

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn  
Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTEMENT DE SCIENCES ALIMENTAIRES

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**

Présentées par

**MAHIEDDINE Ibtissem & ACHIR Bochra**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES**

**Spécialité : Agro-alimentaire et contrôle de qualité**

**THÈME**

**Appréciation de la qualité d'un lait fermenté de type  
yaourt à boire enrichi avec du son de blé dur**

Soutenue publiquement le 25/06/2023

DEVANT LE JURY

Président	Dr TAHLAITI Hafida	MCA	U. Mostaganem
Encadreur	Dr DAHOU Abdelkader El Amine	MCA	U. Mostaganem
Examineur	Dr ZABOURI Younes	MCA	U. Mostaganem
Co-encadreur	BEKIHAL Amin	Doctorant	U. Mostaganem

*Thème réalisé au Laboratoire de recherche des Sciences et Techniques de Production  
Animale « LSTPA ».*

*Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem*

## **DEDICACES**

*Je dédie ce modeste travail à : Ma **mère**, mon **père** la lumière de ma vie pour leurs encouragements et leurs sacrifices, pour l'espoir qu'ils ont semé en moi vie et aussi à mes **sœurs**, et mon **frères**.*

*A mes meilleures amies, qui m'a donné le courage et mon **fiancé** qui m'a donné la force*

*Aussi un grand dédicace à mon binôme **Bohra** que je remercie pour le courage et le soutien et le réconfort qu' 'elle m'a apporté et pour les merveilleux moments passés ensemble.*

*J'adresse mes brefs remerciements à toute ma promo d'Agroalimentaire et contrôle de qualité.*

*A tous ceux que j'aime.*

**IBTISSEM**

## **DEDICACES**

*Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers :*

*A mes parents, qui m'ont encouragés et soutenu jour et nuit durant toutes mes études et dans toute ma vie, que dieu vous protège.*

*A ma adorable sœur **Manel**, et mes très chers frères **Mohamed** et **Aboubakr seddik**.*

*A ma grand-mère que je souhaite une longue vie.*

*A ma chère amie et compagne de route **Amel**.*

*A mon binôme **Ibtissem**, pour son courage, son soutien, ainsi que pour les merveilleux moments que nous avons partagés.*

*A tous ceux que j'aime.*

**Bohra**

## **Remerciements**

*Avant tout nous adressons un remerciement à **DIEU** le tout puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour accomplir ce travail.*

*A travers ce modeste travail, nos remerciements les plus vifs s'adressent surtout à notre encadreur Dr **DAHOU Abdelkader El Amine**, pour sa disponibilité, générosité, conseils précieux et pour toutes les orientations qui nous a apporté durant notre étude et pour la réalisation de ce projet.*

*Nous remercions les plus vifs s'adressent aussi au président du jury et les membres examinateurs d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer une profonde reconnaissance aux membres du laboratoire de recherche des sciences et techniques de production animale de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, surtout l'ingénieur de laboratoire M **BENHARRAT Noureddine** et le Co-encadrant le Doctorant **BEKIHAL Amine**, pour leurs gentillesse, générosités, disponibilités et leur précieuse aide.*

*Enfin, que tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail trouve ici notre profond gratitude.*

## **Résumé**

Cette étude a contribué à valoriser un sous-produit de la transformation céréalière, le son de blé dur, dans l'enrichissement d'un lait fermenté de type yaourt à boire avec des taux d'incorporation allant de 0.5 à 1.5 % en vue d'obtenir un produit développé par d'une part sa qualité nutritionnelle et sensorielle et d'autre part par sa valeur diététique grâce à sa richesse en fibres céréalières. Une série d'analyses de contrôle physico-chimique et microbiologique a été faite portant sur la matière première, le son et le yaourt. Une évaluation sensorielle du yaourt diététique a été également réalisée et un suivi de la stabilité à la conservation des préparations a été établi sur une période normalisée, étalée à DLC sur 21 jours. Les résultats des paramètres physico-chimiques du son, du lait et des produits finis, sont conformes aux normes de la fédération internationale du lait FIL. Les résultats des analyses microbiologiques indiquent une absence totale des germes pathogènes, des germes de contamination fécale ainsi que les germes responsables d'altérations, avec une bonne acceptabilité organoleptique du yaourt par les dégustateurs.

