'arôme permet de varier la saveur d'un yaourt et de la rendre plus agréable (**Passebecq, 1988**).

b. Stabilisants

Les stabilisants sont largement ajoutés dans les yaourts brassés pour améliorer la viscosité et la texture, réduire la sensibilité à la synérèse, minimiser la séparation du lactosérum et maintenir la structure du gel (**Varnam et Sutherland, 1994**). Ils comprennent la gélatine, l'amidon pré-gélatinisé, l'agar, la pectine et d'autres (**Tamime, 2007**).

c. Sucres et édulcorants

Ils sont utilisés pour leur pouvoirs énergétiques et sucrants afin d'améliorer les caractères organoleptiques du produit (**Vignola, 2002**). En raison de l'effet inhibiteur de sucre sur les bactéries de yaourt, le niveau ajouté ne doit pas dépasser 10 à 11% (**Chandan, 2004**).

d. Conservateurs

Les conservateurs sont couramment utilisés dans la préparation des yaourts aux fruits ou concentrés. Leur fonction de base est d'empêcher la croissance des microorganismes indésirables contaminant le yaourt pendant ou après la fermentation. Les plus utilisés sont : sorbate de potassium et benzoate de sodium (**Andres, 1987**).

e. Colorants

Les colorants utilisés dans les yaourts sont soit naturels comprennent : les peaux de raisin, le caramel, la betterave, les carotènes, riboflavine et d'autres (**FDA, 2010**), soit artificiels fabriquées sous forme de poudre, granulés ou liquides (**Griffiths, 2005**).

5. Flore de fermentation de yaourt

5.1. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt

a. *Streptococcus thermophilus*

C'est une coque à Gram positif, non mobile, avec une température de croissance optimale de 37°C (**Robinson, 1993**), son rôle principal est la fermentation du lactose du lait en acide lactique. Elle est responsable de la texture des laits fermentés et augmente la viscosité du lait par la production des polysaccharides (**Bergamaier, 2002**).

b. *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus*

Le genre *Lactobacillus* est caractérisé par des cellules Gram-positif, non sporulées et micro-aérophiles, obligatoirement homo-fermentaires. *L. delbrueckii ssp.* est l'une des trois sous-espèces de *Lactobacillus* (**Holt et al., 1994**) avec une température optimale de croissance de 45°C (**Robinson et Tamime, 1993**). Elle a un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptique et hygiénique du yaourt (**Teyssset et Garel, 2000**).

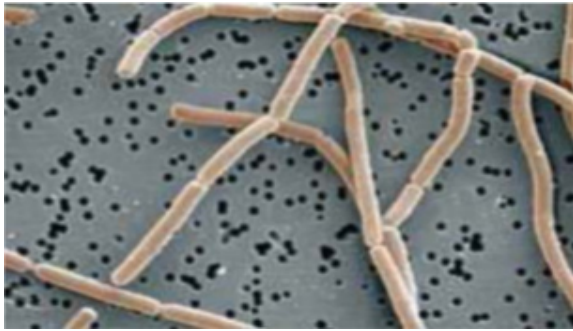


Figure 1: Morphologie électronique de *L. bulgaricus* (x1000)

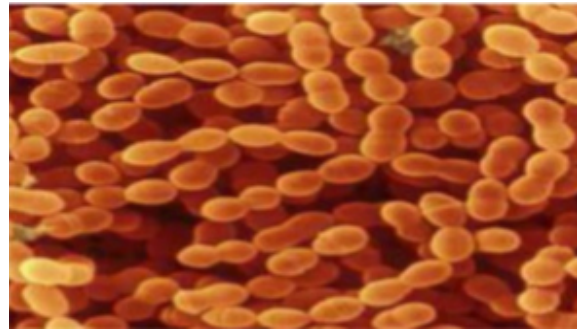


Figure 2: Morphologie électronique de *S. thermophilus* (x1000) (Terre, 1986).

5.2. Intérêt et fonctions des bactéries du yaourt

Dans la production de yaourt, l'un des facteurs les plus importants pour déterminer la qualité du produit est le type de culture de départ utilisée. Les propriétés technologiques les plus importantes liées aux cultures de départ de yaourt peuvent être énumérées comme suit:

a. Activité acidifiante

Le taux d'acidification est la propriété technologique la plus importante d'une culture de yaourt. Une acidification rapide est essentielle pour l'arôme, la texture et la saveur du produit (Vuyst, 2000). Le goût piquant et acide caractéristique du yaourt a été obtenu par l'acide lactique produit lors de la croissance de *S. thermophilus* et *L. bulgaricus* dans le lait (Tamime et Robinson, 2000).

b. Activité protéolytique

L'activité protéolytique peut jouer un rôle important tout en combinant différentes souches de *L. bulgaricus* et *S. thermophilus*. La protéolyse était affectée par le pourcentage des solides totaux du lait, le temps d'incubation et le préchauffage du lait, en plus des souches utilisées (Zourari *et al.*, 1992).

c. Activité aromatique (production d'acétaldéhyde)

Divers composés aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. Parmi ceux-ci, l'acétaldéhyde, qui provient en grande partie de la thréonine, joue un rôle essentiel dans les caractéristiques organoleptiques recherchées. La production de ce métabolite est due principalement au lactobacille (Anonyme, 1995).

d. Activité texturante

La texture constitue pour le consommateur d'important élément d'appréciation de la qualité du yaourt. L'augmentation de la viscosité est en général attribuée à la production d'exopolysaccharides (EPS) qui sont essentiellement composés de rhamnose, d'arabinose, et de mannose (**Schmidt *et al.*, 1994**). Cette production est le résultat de l'action exercée par *S. thermophilus*, mais d'après **Tamime (1999)**, *L. bulgaricus* possède une aptitude à produire des EPS composés de galactose, glucose et rhamnose.

e. Comportement associatif des deux souches (symbiose)

S. thermophilus et *L. bulgaricus* se développent en association, appelée protocoopération, ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel (**Radke-Michell et Sandine, 1984**). Ces bactéries, par leur activité acidifiante, ont un effet bénéfique du point de vue qualité hygiénique de produit. En parallèle, elles engendrent des produits secondaires qui contribuent à l'amélioration de la qualité organoleptiques du yaourt (**Ngounou *et al.*, 2003**).

6. Composition chimique du yaourt

La composition nutritive du yaourt est basée sur le lait dont il est dérivé. Cette composition peut être aussi variable que la diversité des produits ajoutés, la source et le type de lait utilisé (**Tamime *et al.*, 2006**) comme il est présenté le tableau 7.

Tableau 07: Composition nutritionnelle des différents types de yaourt pour 100 g du produit (**Anses, 2008**).

| Yaourt | Energie kcal | Eau (g) | Protéines (g) | Glucides (g) | Lipides (g) |
|--|-----------------|------------|------------------|-----------------|----------------|
| Yaourt nature au lait entier | 70,6 | 86,5 | 3,8 | 5 | 3,6 |
| Yaourt nature au lait partiellement écrémé | 47,7 | 88,2 | 4 | 4,8 | 1,02 |
| Yaourt nature au lait écrémé | 42 | 88,6 | 4,4 | 5,1 | 0,07 |
| Yaourt aromatisé sucré au lait demi-écrémé | 84,8 | 81,1 | 3,1 | 14,2 | 1,4 |
| Yaourt aux fruits sucrés au lait demi-écrémé | 91,8 | 77,6 | 3,2 | 15,2 | 1,69 |

6.1. Glucides

Le principal type de glucides du lait est le lactose, il forme environ 54% du lait écrémé total solides (**Saxelin et al., 2003**).

6.2. Protéines

La teneur en protéines du yaourt ne diffère pas de celle du lait, bien que les yaourts commerciaux puissent avoir des niveaux plus élevés (**Adolfson et al., 2004**).

Les protéines agissent sur la texture, la viscosité, la consistance et la fermeté de yaourt (**Vignola, 2002**).

Les bactéries lactiques produisent des enzymes qui hydrolysent partiellement les protéines du lait. Ainsi, ont rapporté une dégradation de la caséine par une protéase et une peptidase provenant respectivement de *L. bulgaricus* et *S. thermophilus*. De ce fait, un yaourt contient plus de peptides et d'acides aminés libres que le lait (**Rasic et al., 1971**).

6.3. Lipides

La matière grasse du lait est une grasse naturelle contribue à l'apparence, à la texture, à la saveur et à la stabilité des produits laitiers. C'est une source d'énergie et d'acides gras essentiels (**Saxelin et al., 2003**). Le tableau ci-dessous résume les teneurs en acides gras des différents types de yaourt.

Tableau 08 : Teneur en acides gras (g/100g) de différents types de yaourt (**Anses, 2008**).

| Type de yaourt | AGS | AGMI | AGPI |
|--|------|------|-------|
| Yaourt nature au lait entier | 2,22 | 0,99 | 0,9 |
| Yaourt nature au lait partiellement écrémé | 0,64 | 0,28 | 0,02 |
| Yaourt nature au lait écrémé | 0,04 | 0,01 | 0,002 |

6.4. Minéraux

La fraction minérale du lait et des produits laitiers est composée de macroéléments et des oligoéléments qui participent à la stabilisation du gel (**Vignola, 2002**). Le calcium est le nutriment le plus important qui a rendu le lait et les produits laitiers célèbres (**Gaucheron, 2011**).

6.5. Vitamines

Lait et par conséquent, le yaourt contient la plupart des vitamines nécessaires au fonctionnement de l'organisme. Des vitamines hydrosolubles telles que la thiamine, riboflavine, niacine, acide pantothénique, vitamine B6, biotine, folate, vitamine B12 et acide ascorbique et des vitamines liposolubles (A, D, E et K).

La vitamine B, présente dans les yaourts en quantités intéressantes, provient du lait utilisé, mais aussi de ferments lactiques. Les vitamines A et D ne sont présentes que dans les produits issus du lait entier (**Heaney, 2000**).

7. Grandes étapes de la fabrication du yaourt

Les procédés de fabrication des yaourts et des laits fermentés se caractérisent par trois grandes étapes : la préparation du lait, la fermentation et les traitements post-fermentaires du produit.

Le diagramme général de production (Figure 9) présente les étapes de la fabrication qui sont détaillées dans les paragraphes suivants :

7.1. Réception et préparation du lait

Le yaourt peut être produit à partir du lait de vache, de chèvre et autres. Cependant, le lait de vache est le plus utilisé (**Walstra et al., 1999**). Afin de prévenir la contamination après la traite, le lait devrait avoir une faible acidité (0,17% à 0,19%) et traire d'un animal en bonne santé (**Oliveira et al., 2002**).

7.2. Mélange

Les ingrédients liquides et solides sont mélangés d'une manière homogène par l'utilisation des mélangeurs mécaniques (**Chandan et O'Rell, 2006**).

7.3. Normalisation et standardisation des graisses

Ils correspondent à l'ajustement de niveau de matières grasses laitières. Cette teneur peut varier de 0,1% à plus de 10% (**Tamime, 2007**).

7.4. Homogénéisation

L'homogénéisation est un traitement mécanique de rupture des gras du lait dans le mélange de yaourt. Elle empêche l'écémage de yaourt et donne une consistance plus uniforme au produit fabriqué (**Chandan et O'Rell, 2006**). L'homogénéisation est

généralement réalisée à des températures comprises entre 55°C et 80°C (**Schkoda et al., 2001**).