**Mots clés :** Valorisation, son de blé dur, lait fermenté, enrichissement.

## **Abstract**

This study aimed to valorize a co product of cereal processing, namely durum wheat bran, in the enrichment of a fermented milk product, specifically drinkable yogurt, with incorporation rates ranging from 0.5% to 1.5%. The objective was to develop a product that excels in both its nutritional and sensory quality, while also providing dietary value due to its high fiber content. Physicochemical and microbiological analyses were conducted on the raw materials (bran and yogurt), and a sensory evaluation of the dietary yogurt was carried out. Additionally, a stability study was conducted over a standardized period, with a shelf life of 21 days. The results of the physicochemical parameters for the bran, milk, and final products complied with the standards set by the International Dairy Federation (FIL). Microbiological analysis revealed the absence of pathogenic and fecal contaminants, as well as spoilage microorganisms. The yogurt was organoleptically well accepted by the taste testers.

**Keywords:** Valorization, durum wheat bran, fermented milk, enrichment.

## ملخص

ساهمت هذه الدراسة في تثمين منتج ثانوي من تحويل الحبوب وهو نخالة القمح الصلب، في إثراء حليب مختمر من نوع يوغورت للشرب بنسب تتراوح بين 0.5 إلى 1.5% بهدف الحصول على منتج مطور من حيث القيمة الغذائية والحسية.

تم إجراء سلسلة من التحاليل الفيزيوكيميائية والمكروبيولوجية للمواد الخام نخالة القمح واليوغورت. كما تم إجراء تقييم حسي لليوغورت وتم تحديد استقرار العينات خلال فترة تخزين DLC قياسية لمدة 21 يوماً.

تتوافق نتائج المعايير الفيزيوكيميائية لنخالة القمح والحليب والمنتجات النهائية مع معايير الاتحاد الدولي لصناعة الألبان .FIL

تشير نتائج التحاليل المكروبيولوجية إلى الغياب التام للجراثيم المسببة للأمراض، والجراثيم الملوثة بالبراز وكذلك الجراثيم المسؤولة عن التلف. مع قبول جيد للزبادي من قبل المتذوقين.