7.5. Traitement thermique

Le lait destiné à la fabrication du yaourt doit être traité thermiquement de manière que la flore pathogène entière, les cellules végétatives et les enzymes qui y sont contenues sont détruites. La destruction induite crée un environnement propice à la croissance des bactéries de yaourt (**Celestino et al., 1997**). Le barème de traitement thermique le plus couramment utilisé est de 90-95°C pendant 3 à 5 min (**Mahaut et al., 2000**).

7.6. Ensemencement et fermentation

Après le traitement thermique, le lait est refroidi à 42–43°C puis inoculé avec la culture de départ (**Robinson et Tamime, 1993**). Les deux souches vivent en symbiose et en synergie. Lors de leur croissance, elles dégradent le lactose en acide lactique entraînant une baisse du pH et la gélification du milieu avec des modifications structurales irréversibles (**Özer, 2006**).

7.7. Refroidissement (l'arrêt de fermentation)

Lorsque l'acidité souhaitée est atteinte, le yaourt est rapidement refroidi à 5–22°C pour arrêter la fermentation. Le produit est ensuite stocké à des températures de réfrigération (5°C) pour ralentir la dégradation physique, chimique et microbiologique (**Chandan et O'Rell, 2006**).

7.8. Conditionnement et stockage

Les yaourts conditionnés dans des pots sont stockés en chambres froides à 4°C et prêts à être consommés. La durée limite de leur consommation est de 28 jours (**Luquet et Corrieu, 2005**).

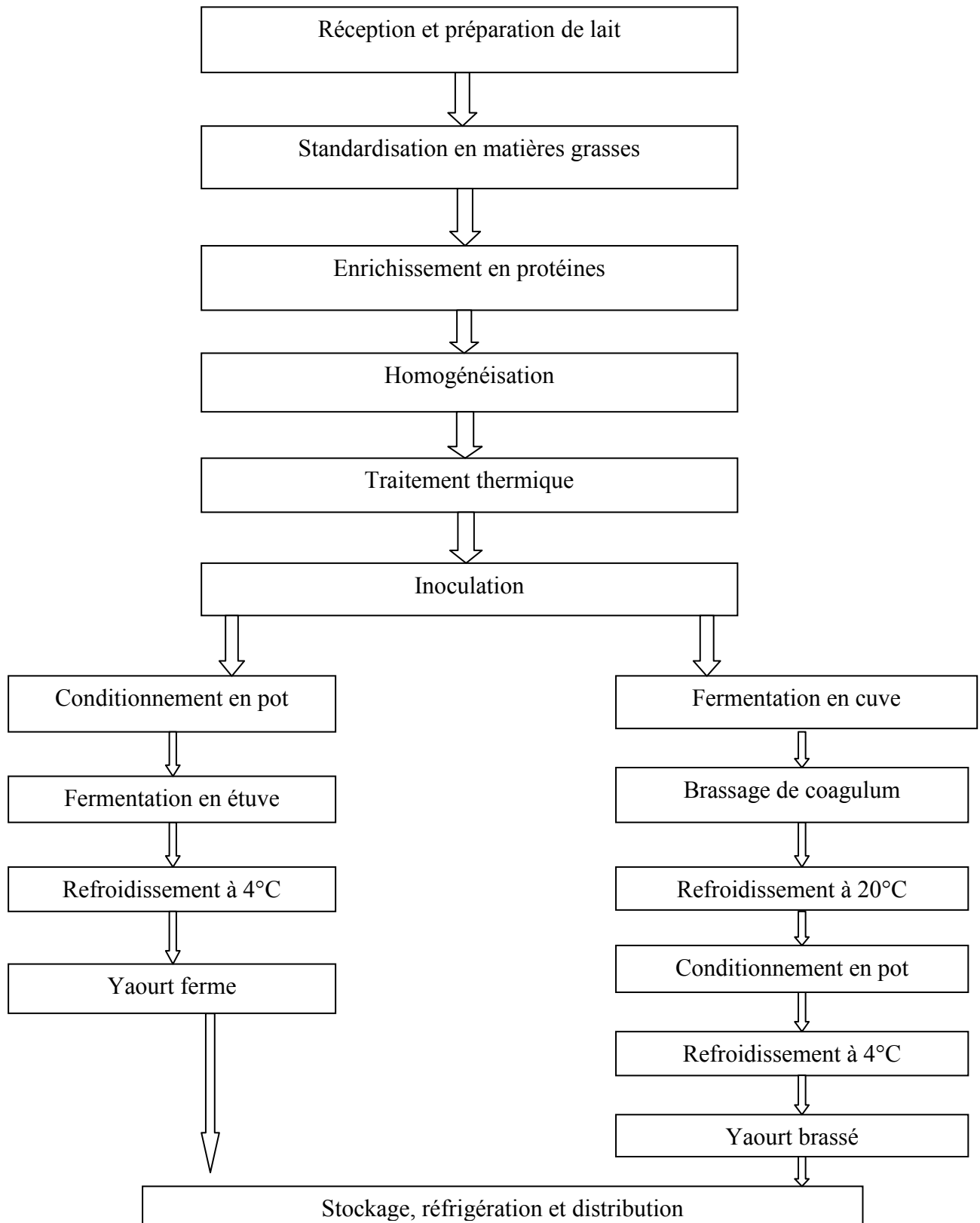


Figure 3: Diagramme de fabrication de yaourt (Chandan et O'Rell, 2006).

8. Intérêt nutritionnel et thérapeutique du yaourt

Dans le monde, le lait, le yaourt et les produits laitiers contribuent à environ 5% d'énergie totale (**Gill et Rowland, 2003**). La consommation de yaourt est mieux tolérée que le lait par les personnes présentant une carence en lactose même si la teneur est similaire dans les deux aliments.

Le lait est un système alimentaire très complexe, sa bioactivité physiologique est essentielle pour la croissance, le renforcement des oses et le maintien des muscles. C'est une source naturelle de nutriments essentiels (**Kolars *et al.*, 1984**).

Les produits laitiers fermentés ont également certains avantages physiologiques tels que l'activité antimicrobienne, l'activité contre les infections gastro-intestinales, et la stimulation du système immunitaire. Ces cultures vivantes facilitent la digestion (**Chandan et Nauth, 2012**).

1. Teneur en matière grasse

La matière grasse est un composant naturellement présent dans de nombreux aliments. Elle constitue une part essentielle de notre alimentation (**Vierling, 2003**).

1.1. Rendement en huile

Les huiles, de manière générale, occupent une place importante dans le secteur agricole et agroalimentaire. La production d'huile végétale est considérée depuis plusieurs années comme l'une des filières les plus prometteuses pour la diversification des productions agricoles dans le domaine des applications alimentaires et non alimentaires. Une huile végétale est un corps gras extrait d'une plante oléagineuse, c'est-à-dire une plante dont les graines, noix ou fruits contiennent des lipides. Le rendement en huile est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile obtenue après l'extraction et la masse de la matière utilisée (**Belluzzi, 2002**). Le tableau 9 détaille le rendement en huile des différentes variétés de lin.

Tableau 9: Rendement en huile des différentes variétés de lin.

| Variété | Teneur en huile (%) | Méthode d'analyse | Références |
|---------------------------------|---------------------|---|--------------------------------------|
| Astral | 44,6 ± 0,2 | Extraction par solvant (hexane) (Soxhlet) | (Sébastien, 2015) |
| 238 | 37,0 ± 0,7 | | |
| Astral | 41,5 ± 0,5 | Extraction par solvant (éther de pétrole) (Soxhlet) | (Natacha, 2013) |
| Baladin | 42 ± 2 | | |
| Linoal | 39,2 ± 0,7 | | |
| Variété commerciale de lin brun | 31,16 | | (Tatiana <i>et al.</i>, 2017) |
| J23 | 33,4 | | (Netravati, 2013) |
| Padmini | 35,3 | | |

Le lin en tant que graine oléagineuse; présente une teneur importante en l'huile (31,16% à 44,6%), qui se diffère d'une variété à une autre. La teneur en l'huile la plus élevée a été enregistrée pour la variété Astral (44,6%) et Baladin (42%).

Alors que les autres variétés Linoal, 238, Padmini, J23 et la variété commerciale possèdent des teneurs inférieures.

Cette variation de rendement peut être liée à la nature du solvant utilisé durant l'extraction, les variétés étudiées, date de début de floraison après semis, la durée de floraison et le nombre de fleurs par plante.

Par exemple: la lignée Astral débute sa floraison après 49 jours suivant le semis alors que, la lignée 238 a un début de floraison, après semis, plus précoce de 40 jours. La durée de la floraison est de 29 jours pour Astral avec une production moyenne de 56,3 fleurs par plante alors qu'elle n'est que de 18 jours pour 238 avec un nombre de fleurs généré plus faible 24 fleurs par plante **(Sébastien, 2015)**.

1.2. Profil d'acides gras

Les acides gras constituent les unités de base des lipides et représentent les constituants majeurs des huiles et des graisses. Selon la longueur de leur chaîne et l'organisation de leurs atomes de carbone, ils sont dit saturés ou insaturés. Ils se composent d'une chaîne hydrocarbonée linéaire, dont la longueur varie généralement entre 12 et 22 atomes de carbones (C), d'une extrémité méthyle et d'une extrémité carboxyle. L'analyse de profil en acide gras est effectuée par le dosage des esters méthyliques par chromatographie en phase gazeuse **(Guesnet *et al.*, 2005)**.

a. Teneur d'acides gras polyinsaturés

Les acides gras polyinsaturés (AGPI) se caractérisent par des chaînes carbonées longues (C18 à C22) et plusieurs doubles liaisons (de 2 à 6). Ils peuvent être apportés par l'alimentation ou synthétisés dans l'organisme. Deux acides gras, l'acide linoléique (LA) et l'acide α -linoléique (ALA) ne peuvent pas être synthétisés par l'homme et sont dits essentiels, où leur apport *via* l'alimentation est donc indispensable **(Guesnet *et al.*, 2005)**.

Le tableau 10 présente les teneurs en acides gras polyinsaturés de différentes variétés.

Tableau 10: La teneur en acides gras polyinsaturés des différentes variétés de lin.

| Variété | A. linoléique (%) | A. oléique (%) | ALA (%) | Références |
|------------------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------------------------|
| Astral | 12 ± 1 | 15,9 ± 0,3 | 62,9 ± 0,2 | (Sébastien, 2015) |
| 238 | 14,6 ± 0,9 | 15 ± 2 | 61 ± 2 | |
| Ensemble de variété | 15,22 | 22,86 | 53,13 | (Oumah et Mazza, 1997) |
| Astral | – | – | 60,9 ± 0,01 | (Natacha, 2013) |
| Baladin | – | – | 51,4 ± 1,4 | |
| Linoal | – | – | 54,68 ± 0,03 | |
| Variété commerciale | 17,06 | – | 54,77 | (Tatiana et al., 2017) |
| Padmini | 11,47 | 32,43 | 38,65 | (Netravati, 2013) |
| J23 | 12,90 | 29,76 | 43,65 | |
| 5 cultivars de lin Egypte | 18 | 26 | 46–50 | (Hossam et al., 2011) |

Les AGPI sont majoritairement plus présents dans l'huile de lin. L'ALA est l'acide gras le plus présent (38,65% à 62,9%), suivie de l'acide oléique (15% à 32,43%) et l'acide linoléique (11,47% à 18%).

Les variations sont observées sont principalement dues au génotype du lin, ainsi qu'à ses conditions de culture (**Daun et al., 2003**). Ces teneurs sont également influées par la saison où un écart de 4% supérieur en ALA a été identifié pour les variétés d'hiver par rapport à celles de printemps. Certaines études ont montré que les lins cultivés à basse température contenaient une huile à plus haut degré d'insaturation (**Labalette et al., 2011**).

b. Teneur en acides gras saturés

Leurs chaînes carbonées varient de 4 à 20 carbones et ils n'ont aucune double liaison. Ils sont les plus abondants dans notre alimentation. On les retrouve dans la viande, la charcuterie ou encore dans le lait et ses produits dérivés (**Guesnet et al., 2005**). Le tableau 11 présente la teneur en acide gras saturés de quelques variétés de lin.

La teneur en AGS, en particulier l'acide stéarique et l'acide palmitique, varie de 3,5% à 9,96% et de 4,9% à 7,35%, respectivement. La teneur en acide stéarique trouvée par **Netravati (2013)** est la plus élevée (9,96%). Tandis que les résultats des autres travaux sont moyennement inférieurs. Pour l'acide palmitique, la valeur supérieure est obtenue avec la variété Padmini (7,35 %) par contre la plus faible avec la variété 238.

Tableau 11: La teneur en acides gras saturés des différentes variétés de lin.

| Variété | A. stéarique (%) | A. palmitique (%) | Références |
|---------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------|
| Astral | 3,5 ± 0,4 | 5,5 ± 0,2 | (Sébastien, 2015) |
| 238 | 4,3 ± 0,2 | 4,9 ± 0,7 | |
| – | 3,94 | 5,27 | (Oumah et Mazza, 1997) |
| Variété commerciale | 4,5 | 5,95 | (Tatiana <i>et al.</i> , 2017) |
| Padmini | 9,96 | 7,35 | (Netravati, 2013) |
| J23 | 6,79 | 6,97 | |
| 5 cultivars de lin Egypte | 3,723 | – | (Hossam <i>et al.</i> , 2011) |

2. Teneur en protéines

Une protéine est une macromolécule biologique constituée par une ou plusieurs chaînes d'acides aminés reliées entre elles par des liaisons peptidiques. Généralement, on parle de «protéine» lorsque la chaîne contient plus de 100 acides aminés. Elle possède des propriétés physico-chimiques très importantes au sein des organismes vivants. Ce sont des molécules renouvelables, synthétisées par l'organisme grâce à un apport quotidien en acides aminés (Cuq, 2006). Le tableau 12 résume les teneurs en protéines des différentes variétés des graines de lin.

Tableau 12: Teneurs en protéines des différentes variétés de lin.

| Variété | Méthodes d'analyse | Teneur en protéines (%) | Références |
|----------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Astral | Méthode de Bradford | 15,8 ± 0,8 | (Sébastien, 2015) |
| 238 | | 22 ± 2 | |
| Ensemble de variétés | Méthode Kjeldahl | 13,5 | (Oumah et Mazza, 1997) |
| Variété commerciale | | 20,86 ± 0,8 | (Tatiana <i>et al.</i> , 2017) |
| Padmini | | 23,2 | (Netravati, 2013) |
| J23 | 22,8 | | |

Les graines de lin sont composées de protéines de réserve à des teneurs différentes (13,5% à 23,2%). Les résultats de tableau 12 montrent que la valeur la plus élevée en protéines est due à la variété Padmini (23,2%), suivie de la variété J23 (22,8%) et 238 (22%). La variété Astral et l'ensemble de variétés traitées par Oumah et Mazza (1997), possèdent des teneurs inférieures en protéines (15,8% et 13,5%). Ces variations peuvent être dues aux conditions pédo-climatiques, qui ont un impact sur l'accumulation des protéines.

2.1. Profil en acides aminés

Comme son nom l'indique, un acide aminé est une petite molécule qui possède une fonction acide et une fonction amine primaire. En effet, les acides aminés sont des composés organiques bi-fonctionnels qui contiennent un groupe amine basique (-NH₂) et un acide carboxylique (-COOH). Dans la nature, il existe 20 acides aminés différents et qui possèdent des fonctions et propriétés diverses en fonction de la nature de la chaîne latérale -R. Le dosage des acides aminés est effectué par HPLC (Voet et Voet, 2005).

Le tableau 13 présente les teneurs en acides aminés trouvées par Tatiana *et al.*, (2017).

Tableau 13: Profil en acides aminés des graines de lin (Tatiana *et al.*, 2017).

| Acide aminé | Quantité (%) | Acide aminé | Quantité (%) |
|--------------------|--------------|---------------|--------------|
| l'acide glutamique | 3,87 | Phénylalanine | 0,84 |
| l'acide aspartique | 1,52 | valine | 0,72 |
| l'arginine | 1,93 | thréonine | 0,93 |
| Leucine | 1,19 | Cystine | 0,28 |

Les protéines des grains de lin présentent neuf acides aminés essentiels; dont le plus abondant est l'acide glutamique (3,87%) suivie de l'acide aspartique (1,52%), de l'arginine (1,93%) et de leucine (1,19%). Alors que les acides aminés limitant étaient thréonine (0,93%), phénylalanine (0,84%), valine (0,72%) et cystine (0,28%).

3. Glucides

Les glucides sont des composés essentiels pour tous les organismes vivants et constitue les molécules biologiques les plus abondantes. Le terme de «glucides» est synonyme de «hydrates de carbone» ou de «saccharides» Il s'agit de polyalcools comportant une fonction aldéhyde (CHO) ou cétone (CO). La plupart des glucides répondent à la formule brute (CH₂O)_n avec n ≥ 3 (Lehninger, 1981).

3.1. Sucres simples

Les oses simples ou constitutifs des oligosaccharides et polysaccharides sont des hexoses (6 atomes de carbone) (glucose, galactose, fructose....) et des pentoses (5 atomes de carbone) (arabinose, xylose...) qui se présentent sous la forme de cycles à 5 carbones + 1 oxygène (glucose, galactose...), ou à 4 carbones + 1 oxygène (fructose, arabinose, xylose...).

D'une façon générale, les carbones du cycle sont liés à un atome d'hydrogène et à une fonction hydroxyle (OH) ou alcool (CH₂OH) et/ou à l'oxygène du cycle (FAO/WHO, 1998). Le tableau suivant présente les teneurs en glucides de différentes variétés de lin.

Tableau 14: La teneur en glucides de quelques variétés de lin.

| Variété | Méthodes d'analyse | Teneur en sucres (%) | Références |
|---------|-----------------------|----------------------|-------------------|
| Astral | Dosage colorimétrique | 9 ± 2 | (Sébastien, 2015) |
| 238 | | 5,9 ± 0,4 | |
| Astral | | 5,4 ± 0,8 | (Natacha, 2013) |
| Baladin | | 3,7 ± 0,3 | |
| Linoal | 2,9 ± 0,3 | | |

Le grain de lin contient une quantité faible en sucres simples (< 9%). Les résultats des travaux traités s'avèrent que les teneurs en glucides diffèrent d'une variété à une autre. La valeur la plus élevée a été noté pour la variété Astral et 238 (9% et 5,9%). Par contre, les variétés Baladin et Linoal possèdent des teneurs moyennement inférieures de 3,7% et 2,9%, respectivement.

3.2. Mucilages

Les mucilages sont des substances végétales, constituées de polysaccharides, qui gonflent en contact avec l'eau en prenant une consistance visqueuse. Ils sont particulièrement répandus dans les graines de lin. Il s'agit d'une fibre soluble, qui constitue 10% du poids de la graine et se trouve dans la couche la plus externe de l'enveloppe de la graine (Comin *et al.*, 2015).

Selon le tableau 15, les mucilages représentent environ 5,56% à 13,1% du poids des graines de lin. La variété Astral contient une teneur élevée en mucilages (13,1%), suivie de la variété Padmini 11,66%, puis la variété 238 (10,5%). alors que les variétés indiennes, Linoal, Baladin et J23 possèdent des teneurs qui ne dépassent pas 7%. Ces variations peuvent être dues aux variétés de lin ou les conditions de culture. La teneur en mucilages augmente considérablement lorsque la température et le temps d'extraction augmentent, ceci est confirmé par les travaux de Mazza et Biliaderis (1989).

Tableau 15: Teneurs en mucilages des différentes variétés de lin.

| Variété | Méthode d'analyse | Teneur en mucilages (%) | Références |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|
| Astral 238 | Extractions après l'agitation, la coagulation, et la lyophilisation des surnageants | 13,1 ± 0,7 | (Sébastien, 2015) |
| | | 10,5 ± 0,6 | |
| Astral Baladin Linoal | | 6,5 ± 0,5 | (Natacha, 2013) |
| | | 6,5 ± 0,5 | |
| Padmini J23 | | 6,0 ± 0,5 | (Netravati, 2013) |
| | | 11,66 | |
| Six cultivars indiens de lin | 6,68 | (Maninder Kaur et al., 2018) | |
| | 5,56 à 6,54 | | |

4. Composés phénoliques

4.1. Polyphénols

Les polyphénols sont des molécules très largement ré pondues dans le règne végétal. Ils constituent la base des principes actifs que l'on trouve dans les plantes médicinales. Ils jouent un rôle implorant dans l'organisme (effet antioxydant) (**Zeghad, 2009**). Ces dernières sont des molécules organiques complexes synthétisées et accumulées en petites quantités par les plantes autotrophes (**Lutge et al., 2002**).

D'après le tableau 16, la graine de lin présente une teneur faible en polyphénols (0,06 à 0,9 g/100g). Les teneurs en polyphénols diffèrent d'une variété à une autre, mais restent toujours inférieures de 1%. Cette variation pourrait être attribuée à la nature du solvant et la température d'extraction ainsi que la technique utilisée (**Kasote et al., 2011**).

La teneur en polyphénols dépend d'un certain nombre de facteurs intrinsèques (génétique) et extrinsèques (origine géographique, conditions climatiques, les pratiques culturelles, la maturité à la récolte et les conditions de stockage) (**Amaral et al., 2010**).

Tableau 16: Teneurs en composés phénoliques de quelques variétés de lin.

| Variété | TPC (g EAG/100 g) | Méthode d'analyse | Références |
|----------------------|----------------------|---|---|
| Astral | 0,72±0,02 | Extraction par macération Dosage par la méthode de Folin | (Sébastien, 2015) |
| 238 | 0,90±0,09 | | |
| Ensemble de variétés | 0,34 | | (Oumah et Mazza, 1997) |
| Astral | 0,33±0,01 | | (Natacha, 2013) |
| Baladin | 0,32±0,02 | | |
| Linoal | 0,38±0,03 | | |
| Variété commerciale | 0,29 | | (Tatiana <i>et al.</i> , 2017) |
| J23 | 0,53 | | (Netravati, 2013) |
| Padmini | 0,51 | | |
| – | 0,06 | | (Katarzynabrodowska <i>et al.</i> , 2014) |

4.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés polyphénoliques, presque toujours hydrosolubles et très répandus dans le règne végétal (Bouhadjera, 2005). De nos jours, les propriétés des flavonoïdes sont largement étudiées par le domaine médical, où on leur reconnaît des activités antivirales, anti-radicalaires, antiallergiques, anti-tumorales, mais aussi anti-inflammatoires et anticancéreuses (Mohammedi, 2013).