**الكلمات المفتاحية:** التثمين، نخالة القمح الصلب، الحليب المخمر، الإثراء

## Liste des figures

Figures	Page
<b>Figure 01</b> : Schéma de transformation du blé (Hamdouche et Kettou, 2015).	<b>04</b>
<b>Figure 02</b> : Couche cellulaire du grain de blé (Surget et Barron, 2005).	<b>07</b>
<b>Figure 03</b> : Diagramme de fabrication du yaourt (Cours de M. Dahou).	<b>28</b>
<b>Figure 04</b> : Situation géographique du laboratoire de recherche LSTPA de l'université Abdelhamid IBN BADIS de Mostaganem (Google maps)	<b>30</b>
<b>Figure 05</b> : Le son blé dur	<b>31</b>
<b>Figure 06</b> : Diagramme de fabrication des laits fermentés expérimentaux	<b>33</b>
<b>Figure 07</b> : Refractomètre de contrôle du brix	<b>36</b>
<b>Figure 08</b> : Viscosimètre	<b>38</b>
<b>Figure 09</b> : Préparation des dilutions	<b>41</b>
<b>Figure 10</b> : Teneur en extrait sec des produits finis.	<b>49</b>
<b>Figure 11</b> : Suivi de la matière grasse du produit fini.	<b>50</b>
<b>Figure 12</b> : Valeurs de la matière protéique des différents produits finis.	<b>50</b>
<b>Figure 13</b> : Valeurs du lactose des différents produits finis.	<b>55</b>
<b>Figure 14</b> : Valeurs de l'acidité Dornic des différents produits finis.	<b>52</b>
<b>Figure 15</b> : Valeurs des pH des différents produits finis.	<b>52</b>
<b>Figure 16</b> : Valeurs des viscosités des différents produits finis.	<b>53</b>
<b>Figure 17</b> : Aspect microscopique de <i>Streptococcus thermophilus</i> Après la coloration de Gram (× 100)	<b>55</b>
<b>Figure 18</b> : Aspect microscopique de <i>Lactobacillus bulgaricus</i> Après la coloration de Gram (× 100)	<b>55</b>
<b>Figure 19</b> : Évaluation de l'aspect visuel des essais élaborés.	<b>56</b>
<b>Figure 20</b> : Évaluation de l'aspect olfactif des essais élaborés.	<b>57</b>
<b>Figure 21</b> : Évaluation de l'aspect gustatif des essais élaborés.	<b>57</b>
<b>Figure 22</b> : Classement du yaourt élaboré.	<b>58</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableaux</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau 01</b> : Composition des coproduits de blé dur ( <b>Feillet, 2000</b> )	<b>05</b>
<b>Tableau 02</b> : Composition des différentes couches de son sur une base humide de 12 à 14 % ( <b>Achacha et Khellaf, 2016</b> )	<b>09</b>
<b>Tableau 03</b> : Valeur nutritionnelle moyenne des yaourts ( <b>Émilie, 2005</b> )	<b>19</b>
<b>Tableau 04</b> : Composition des laits en poudre (en %) ( <b>FAO, 2002</b> ).	<b>20</b>
<b>Tableau 05</b> : Condition de préparation des laits fermentés expérimentaux.	<b>32</b>
<b>Tableau 06</b> : Les résultats de l'analyse physicochimique du son de blé dur.	<b>45</b>
<b>Tableau 07</b> : Les résultats des analyses physico-chimiques du lait reconstitué.	<b>46</b>
<b>Tableau 08</b> : Résultat de Sirop de saccharose préparé	<b>47</b>
<b>Tableau 09</b> : Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt préparé.	<b>48</b>
<b>Tableau 10</b> : Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt préparé.	<b>54</b>
<b>Tableau 11</b> : La valeur calorique est donnée en Kcal /100g	<b>58</b>

## Listes d'abréviations

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**CP** : centipoises

**°D** : Degré Dornic

**ES** : extrait sec

**EST** : extrais sec totale

**FAO** : Food Agriculture Organisation (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

**H%** : humidité Teneur en eau

**ISO** : International Standard Organisation (Organisation internationale denormalisation)

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

**Kcal** : kilocalorie

**KJ** : kilojoule

**LSTPA** : Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animale

**MG** : matière grasse

**MGLA** : matière grasse laitière anhydre

**MRS** : gélose de Man, Rogosa, Sharpe

**N** : Normalité

**NaOH** : Hydroxyde de sodium.

**n.d** : non déterminé

**NF** : Norme française

**OGA** : Gélose glucosée à l'oxytétracycline

**PCA** : Plat Count Agar

**pH** : potentiel d'Hydrogène

**VRBG** : Violet Red Bile Glucose

**Y.T** : yaourt témoin

## Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

La liste des tableaux

La liste des figures

La liste des abréviations

Introduction.....01

### Partie I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIE

#### Chapitre I : Les coproduits de blé dur

1. Généralités sur les céréales.....	03
2. Le blé dur .....	03
3. La transformation de blé dur.....	04
4. Les compositions des coproduits de blé dur .....	05
4.1. Le germe de blé.....	05
4.2. Le remoulage .....	06
4.3. Les farines basses .....	06
4.4. Le son .....	06
4.4.1. La structure du son de blé.....	07
4.4.2. La composition du son de blé dur.....	09
4.4.3. Valeur nutritionnelle spécifique du son de blé dur.....	12
4.4.4. Rôle des fibres de son dans la protection de l'organisme.....	13
4.4.5. Utilisation du son de blé dur .....	13
4.4.6. Incorporation du son dans les dérivés du lait : lait fermentés.....	14

#### Chapitre II : lait fermenté

1. Historique du lait fermenté .....	15
2. Définition du lait fermenté .....	15
3. La fermentation .....	16
3.1. La fermentation lactique ou lactofermentation .....	16
3.2. L'avantage de la lactofermentation.....	16

4. Les différents laits fermentés .....	16
4.1. Le yaourt .....	16
4.2. Le Raïb .....	17
4.3. Le L'ben .....	17
4.4. Le Kéfir .....	17
4.5. Le Koumis .....	18
5. Les Yaourts .....	18
5.1. Historique .....	18
5.2. Définition du yaourt .....	18
5.3. Valeur nutritionnelle moyenne des yaourts.....	19
5.4. Matières premières et ingrédients utilisés pour la production du yaourt.....	20
5.5. Classification des yaourts .....	21
5.5.1. En fonction de leur teneur en matières grasses .....	21
5.5.2. En fonction de leur goût .....	21
5.5.3. En fonction de leur texture .....	21
5.6. Les bactéries du yaourt .....	21
5.7. Fonction des bactéries lactiques .....	22
6. Technologie de fabrication du yaourt .....	24
6.1. Réception et stockage.....	24
6.2. Standardisation .....	25
6.3. Homogénéisation.....	25
6.4. Traitement thermique et refroidissement .....	26
6.5. Ensemencement.....	26
6.6. Maturation .....	27
6.7. Décaillage.....	27
6.8. Brassage.....	27
6.9. Conservation des yaourts .....	27
7. Diagramme de fabrication .....	27
8. Les intérêts nutritionnels du yaourt .....	29

## **PARTIE II : METHODOLOGIE**

### **Matériel et méthodes**

1. Cadre de l'étude .....	30
2. Lieu et durée du travail .....	30
3. Matériel et produits utilisés.....	31
3. 1 Produits.....	31
3.1.1. Matières premières .....	31
a. Les échantillons du son de blé dur.....	31
b. Le lait.....	31
c. Le levain .....	31
d. Le sirop .....	32
4. Méthode .....	32
4.1. Elaboration du yaourt à boire enrichi avec du son de blé dur .....	32
5. Techniques d'analyse.....	34
5.1. Analyses physico-chimiques du son de blé dur .....	34
5.2. Analyses physico-chimiques du lait.....	35
5.3. Analyses physico-chimiques du sirop.....	36
5.4. Analyses physico-chimiques du yaourt .....	37
5.5. Analyses microbiologiques du yaourt.....	41
5.6. Analyse organoleptique.....	43
5.7. La valeur calorique.....	44

### **Résultats et discussion**

1. Résultats des analyses physico-chimiques du son de blé dur.....	45
2. Résultats des analyses physico-chimiques du lait.....	46
3. Résultats des analyses physico-chimiques du sirop.....	47
4. Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt.....	48
5. Résultats des analyses microbiologiques du yaourt.....	54
6. Résultat des analyses sensorielles .....	56
7. La valeur calorique.....	58

<b>Conclusion.....</b>	<b>60</b>
------------------------	-----------

<b>Liste des références bibliographiques.....</b>	<b>61</b>
---	-----------

### **Annexe**

## Introduction

L'industrie agroalimentaire est un secteur important pour le développement des pays en voie de développement. L'Algérie œuvre dans ce sens pour développer ce secteur industriel en pleine expansion qui doit assurer la satisfaction des divers besoins d'une population croissante.

La croissance de la population mondiale et l'augmentation du niveau de vie nécessitent une plus grande quantité de nourriture pour répondre aux besoins croissants. Pour atteindre cet objectif, il est essentiel non seulement d'augmenter la production alimentaire, mais aussi d'améliorer la protection et la conservation des aliments, ainsi que d'utiliser les meilleures techniques de traitement, en parallèle avec les avancées de la technologie alimentaire. Dans ce contexte, l'utilisation accrue des additifs alimentaires est nécessaire (**Maameri et Said, 2018**). Aujourd'hui, dans le domaine de la nutrition mondiale, de nouveaux produits alimentaires préparés à partir d'une nouvelle source énergétique sont de plus en plus populaires. Parmi ces produits, le son de blé est un supplément alimentaire très riche en fibres alimentaires, qui présente de nombreux avantages nutritionnels.