La graine de lin est constituée de 3 à 20 mg/100g de flavonoïdes. La teneur la plus élevée a été enregistrée pour la variété commerciale (20 mg/100g), tandis que la teneur trouvée par Alachaher (2018) est inférieure (Tableau 17). Cette variation pourrait être influencée par certaines conditions environnementales (Oumah *et al.*, 1995).

Tableau 17: Teneurs en flavonoïdes de deux variétés de lin.

| Variété | Teneur en flavonoïdes mg (EQ)/100g | Méthode d'analyse | Références |
|---------------------|--|---|--------------------------------|
| – | 3 | Dosage par la méthode colorimétrique de chlorite d'aluminium | (Alachaher, 2018) |
| Variété commerciale | 20 | | (Tatiana <i>et al.</i> , 2017) |

5. Enrichissement du yaourt en poudre de lin et évaluation de son profil d'acides gras, de ses propriétés physico-chimiques, antioxydantes et sensorielles (Ardabilchi, 2020)

Le but de ce travail est d'étudier les effets de l'ajout de poudre de lin sur le contenu en polyphénols totaux et l'activité antioxydante, la composition en acides gras, et les paramètres physico-chimiques (pH et viscosité) et sensoriels de yaourt enrichi à différents pourcentages de la poudre des grains de lin (0%, 1%, 3% et 5%).

5.1. Propriétés physicochimiques des échantillons de yaourt enrichi

Les valeurs de pH et de viscosité des yaourts enrichies ont été augmentées par l'augmentation de la concentration de poudre de lin. Par conséquent, le pH le plus élevé ($4,27 \pm 0,09$) des yaourts était lié à 5% de poudre de lin, tandis que le pH le plus bas ($4,1 \pm 0,06$) était associé à l'échantillon témoin.

5.2. Profil en acides gras des échantillons de yaourt enrichi

L'ajout de poudre de graines de lin a introduit une différence dans les échantillons de yaourt. Parallèlement à l'ajout de poudre de lin, une diminution des AGS a été atteinte, ce qui conduit à une augmentation de la teneur en ALA dans l'échantillon à 5% ($20,75 \pm 0,004\%$) par rapport au témoin ($0,65 \pm 0,001\%$).

5.3. Contenu en polyphénols totaux

Le yaourt témoin avait le contenu le plus bas (5,3 mg EAG/100 g), tandis que l'échantillon à 5% avait le TPC le plus élevé de l'ordre de 13 mg EAG/100 g.

Selon les résultats de ce travail, **Ardabilchi (2020)** a constaté que l'ajout de la poudre des graines de lin améliore les caractéristiques physicochimiques des yaourts :

- La teneur en AGS et le rapport oméga-6/oméga-3 ont été considérablement diminué avec l'ajout de poudre.
- L'activité antioxydante des yaourts enrichis en graines de lin était plus élevée que celle de l'échantillon témoin.
- Outre les avantages nutritionnels, les caractéristiques organoleptiques des yaourts contenant de la poudre de lin étaient acceptables, ce qui indique que la poudre de lin est un complément diététique approprié pour divers produits laitiers.

Ce chapitre présente le matériel et les méthodes utilisées au cours de l'analyse sensorielle effectuée ainsi que tous les résultats obtenus, leurs interprétations et discussion.

I. Matériel et Méthodes

1.1. Matériel

- Grains de lin, achetées chez un herboriste dans la région de Mchedallah au moins de Septembre 2020.
- Yaourt aromatisées « Ramdy » de 100 g.

1.2. Méthodes

1.2.1. Préparation des échantillons

La préparation de la poudre de lin débute par le nettoyage des grains et l'élimination des impuretés, suivi d'un broyage à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre. Cette poudre doit être tamisée afin de récupérer le produit fini (poudre fine) qui sera après incorporée dans les pots de yaourt codé A, B, C, D à des pourcentages différents 0%, 4%, 7% et 10% respectivement comme il est présenté le diagramme suivant (Figure 10).

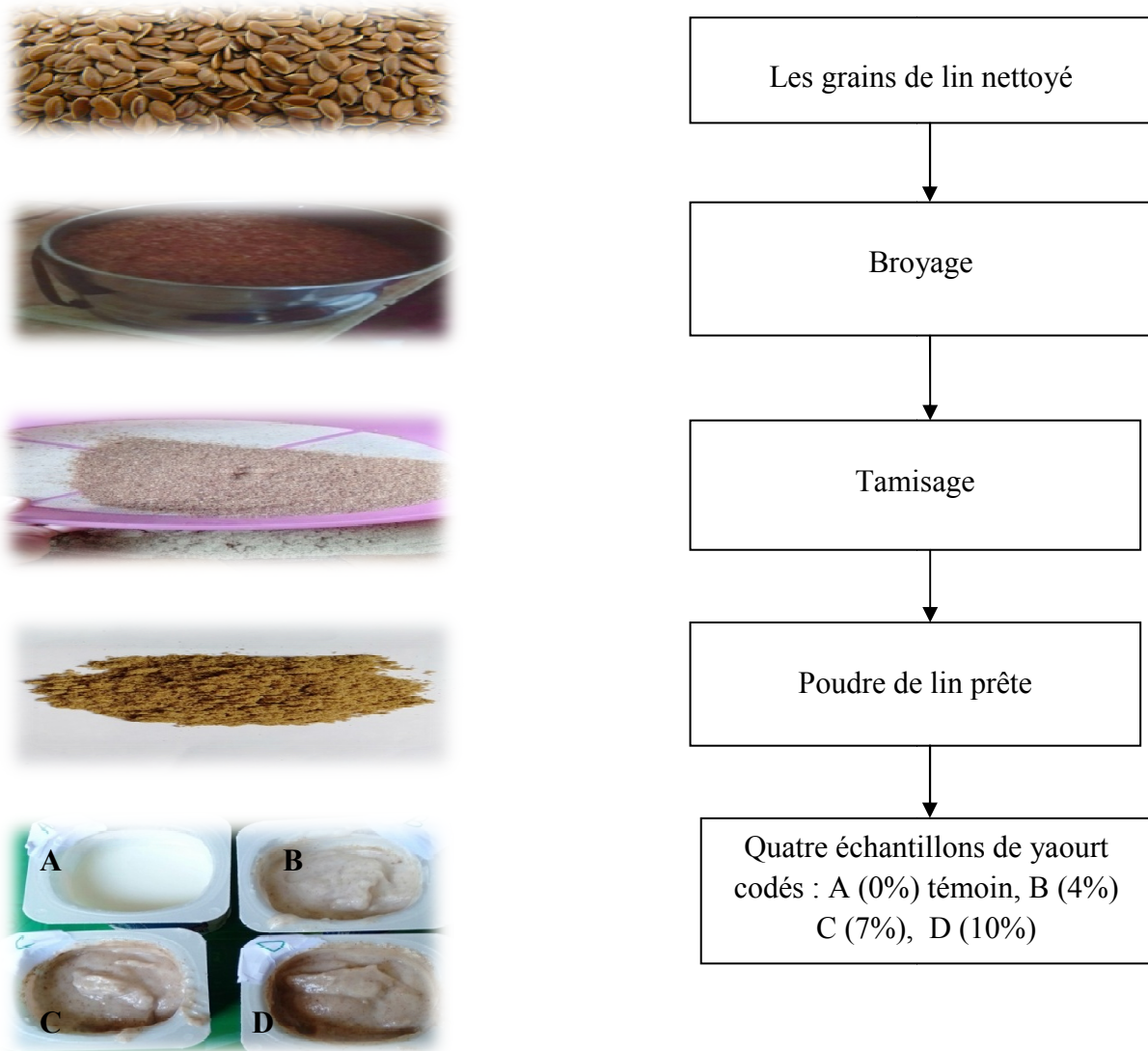


Figure 10: Démarche expérimentale de la préparation des échantillons.

I.2.2. Évaluation sensorielle

L'analyse sensorielle est une étude systématique des réponses humaines aux propriétés physico-chimiques des aliments. Cette approche est indispensable à l'évaluation de la qualité d'un produit alimentaire. Elle peut être un outil d'aide à la maîtrise de la qualité et la formulation de produits transformés. Elle consiste à analyser les propriétés organoleptiques des produits par les organes des sens : la vue, le toucher, l'ouïe, l'odorat et le goût (**Enkelejda, 2004**).

L'objectif de notre évaluation sensorielle est de savoir le yaourt présentant les meilleures caractéristiques organoleptiques (couleur, texture, gout, acidité et odeur), qui sont classés selon les examens suivants :

- ✓ **L'examen visuel** : c'est le premier contact avec le produit. Les dégustateurs doivent d'abord juger les yaourts sur la texture, la couleur, puis noter les appréciations dans des colonnes prévues à cet attribut.
- ✓ **L'examen olfactif** : la deuxième étape consiste à sentir les yaourts et déterminer l'arôme caractéristique ou l'ingrédient prédominant. L'odorat permet d'anticiper le goût et l'acidité de l'aliment.
- ✓ **L'examen gustatif** : c'est l'étape principale de la dégustation et qui permet de juger le goût et l'acidité des yaourts pour donner l'avis sur l'acceptabilité ou non des produits fini. Il a été demandé aux dégustateurs de goûter les yaourts dans l'ordre de noter toute appréciation au fur et à mesure de la dégustation.

I.2.3. Groupe de l'évaluation sensorielle

Nous avons programmé une séance de dégustation pour 30 personnes, durant laquelle on a expliqué les axes principaux de cette analyse, afin de remplir les fiches de dégustations et de noter de 1 à 10, selon leurs préférences (voire Annexe 1).

II. Résultats et discussion

II.1. Evaluation de la qualité sensorielle

II.1.1. Couleur

La couleur est la première impression de consommateur sur la qualité d'un yaourt. Les résultats préférentiels de la couleur des échantillons préparés sont résumés dans la figure 11.

Les résultats obtenus montrent que le yaourt additionné de 4% de la poudre de lin présente un taux d'appréciation de couleur supérieure (24%), par rapport aux autres yaourts (témoin, 7% et 10%), qui présentent des taux d'appréciation inférieurs de 23,11%, 21,11% et 20,44%, respectivement.

Les écarts obtenus sont élevés ce qui explique la différence de la satisfaction en couleur entre les dégustateurs.