En effet, le son de blé est une excellente source de minéraux, tels que le phosphore, le magnésium et le fer. De plus, il offre d'autres bienfaits, tels qu'une amélioration de la digestion, une régularisation du transit intestinal, ainsi qu'une capacité à retarder l'absorption des sucres et à réduire le stockage des graisses, y compris le cholestérol, en les piégeant dans ses fibres (**Cherik, 2012**).

En effet, l'industrie laitière est constamment en train de développer de nouveaux produits alimentaires, tels que les laits fermentés. Et parmi les produits alimentaires à grande consommation en Algérie et dans d'autres pays ; les produits laitiers frais fermentés, comme le yaourt (**Paci kora, 2004**).

Les yaourts sont des laits fermentés qui, selon la définition internationale du codex Alimentarius définie en 1975 et révisée en 2003, doivent contenir les espèces vivantes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus Bulgaricus* (**Lecerf, 2020**).

Le yaourt est un produit laitier, aux bénéfices prébiotiques et probiotiques sur la santé humaine et aussi un aliment intéressant d'un point de vue nutritionnel (richesse en calcium et en vitamines, avec un équilibre entre les fractions glucidiques, protéiques et lipidiques) et aussi quasi thérapeutique (**Ahmed messaoud, 2013**).

L'objectif que nous nous sommes fixés à travers cette étude consiste de l'innovation d'une formulation d'un lait fermenté enrichi avec une proportion de son de blé.

Avant d'élaborer notre protocole on s'est posé les questions suivantes :

Est-ce que les consommateurs accepteront l'incorporation du son de blé dans le yaourt à boire ? Est-ce que cela aura une influence sur le produit ? Est-ce que cela modifiera les caractéristiques sensorielles du produit ? Quelle est la qualité microbiologique et physicochimique de cette nouvelle formulation pour assurer la sécurité du consommateur ? Afin de répondre à toutes ces questions, nous avons réalisé des essais d'incorporation à différents pourcentages de son de blé dur dans un yaourt et en suivant l'évolution de ce produit sur les plans physicochimique, microbiologique et organoleptique, conformément à la réglementation algérienne.

Pour répondre à ce questionnement nous avons établi une recherche bibliographique sur la thématique, établi un protocole expérimental selon notre recherche et les recommandations de la fédération internationale du lait FIL, pour concrétiser nos essais expérimentaux au laboratoire de recherche des sciences et techniques de production animale de l'université de Mostaganem, obtenir des résultats, les valoriser, les discuter et valider la formulation appréciée pour ce produit laitier innovant avec le sous-produit de la transformation céréalière : le son de blé.

## 1. Généralités sur les céréales

Le terme "céréale" est dérivé du mot latin "cerealium" qui signifie "grain", qui est botaniquement un type de fruit appelé *caryopse*, composé d'endosperme, de germe et de son. Les céréales sont des herbes annuelles communes de la famille des graminées (une famille de *monocotylédones Poaceae*, également connue sous le nom de Graminées), qui ont généralement des tiges longues et fines, telles que le blé, le riz, le maïs, le sorgho, le millet, l'orge et le seigle, dont les grains riches en amidon sont utilisés comme nourriture. Le terme "céréale" ne se limite pas à ces grains, mais fait également référence aux aliments préparés à partir des grains riches en amidon des céréales tels que les farines, les pains et les pâtes. La science des céréales est une étude qui concerne tous les aspects techniques des céréales. Elle vise à étudier la nature des céréales et les changements qui se produisent naturellement, ainsi qu'à la suite de la manipulation et du traitement (Sarwar *et al.*, 2013).