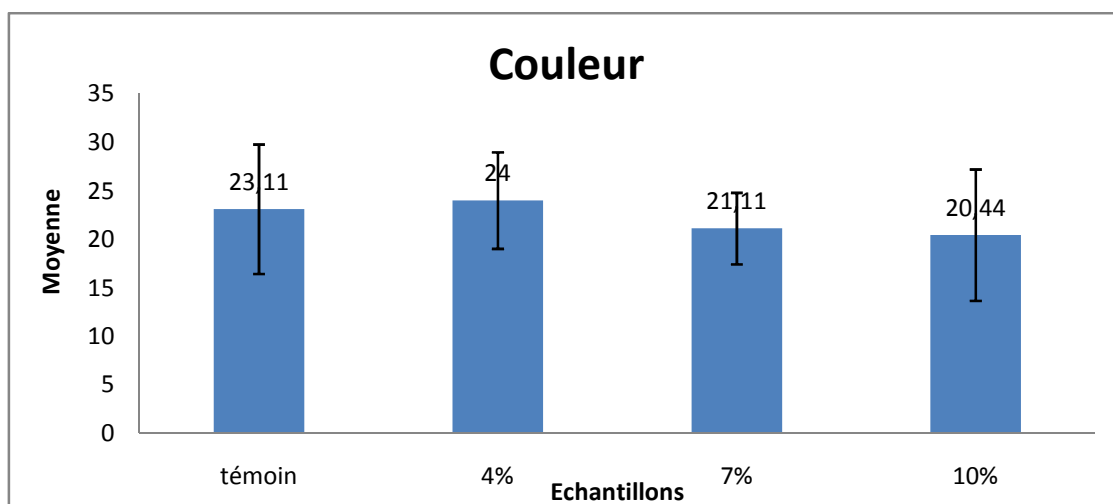


Figure 11: Evaluation préférentielle de la couleur des produits finis.

II.1.2. Goût

C'est le caractère sensoriel de jugement de la qualité d'un yaourt, qui doit répondre impérativement aux exigences des consommateurs afin d'assurer leurs préférences. La figure 12 présente l'évaluation préférentielle du goût des quatre échantillons de yaourt préparés.

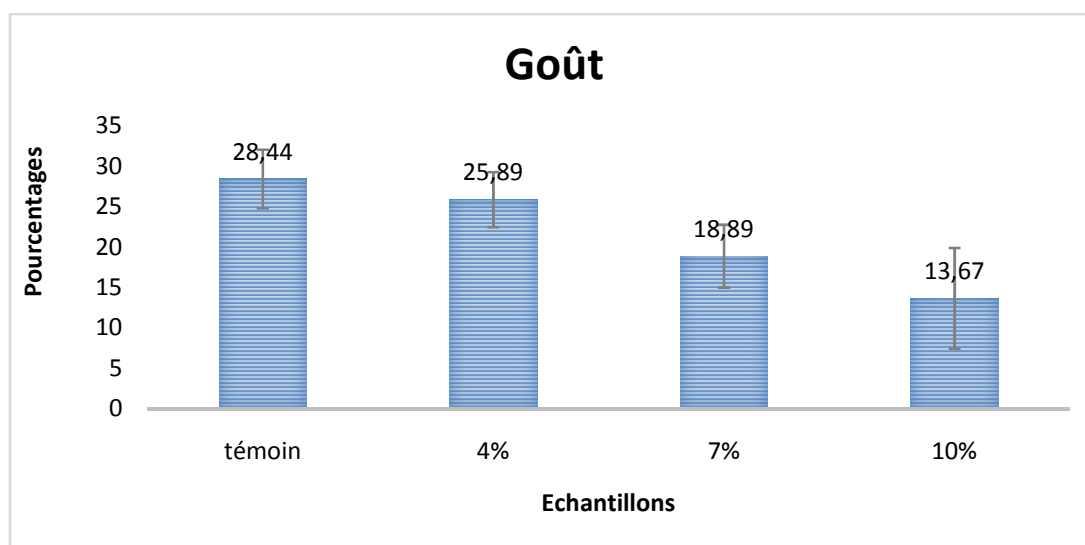


Figure 12: Evaluation préférentielle du goût des produits finis.

Les résultats de cette analyse montrent que le goût de yaourt témoin et de celui qui est additionné à (4%) de poudre de lin sont les plus aimés par les dégustateurs avec des taux de satisfactions variés de 28,43% à 25,9%. Tandis que les yaourts enrichis à 7% et 10% présentent des taux d'appréciation moins élevés (18,9% et 13,66% respectivement). Donc, on conclut que la satisfaction en goût diminue avec l'augmentation de la dose additionnée en poudre de lin.

Les écartypes obtenus sont élevés ce qui explique la différence de la satisfaction du goût entre les dégustateurs.

II.1.3. Odeur

L'odeur est un marqueur d'hygiène et caractéristique sensoriel important des produits alimentaires. Les résultats d'analyse de l'odeur des quatre échantillons de yaourt préparés sont présentés dans la figure 13.

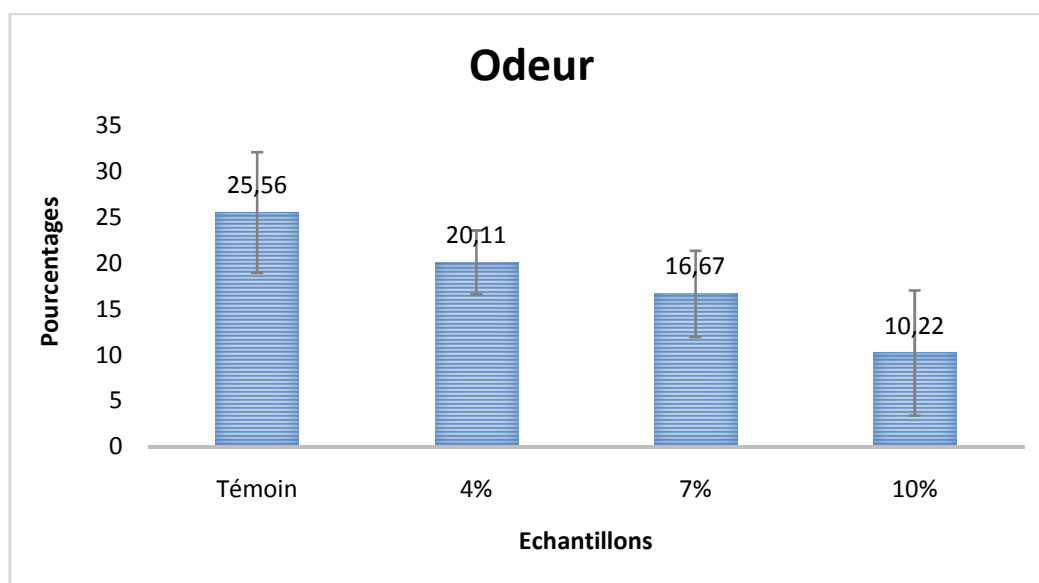


Figure 13: Evaluation préférentielle de l'odeur des produits finis.

D'après les résultats obtenus, nous avons noté que le yaourt témoin présente un taux d'appréciation d'odeur supérieure (25,56%) par rapport aux autres yaourts (4%, 7% et 10%) qui ont des taux d'appréciation inférieurs.

Les écartypes obtenus sont élevés ce qui explique la différence de la satisfaction d'odeur entre les dégustateurs.

II.1.4. Texture

La texture est le premier contact de consommateur avec le produit, qui permet de le juger par rapport sa préférence. La figure 14 présente l'évaluation préférentielle de la texture des quatre échantillons de yaourt élaborés.

Selon les résultats, la texture des deux échantillons, témoin et 4% de poudre de lin, sont les plus appréciés par les dégustateurs avec un taux de 23,89%, par rapport aux autres yaourts qui présentent moins de taux d'appréciations.

Les écartypes obtenus sont élevés ce qui explique la différence de la satisfaction par rapport à la texture entre les dégustateurs.

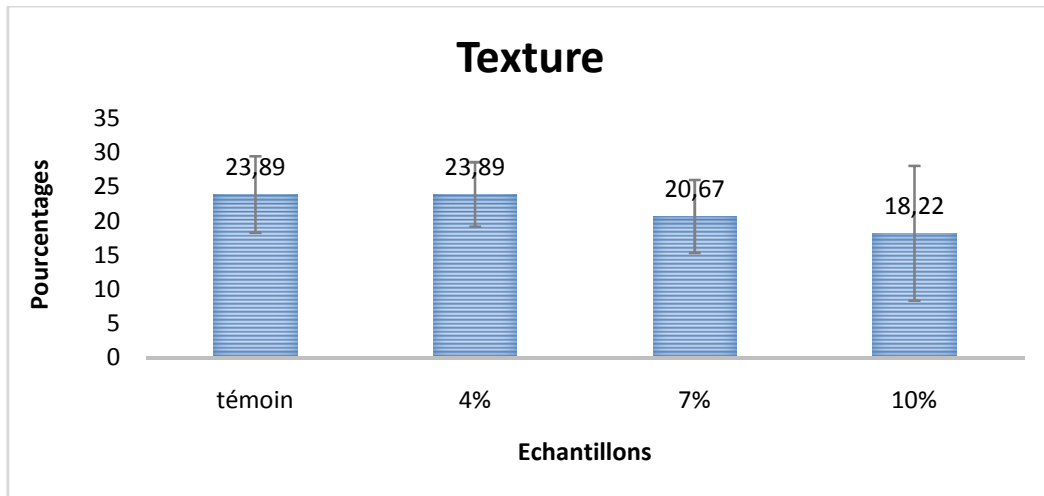


Figure 14: Evaluation préférentielle de la texture des produits finis.

II.1.5. Acidité

Le yaourt est caractérisé par une saveur acide (**Marshall, 1987**), due à la présence de l'acide lactique, produit au cours de la fermentation (**Biliaderis et al., 1992; Weber, 1994**). Les résultats de l'évaluation préférentielle de l'acidité des yaourts préparés sont présentés dans la figure 15.

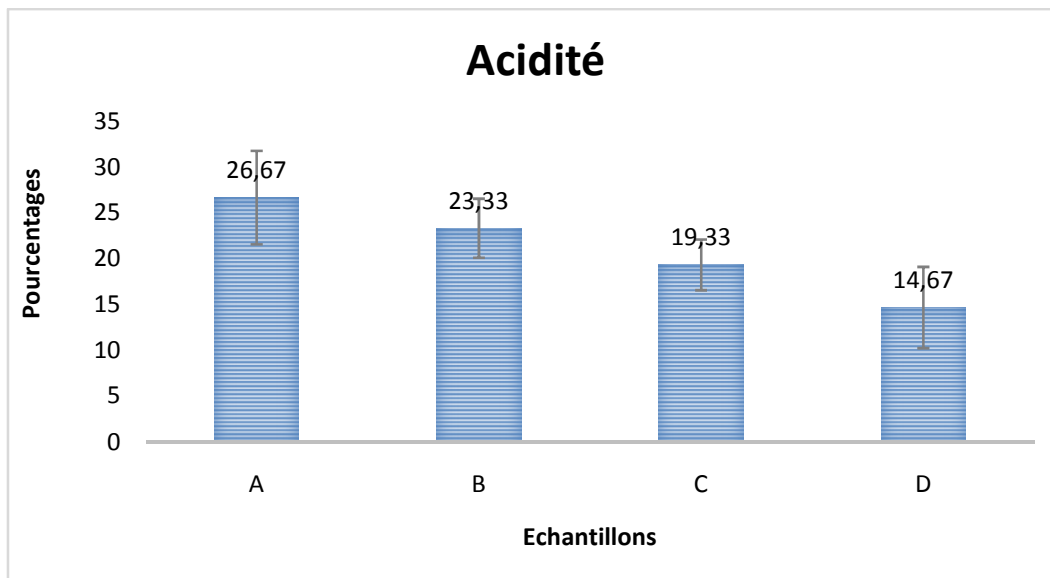


Figure 15: Evaluation préférentielle de l'acidité des produits finis.

D'après nos résultats, le goût acide de yaourt témoin est le plus apprécié (26,67%) par les dégustateurs. Par contre, les autres yaourts à 4%, 7% et 10% de poudre de lin, sont moins appréciés, avec des taux de satisfaction de 23,33%, 19,33% et 14,67%, respectivement.

Les écartypes des quatre échantillons de yaourt révèlent que les dégustateurs perçoivent une différence sensorielle entre eux.

II.2. Evaluation de l'acceptabilité globale des yaourts analysés

Il existe une grande variété de mots pour traduire les impressions sensorielles surtout lorsque la description est libre. D'après les résultats du test de dégustation, l'acceptabilité générale des yaourts est classée dans la figure 16.

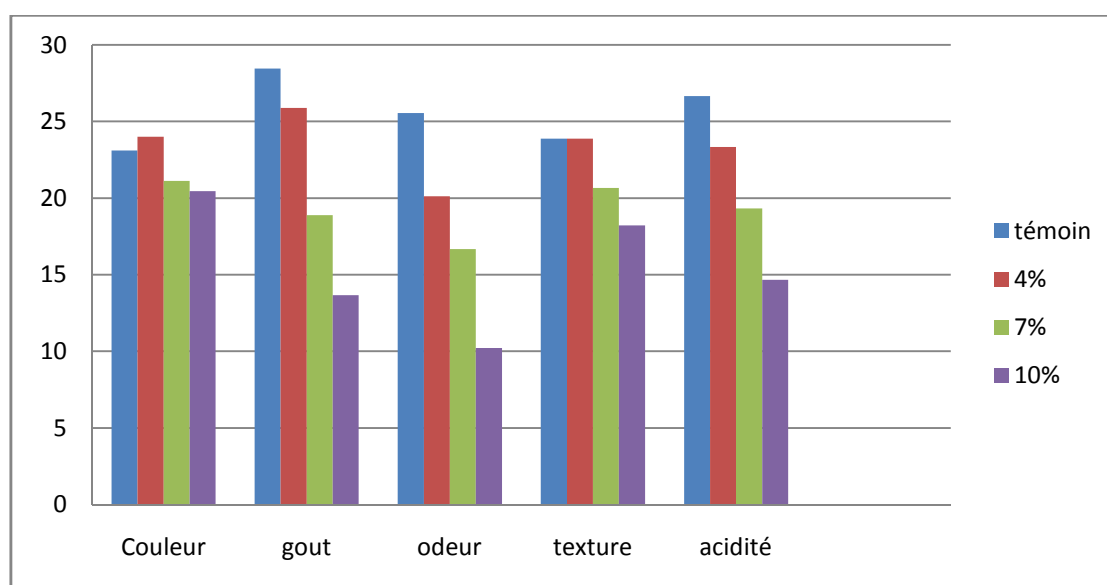


Figure 16: Evaluation de l'acceptabilité générale des produits analysés.

D'après les résultats des analyses sensorielles, le yaourt témoin est qualifié meilleur par rapport au yaourt additionné à 4% de poudre de lin qui est classé le deuxième, et les moins appréciés sont les yaourts additionnés de 7% et 10% de la poudre de lin.

L'acidité des échantillons de yaourt diminue avec l'augmentation de la quantité de la poudre de lin ajoutée. Ce qui entraîne une augmentation du pH en parallèle. Nos résultats sont confirmés par les résultats des travaux d'**Ardabilchi (2020)**.

En conclusion, pour répondre aux exigences des consommateurs, il faut modérer l'addition de la poudre de lin dans le yaourt à des pourcentages qui ne dépassent pas les 4%.

Conclusion

La graine de lin est une graine oléagineuse riche en nombreux nutriments essentiels. Elle est considérée comme un aliment fonctionnel. Cela signifie que le lin procure des bienfaits pour la santé.

D'après la synthèse des résultats des autres travaux, on conclue que la graine de lin est une source importante d'huile (> 31,16%); de fibres (mucilages) (> 5,5%); d'ALA (> 51,4%); de protéines (> 13,5%); de polyphénols (> 0,3%) et de flavonoïdes (> 3 mg/100g).

Notre étude entre dans le contexte d'enrichissement de yaourt aromatisé « Ramdy » par la poudre des grains de lin en l'incorporant à différentes concentrations (0% ,4%, 7% et 10%) afin d'obtenir un produit fonctionnel de bonne qualité physico-chimique, nutritionnelle et organoleptique.

D'après les résultats du test de dégustation des yaourts formulés en fonction des différents pourcentages de la poudre des grains de lin, le yaourt témoin et celui incorporé à 4% de la poudre des grains de lin sont les plus préférés par les dégustateurs. Les caractères couleur et texture présentent des taux d'appréciation proches. Alors que l'appréciation du goût, d'odeur et de l'acidité révèle que les dégustateurs perçoivent une différence sensorielle entre les quatres produits. Pour l'acidité du yaourt, on conclue que celle-ci diminue avec l'augmentation de la concentration de la poudre de lin ajoutée, conformément aux travaux déjà réalisés.

Nos résultats sont encourageants et le présent travail mérite d'être poursuivi et approfondi par :

- L'analyse physicochimique de la graine de lin.
- L'évaluation de l'effet d'incorporation de la poudre de lin sur la composition nutritionnelle des yaourts enrichis.
- La réduction des taux d'incorporation (1%, 3% et 5%) de la poudre de lin pour obtenir des meilleurs résultats sensoriels.

Références bibliographiques

- **Acket S, Blondiaux M, Bouton S, Pageau K, Pau-Roblot C, Lequart M, Marcelo P, Fournet F, Van Wuytswinkel O. (2011).** Formation et structure du mucilage séminal chez le lin, Poster Réseaux Français des Parois (6-8 juin), Lille.
- **Acket, S. (2015).** *Implication du métabolisme carboné pour une production différentielle d'huile chez les plantes oléagineuses-Lin: modélisation des systèmes* (Doctoral dissertation).
- **Adolfsson, O., Meydani, S. N., & Russell, R. M. (2004).** Yogurt and gut function. *The American journal of clinical nutrition*, *80*(2), 245-256.
- **Alachaher Fatima Zohra. (2018).** Thèse doctorat. Effet de la supplémentation des graines brunes de lin sur le profil lipidique et les statuts redox et inflammatoire, chez les rats rendus diabétiques par la streptozotocine.
- **Amaral, J. S., Valentão, P., Andrade, P. B., Martins, R. C., & Seabra, R. M. (2010).** Phenolic composition of hazelnut leaves: Influence of cultivar, geographical origin and ripening stage. *Scientia horticultrae*, *126*(2), 306-313.
- **Anonyme. (1995),** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO: Alimentation et nutrition. 28.
- **ANSES, (2011),** Rapport d'expertise collective : actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail. pp327
- **Anwar, F., Zreen, Z., Sultana, B., & Jamil, A. (2013).** Enzyme-aided cold pressing of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.): Enhancement in yield, quality and phenolics of the oil. *Grasas y aceites*, *64*(5), 463-471.
- **Attoumbré, J., Bienaimé, C., Dubois, F., Fliniaux, M. A., Chabbert, B., & Baltora-Rosset, S. (2010).** Development of antibodies against secoisolariciresinol–application to the immunolocalization of lignans in *Linum usitatissimum* seeds. *Phytochemistry*, *71*(17-18), 1979-1987.
- **Belluzzi, A. (2002).** N-3 fatty acids for the treatment of inflammatory bowel diseases. *Proceedings of the Nutrition Society*, *61*(3), 391-395.
- **Bergamaier, D. (2002).** *Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de Lactobacillus rhamnose RW-959M dans un milieu à base de permeat de lactosérum* (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat, Université de Laval, Canada). 152p

- **Bernacchia, R., Preti, R., & Vinci, G. (2014).** Chemical composition and health benefits of flaxseed. *Austin J Nutri Food Sci*, 2(8), 1045.
- **Beroual, K., Maameri, Z., Halmi, S., Benleksira, B., Agabou, A., & Hamdi-Pacha, Y. (2013).** Effects of *Linum usitatissimum* L. ingestion and oil topical application on hair growth in rabbit. *Int. J. Med. Arom. Plants*, 3(4), 459-463.
- **Bleu-Blanc-Cœur, 2016,** Bleu-Blanc-Cœur, <http://www.bleu-blanc-coeur.org>, dernière consultation le 21 février 2017.
- **Blumenthal, M., Goldberg, A., & Brinckmann, J. (2000).** *Herbal medicine. Expanded commission E monographs.* Integrative Medicine Communications.
- **BOUHADJERA, K. (2005).** Contribution a l'étude chimique et biologique de deux plantes médicinales sahariennes *Oudneya africana* R. Br. et *Aristida pungens* L. *Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen.*
- **Braidek, J. G. (1975).** Agronomic considerations in flax production. In *Oilseed and Pulse Crops in Western Canada; A Symposium.*
- **Brodowska, K., Catthoor, R., Brodowska, A. J., Symonowicz, M., & Lodyga-Chruscinska, E. (2014).** A comparison of antioxidant properties of extracts from defatted and non-defatted flax (*Linum usitatissimum*) seeds. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 13(2).
- **Carter, J. F. (1996).** Sensory evaluation of flaxseed of different varieties. *Proceedings of the 56th Flax Institute of the United States*, 201-203.
- **Celestino, E. L., Iyer, M., & Roginski, H. (1997).** The effects of refrigerated storage of raw milk on the quality of whole milk powder stored for different periods. *International Dairy Journal*, 7(2-3), 119-127.
- **Chandan R C. (2004),** Dairy: Yogurt. In: JS Smith, YH Hui (Eds), *Food Processing: Principles and Applications.* pp. 297–328.
- **Chandan, R C, Nauth, K R. (2012),** Yogurt. In: Hui, Y.H., Evranuz, E.O., Chandan, R.C., Cocolin, L., Drosinos, E.H., Goddik, L., Rodrigues, A., Toldra, F. (Eds.), *Handbook of animal based fermented food and beverage technology.* CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 213–233
- **Chandan, R C, O'Rell, K R. (2006),** Principles of yogurt processing, in *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*, R. Chandan, C. White, A. Kilara, and Y.H. Hui, Eds, p. 192.
- **Chandan, R. C., & O'Rell, K. (2013).** 11 Principles of yogurt processing. *Manufacturing yogurt and fermented milks*, 239.