Les céréales sont des plantes cultivées pour leurs graines comestibles très nutritives, appelées céréales. Depuis longtemps, elles sont des aliments de base pour les humains et indirectement pour l'alimentation du bétail. Les céréales fournissent de l'énergie, des protéines, des vitamines B et des minéraux essentiels à la population mondiale. Elles sont peu coûteuses à produire, se conservent facilement et ne se détériorent pas si elles restent sèches (Mckeivith, 2004).

Les produits céréaliers algériens occupent une place stratégique dans l'alimentation et l'économie nationale. Cette propriété est clairement reconnue à toutes les étapes de la chaîne d'approvisionnement (Djermoun, 2009).

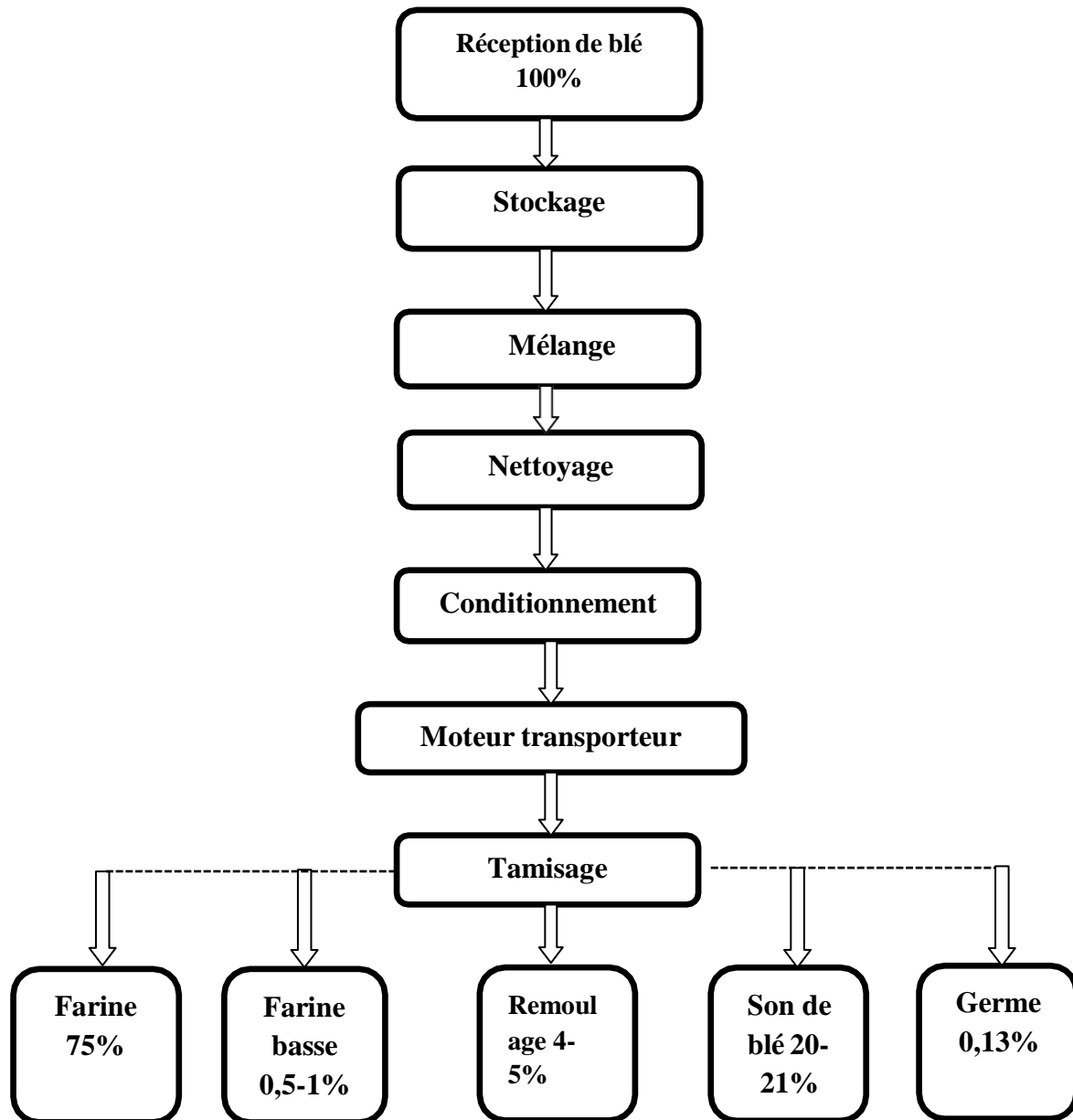
## 2. Le blé dur

Le blé dur également connu sous le nom de *Triticum durum*, une espèce ancienne appartenant au groupe tétraploïde du genre *Triticum*, est une graminée monocotylédone avec un appareil végétatif herbacé. Il possède un système racinaire fasciculé, une tige creuse et des feuilles engainantes. Son origine génétique remonte à un croisement entre deux espèces ancestrales *Triticum monococcum* est une graminée sauvage du nom de *Aegilops speltaoides* (Mazouz, 2006).

Le grain se compose de trois parties distinctes : les enveloppes, qui représentent environ 14% à 15% du poids total du grain, le germe, qui contient la plus grande quantité de lipides et de protéines et représente environ 3% du poids total du grain. Enfin, l'amande qui se trouve

dans la couche profonde de (l'endosperme) représente entre 82 à 84% du poids du grain (Bensaha *et al.*, 2018).

### 3. La transformation du blé dur



**Figure 1** : Schéma de transformation du blé (Hamdouche et Kettou, 2015).

La transformation des céréales a pour objectif de séparer l'albumen *amylacé* des parties périphériques du grain de blé dur. Cette opération, appelée mouture, consiste à réduire et à