- **Chatain, C., Jacquier, J. P., Pralong, P., & Leccia, M. T. (2016).** Flaxseed allergy: Review upon a case report. *REVUE FRANCAISE D ALLERGOLOGIE*, 56(7-8), 562-566.
- **CHATEAU, T. (1863).** Corps Gras Industriels, 2^e édition, J. Hetzel et Cie., Éditeurs.
- **Cherry, S., & Sour Cherry Processing Andres, C. (1987).** Fruit flavored concentrates provide food flavour systems. *Food Process., USA*, 48(3), 24-26.
- **Codex Alimentarius. (1975),** Codex Standard for Yoghurt (Yogurt) and Sweetened Yoghurt (Yogurt). Codex Stan. A-11(a) FAO, Rome, Italy.
- **Comin, L. M., Temelli, F., & Saldaña, M. D. (2015).** Flax mucilage and barley beta-glucan aerogels obtained using supercritical carbon dioxide: Application as flax lignan carriers. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 28, 40-46.
- **Corrieu, G., & Luquet, F. M. (2005).** Bactéries lactiques et probiotiques, édition Tec. et Doc. Lavoisier, Paris France.
- **Coşkuner, Y., & Karababa, E. (2007).** Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of food Engineering*, 78(3), 1067-1073.
- **Cuq J L, (2006),** Biochimie des protéines, 147.
- **Daun, J. K., Barthet, V. J., Chomick, T. L., & Duguid, S. (2003).** Structure, composition, and variety development of flaxseed In: Flaxseed in human nutrition, By LU Thompson and SC Cunnae.
- **De Vuyst, L. (2000).** Technology aspects related to the application of functional starter cultures. *Food Technology and Biotechnology*, 38(2), 105-112.
- **El-Beltagi, H. S., Salama, Z. A., & El-Hariri, D. M. (2011).** Variations in oil and some photochemical contents in flaxseed cultivars (*Linum usitatissimum* L.). *Electronic Journal of Environmental, Agricultural & Food Chemistry*, 10(8).
- **ETIEVANT, Alain and DELOLME, Xavière. (2011).** Formulation des préparations de fruits. Ed Technique de l'ingénieur. 1-16p. Techniques de l'ingénieur Filière de production : produits d'origine végétale Editions T.I
- **Fatih Yildiz. (2010).** Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products, Taylor and Francis Group Includes bibliographical references and index. ISBN 978-1-4200-8207-4
- **FDA, (1998),** FDA approves new high-intensity sweetener sucralose. Available from: <http://www.fda.gov/bbs/topics/ANSWERS/ANS00859.html>.

- **Freyenmuth J C. (1827)**, Nachrichtüber den Flachsbaund die Bereitung der Leinwand in der östlichen Schweiz (Nouvelle de la culture du lin et de la préparation de la toile de lin en Suisse orientale). En : *Neue Alpina* 2, p. 275–315.
- **Gaucheron, F. (2011)**. Milk and dairy products: a unique micronutrient combination. *Journal of the American College of Nutrition*, 30(sup5), 400S-409S.
- **Genser, M. V. (1994)**. Description and composition of flaxseed. *Flax Seed, Health, Nutrition and Functionality*, 9-14.
- **Gill, C, Rowland, I.(2003)** , Cancer, in *Functional Dairy Products*, T. Mattila-Sandholm and M. Saarela, Eds, pp. 19–53, CRC Press, Boca Raton and Woodhead Publishing Limited, England.
- **Gosta, F. (1995)**, Manuel de transformation du lait. Ed. Tetra packs. 424p.
- **Griffiths, J. C. (2005)**. Coloring foods & beverages. *Food technology*. 59 (5), 38–44.
- **Guesnet, P., Alessandri, J. M., Astorg, P., Pifferi, F., & Lavalie, M. (2005)**. Les rôles physiologiques majeurs exercés par les acides gras polyinsaturés (AGPI). *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 12(5-6), 333-343.
- **Guignard, J-L, (2015)**, Abrégé de Botanique – Les familles de plantes 16ème édition. Frédéric Dupont, Jean-Louis Guignard Editions Elsevier Masson.
- **Guilloux, K., Gaillard, I., Courtois, J., Courtois, B., & Petit, E. (2009)**. Production of arabinoxylan-oligosaccharides from flaxseed (*Linum usitatissimum*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(23), 11308-11313.
- **Gutierrez, L., Conejero, G., Castelain, M., Guénin, S., Verdeil, J. L., Thomasset, B., & Van Wuytswinkel, O. (2006)**. Identification of new gene expression regulators specifically expressed during plant seed maturation. *Journal of experimental botany*, 57(9), 1919-1932.
- **Halligudi N. (2012)**, Pharmacological properties of flax seed: Review *Hygeia: journal for drugs and medicines*, 4 (2): 70-77.
- **Heaney, R. P. (2000)**. Calcium, dairy products and osteoporosis. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(sup2), 83S-99S.
- **Holt, J G, Krieg, N R, Sneath, P H A, Staley, J T, Williams, S T. (1994)**, Manual of Determinative Bacteriology, 9th edition, Williams & Wilkins, Baltimore.
- **Jeantet R, Croguennec T, Mahaut M, Shuck P, Brule G. (2008)**, Les produits laitiers 2eme éd. Ed. Tec et Doc. Paris. pp. 22-32.
- **Jhala, A. J., & Hall, L. M. (2010)**. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications. *Aust. J. Basic Appl. Sci*, 4(9), 4304-4312.

- **Kadivar, M. (2001).** *Studies on Integrated Processes for the Recovery of Mucilage, Hull, Oil and Protein from Solin (low Linolenic Acid Flax)* (Doctoral dissertation, University of Saskatchewan).
- **Kasote, D. M., Hegde, M. V., & Deshmukh, K. K. (2011).** Antioxidant activity of Phenolic components from n-butanol fraction (PC-BF) of defatted flaxseed meal. *American Journal of Food Technology*, 6(7), 604-612.
- **Katare, C., Saxena, S., Agrawal, S., Prasad, G. B. K. S., & Bisen, P. S. (2012).** Flax seed: a potential medicinal food. *J Nutr Food Sci*, 2(1), 120-7.
- **Kolars, J. C., Levitt, M. D., Aouji, M., & Savaiano, D. A. (1984).** Yogurt—an auto digesting source of lactose. *New England Journal of Medicine*, 310(1), 1-3.
- **Kora, E. 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?* (Doctoral dissertation).
- **Kosikowski, F. V., & Mistry, V. V. (1997).** Cheese and fermented milk foods. Volume 1: origins and principles. *Cheese and fermented milk foods. Volume 1: origins and principles.* (Ed. 3).
- **Labalette, F., Landé, N., Wagner, D., Roux-Duparque, M., & Sallet, E. (2011).** La filière lin oléagineux française: panorama et perspectives. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 18(3), 113-122.
- **Lapointe-Vignola, C. (2002).** *Science et technologie du lait: transformation du lait.* Presses inter Polytechnique.
- **Lehninger, A L, (1981),** Biochimie. Paris, Flammarion M S. Newsholme, EA, The glucose fatty acid cycle and physical exhaustion, in Human Muscle Fatigue: Physiological Mechanisms (Ciba Foundation Symposium 82), Pitman Medical, London, pp
- **Lepiniec, L., Debeaujon, I., Routaboul, J. M., Baudry, A., Pourcel, L., Nesi, N., & Caboche, M. (2006).** Genetics and biochemistry of seed flavonoids. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 405-430.
- **Lipilina E & Ganki V. J Foodservice. (2009) ; 20(1):52-59.** American Institute of Baking. Wellness in Baking Short Course, August 3-7, Manhattan, KS. 18.
- **Lutge U, Kluge M, Bauer G. (2002) ,** Botanique 3^{ème} Edition : Technique et documentation, Lavoisier. Paris. p211.
- **Mahsa Ardabilchi Marand, Sajed Amjadi, Mahdis Ardabilchi Marand, Leila Roufegarinejad, Seid Mahdi Jafari. (2020),** Enrichissement du yaourt en poudre de

- lin et évaluation de son profil d'acides gras, de ses propriétés physico-chimiques, antioxydantes et sensorielles, *Powder Technologie* 359, 76–84.
- **Malcolmson L. (2000)**, *Am Oil Chem Soc J*, 77:235-238.1. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine Dietary Reference Intakes for Vitamins the National Academies Press, Washington.8:860 – 865.
 - **Malcolmson L. (2012)**, la graine de lin - un grain ancien, riche en bienfaits pour la santé et En avantages culinaires, p1
 - **Maninder Kaur, Rajwinder Kaur, Sneh Punia. (2018)** , Characterization of mucilage's extracted from different flaxseed (*Linum usitatissimum L.*) cultivars: A hetero polysaccharide with desirable functional and rheological properties, S0141-8130(18) 32019, BIOMAC 9850
 - **Manthey F. (2002)**, Proceedings of the 59th Flaxseed Institute of the United States, 14-20.
 - **Marshall, V. M. (1987)**. Lactic acid bacteria: starters for flavour. *FEMS Microbiology Reviews*, 3(3), 327-336.
 - **Martinchik, A N, Baturin A K, Zubtsov W, Vlu Molofeev. (2012)**, Nutritional value functional properties of flaxseed, *Sci* 81(3):4-10.
 - **Martini, M. C. (2011)**. *Introduction à la dermatopharmacie et à la cosmétologie*. Lavoisier.
 - **Marty-Teyssset, C., De La Torre, F., & Garel, J. R. (2000)**. Increased Production of Hydrogen Peroxide by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* upon Aeration: Involvement of an NADH Oxidase in Oxidative Stress. *Applied and environmental microbiology*, 66(1), 262-267.
 - **Mazza, G., & Biliaderis, C. G. (1989)**. Functional properties of flax seed mucilage. *Journal of Food Science*, 54(5), 1302-1305.
 - **MOHAMMEDI, Z. (2013)**. *Etude phytochimique et activités biologiques de quelques Plantes médicinales de la Région Nord et Sud Ouest de l'Algérie* (Doctoral dissertation).
 - **Morin, O. (2015)**. Caractéristiques des huiles de lin et de chanvre. *OCL*, 22(6), D608.
 - **Morris, D. H. (2007)**. Focus: 'Flax—a health and nutrition primer. Flax Council of Canada [internet].
 - **Moss, G. P. (2000)**. Nomenclature of lignans and neolignans (IUPAC Recommendations. *Pure and applied chemistry*, 72(8), 1493-1523.

- **Nesbitt, P. D., Lam, Y., & Thompson, L. U. (1999).** Human metabolism of mammalian lignan precursors in raw and processed flaxseed. *The American journal of clinical nutrition*, 69(3), 549-555.
- **Netravati Hiremath. (2013),** thèse de doctorat, Evaluation of flaxseed (*Linum usitatissimum*) for nutrients and photochemical composition.
- **Ngounou, C. J., Ndjouenkeu, R., Mbofung, C. M. F., & Noubi, L. (2003).** Mise en évidence de la biodisponibilité du calcium et du magnésium au cours de la fermentation du lait par des bactéries lactiques isolées du lait caillé de zébu. *Journal of food Engineering*, 57(3), 301-304.
- **Oliveira, C. A. F., Fernandes, A. M., Neto, O. C. C., & Fonseca, L. F. L. (2002).** Composition and sensory evaluation of whole yogurt produced from milk with different somatic cell counts. *Australian Journal of Dairy Technology*, 57(3), 192.
- **OM Lukow, (2004),** Production et consommation de grains | Oléagineux en Amérique du Nord. Dans Encyclopédie de la science des grains.
- **Onidol. (2009),** L'avenir de la filière du lin oléagineux Français, interprofession des oléagineux.
- **Oomah, B. D. (2001).** Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9), 889-894.
- **Oomah, B. D. (2003).** Processing of flaxseed fiber, oil, protein, and lignan. *Flaxseed in human nutrition*, 2, 363-386.
- **Oomah, B. D., Mazza, G., & Kenaschuk, E. O. (1996).** Flavonoids content of flaxseed. Influence of cultivar and environment. *Euphytica*, 90(2), 163-167.
- **Özer, B., & Özer, B. (2006).** *Yoğurt Bilimi ve Teknolojisi*. Sidas Medya. p. 496
- **Panaite, T., Ropota, M., Turcu, R., Olteanu, M., Corbu, A. R., & Nour, V. (2017).** Flaxseeds: nutritional potential and bioactive compounds. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 74, 2.
- **Passebecq, A. (1982).** *Votre santé par la diététique et l'alimentation saine*. Dangles Lavoisier. 176p.
- **Pernoud, S., Schneid-Citrain, N., Agnetti, V., Breton, S., Faurie, J. M., Marchal, L., & Robinson, T. (2005).** Application des bactéries lactiques dans les produits laitiers frais et effets des probiotiques. *Bactéries Lactiques et Probiotiques, Éditions: Technique & Documentation-Lavoisier, Cachan cedex, France*, 306.
- **Prasad, K., & Dhar, A. (2016).** Flaxseed and diabetes. *Current pharmaceutical design*, 22(2), 141-144.

- **Radke-Mitchell, L., & Sandine, W. E. (1984).** Associative growth and differential enumeration of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*: a review. *Journal of Food Protection*, 47(3), 245-248.
- **Rasic J, Curcic R, Stojsavljevic T, Obradovic B. (1971)** , A study on the amino acids of yoghurt. *Milchwis-senschaft*, 26, 496-499
- **Reay Tannahill. (1988)**, Food in History, Three Rivers Press, New York, pp. 27–29
- **Renouard, S. (2011).** *Régulation transcriptionnelle de la biosynthèse des lignanes du lin (*Linum usitatissimum* et *Linum flavum*) et amélioration de l'extraction des lignanes* (Doctoral dissertation, Orléans). 231p.
- **Robinson, R. K., & Tamime, A. Y. (1993).** Manufacture of yoghurt and other fermented milks. In *Modern dairy technology* (pp. 1-48). Springer, Boston, MA.
- **Rombaut, N. (2013).** *Etude comparative de trois procédés d'extraction d'huile: aspects qualitatifs et quantitatifs: application aux graines de lin et aux pépins de raisin* (Doctoral dissertation, Compiègne).
- **ROUSSEAU, M. (2005).** La fabrication du yaourt, les connaissances. INRA. 9p.
- **Roy, H. J., Lundy, S., Eriksen, C., & Kalicki, B. (2007).** Flaxseed: A Review of Health Benefits. *Pennington Nutrition Series*.
- **Saxelin, M., Korpela, R., & Mäyrä-Mäkinen, A. (2003).** Introduction: classifying functional dairy products. In *Functional dairy products* (pp. 1-16). Woodhead Publishing.
- **Schilperoord P, Alvaneu. (2018)**, Relecture Édition française : Éditeur : © Verein für alpine Kulturpflanzen, Alvaneu, Plantes cultivées en Suisse – Le lin. P11-12.
- **Schkoda, P., Hechler, A., & Hinrichs, J. (2001).** Influence of the protein content on structural characteristics of stirred fermented milk. *Milchwis-senschaft*, 56(1), 19-22.
- **Schmidt J L, Tourneur C, Lenoir J. (1994)**, Fonction et choix des bactéries lactiques laitières. In bactéries lactiques. pp. 37-46. Ed. De Roissart, H. et Luquet, F.M., II, Lorica, paris.
- **Tamime, A Y, Robinson, R K. (1985)**, Background to manufacturing practice. In Yoghurt. Science and technology. pp. 7-90. Ed. Tamime, A.Y. et Robinson, R.K., Pergamon Press, Paris.
- **Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (1999).** *Yoghurt: science and technology*. Woodhead Publishing.
- **Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007).** *Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology*. Elsevier.

- **Terre, S. (1986).** Propriétés technologiques nutritionnelles et physiologiques de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. *Technique laitière et marketing*, (1008), 26-39.
- **Thompson, L. U., Boucher, B. A., Liu, Z., Cotterchio, M., & Kreiger, N. (2006).** Phytoestrogènes content of foods consumed in Canada, including isoflavones, lignans, and Coumestan. *Nutrition and cancer*, 54(2), 184-201.
- **Vaisey-Genser, M., & Morris, D. H. (2003).** Introduction: history of the cultivation and uses of flaxseed. In *Flax* (pp. 13-33). CRC Press.
- **Varnam, A H, Sutherland, J P. (1994),** Milk and Milk Products: Technology, Chemistry and Microbiology, Chapman & Hall, London, p. 451.
- **Venglat, P., Xiang, D., Qiu, S., Stone, S. L., Tibiche, C., Cram, D., & Bekkaoui, F. (2011).** Gene expression analysis of flax seed development. *BMC plant biology*, 11(1), 1-15.
- **Vierling. (2003),** Aliments et boisson. «Filière et produits». Ed: Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. Bordeaux. P 271.
- **Voet D, Voet J G. (2005),** Biochimie, 2^{ème} Ed; De Boeck Supérieur, Italie.
- **Walstra, P. (1999).** *Dairy technology: principles of milk properties and processes*. CRC Press. Marcel Dekker, New York, pp. 181–185.
- **Weber, F. (1994),** Altérations des produits laitiers par les bactéries lactiques. In Bactéries lactiques. De Roissart, H. & Luquet, F. M. (Eds), Lorica, Uriage, 567-572.
- **Wszolek, M., Kupiec-Teahan, B., Guldager, H. S., & Tamime, A. Y. (2006).** Types of fermented milks. *Fermented Milks*. Edited by Tamime A. Y. Ames, IA: Blackwell Science.
- **Zeghad, N. (2009).** Etude du contenu polyphénolique de deux plantes médicinales d'intérêt économique (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*) et évaluation de leur activité antibactérienne. *Constantine: université Mentouri*.
- **Zourari, A. A. J. P., Accolas, J. P., & Desmazeaud, M. J. (1992).** Metabolism and biochemical characteristics of yogurt bacteria. A review. *Le lait*, 72(1), 1-34.

Annexe 1

Analyse sensorielle

Nome :

Date :

Age :

Quatre échantillons de yaourt A, B, C, D vous sont présentés, Après la dégustation donnez une note de 1 à 10.

| Caractère | Echantillon A | Echantillon B | Echantillon C | Echantillon D |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Couleur | | | | |
| Goût | | | | |
| Texture | | | | |
| Odeur | | | | |
| Acidité | | | | |

Echelle de notation :

Mauvaise : 1 à 3

Acceptable : 4 à 5

Bonne : 6 à 7

Très bonne : 8 à 9

Excellent : 10

Annexe 2

Analyse sensorielle

Nome : Bouachrine Bilale

Date : 13/ 09/ 2020

Age : 29 ans

Quatre échantillons de yaourt A, B, C, D vous sont présentés, Après la dégustation donnez une note de 1 à 10.

| Caractère | Echantillon A | Echantillon B | Echantillon C | Echantillon D |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Couleur | 7 | 8 | 6 | 5 |
| Goût | 9 | 10 | 7 | 6 |
| Texture | 7 | 8 | 5 | 4 |
| Odeur | 10 | 9 | 7 | 2 |
| Acidité | 9 | 6 | 5 | 4 |

Echelle de notation :

Mauvaise : 1 à 3

Acceptable : 4 à 5

Bonne : 6 à 7

Très bonne : 8 à 9

Excellent : 10

Annexe 3**Analyse sensorielle**

Nom: Nacer souhila

Date:13/ 09/ 2020

Age : 19 ans

Quatre échantillons de yaourt A, B, C, D vous sont présentés, Après la dégustation donnez une note de 1 à 10.

| Caractère | Echantillon A | Echantillon B | Echantillon C | Echantillon D |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Couleur | 6 | 5 | 8 | 7 |
| Goût | 8 | 7 | 6 | 4 |
| Texture | 4 | 6 | 7 | 8 |
| Odeur | 8 | 6 | 5 | 4 |
| Acidité | 8 | 6 | 5 | 5 |

Echelle de notation :**Mauvaise : 1 à 3****Acceptable : 4 à 5****Bonne : 6 à 7****Très bonne : 8 à 9****Excellent : 10**

Résumé

Dans ce travail, nous sommes intéressés à l'étude de l'incorporation de la poudre de lin dans le yaourt industriel aromatisé « Ramdy », afin d'améliorer sa qualité organoleptique et surtout nutritionnelle.

L'analyse des résultats des travaux des autres confirme que la graine de lin est une graine oléagineuse (>40% d'huile). C'est une source importante de fibres (mucilages), d'ALA, de protéines, de polyphénols et de flavonoïdes, ce qui le rend un aliment fonctionnel à propriétés thérapeutiques.

L'effet d'incorporation de la poudre de lin avec différents taux (0%, 4%, 7% et 10%) sur la qualité organoleptique du produit final a été étudié. Généralement, la qualité organoleptique des yaourts analysés est variée selon le taux d'incorporation de la poudre de lin. Cependant les meilleurs résultats obtenus sont enregistrés dans le yaourt témoin et celui additionné de 4% de la poudre de lin. Selon les dégustateurs, l'acidité de yaourt augmente avec l'augmentation de la concentration de la poudre de lin ajoutée. Pour obtenir un produit de meilleures qualités organoleptiques, la concentration de la poudre de lin qui doit être ajoutée soit inférieure à 4%.

Mots clés : Yaourt aromatisé, poudre de lin, qualité organoleptique.

Abstract

In this work, we are interested in studying the use of flax powder into "Ramdy" flavored industrial yoghurt, in order to improve its organoleptic and especially its nutritional quality.

Analysis of results of the others works confirms that flax seed is an oilseed (> 40% oil). It is an important source of fibers (mucilage), ALA, proteins, polyphenols and flavonoids, which makes it a functional food with therapeutic properties.

The effect of incorporating flax powder with different rates (0%, 4%, 7% and 10%) on the organoleptic quality of the final product was studied. Generally, the organoleptic quality of the yoghurts analyzed varies according to the incorporation rate of the flax powder. However, the best results obtained are recorded in the control yoghurt and that with 4% of the flax powder added. According to the tasters, the acidity of yogurt increases with increasing concentration of the added flax powder. To obtain a product of better organoleptic qualities, the concentration of the flax powder which must be added is less than 4%.

Keywords: Flavored yoghurt, Flax Powder, organoleptic quality.

ملخص

في هذا العمل، نحن مهتمون باستعمال مسحوق بذور الكتان في الياوورت الصناعي المعطر "رمدي" بهدف تحسين نوعيته الحسية و خاصة الغذائية.

تؤكد نتائج عمل الباحثين أن بذور الكتان عبارة عن بذرة زيتية (>40% زيت). كما أنها مصدر مهم للألياف (الصمغ) , ALA , بروتين؛ البولي فينول والفلافونويد وهذا ما يجعلها غذاء وظيفيا ذو خصائص علاجية.

تمت دراسة تأثير دمج مسحوق الكتان بنسب مختلفة (0% ، 4% ، 7% و 10%) على الجودة الحسية للمنتج النهائي. النوعية الحسية للياوورت المحلل تختلف باختلاف كمية مسحوق بذور الكتان المضافة فقد سجلنا أفضل النتائج في الياوورت الشاهد والذي أضفنا له 4% من مسحوق بذور الكتان. حسب النتائج المحصل عليها من طرف المتذوقين تبين أن حموضة الياوورت تنقص مع زيادة تركيز مسحوق الكتان المضاف، و للحصول على منتج ذي نوعية حسية أفضل يجب أن يكون تركيز مسحوق الكتان أقل من 4%.

الكلمات المفتاحية: ياوورت معطر، مسحوق بذور كتان، النوعية الحسية.