Séparer les différentes parties du grain. Ce processus permet d'obtenir de la semoule ainsi que des sous-produits de la meunerie. Les rendements en semoule se situent généralement entre 66 et 72%, avec un pourcentage d'issues de mouture variant entre 28 et 34 %. Ces sous-produits se composent principalement de son (84 %), de remoulages (10 %), de farine basse (2 %) et de criblures (4 %), qui sont des déchets ou des grains déclassés (Bensaha *et al.*, 2018).

Cependant, les proportions de chaque sous-produit dépendent de la qualité du blé reçu, des conditions de stockage et de l'état de l'équipement utilisé pour la mouture (Bensaha *et al.*, 2018).

#### 4. Les compositions des coproduits de blé dur

Tableau 01 : Composition des coproduits de blé dur (Feillet, 2000)

Produit (%du blé)	gros sons (7,7%)	Fins sons (9,1%)	Remoulage (3,2%)	Germes (0,2%)
<b>Cendres</b>	7,5	6,1	4,1	4,6
<b>Protéines (N*5,7)</b>	16,8	17,2	20,1	32,6
<b>Amidon</b>	14,7	19,3	24,6	20,8
<b>Sucres</b>	7,1	8,3	10,8	16,9
<b>Cellulose</b>	12,3	10,4	6	3,3
<b>Pentosanes</b>	34,7	32,4	24,7	8,2
<b>Lipides</b>	2,3	3,4	4,2	8,3
<b>Total</b>	95,4	97,1	94,5	94,7

##### 4.1. Le germe de blé

Le germe d'une plante provient de la fusion des gamètes mâle et femelle lors de la fécondation. Il se compose de deux parties principales : l'axe embryonnaire et le scutellum.

L'axe embryonnaire donnera naissance à la tige, au méso cotyle et à la racine, tandis que le scutellum donnera naissance au cotylédon (**Debitons, 2010**).

Le germe est la partie du grain de la plante où la teneur en humidité et la concentration en lipides sont les plus élevées. Les protéines présentes dans le germe sont principalement des albumines et des globulines, qui représentent environ 35 % de la matière sèche (**Debitons, 2010**).

### 4.2. Le remoulage

Ceux-ci sont constitués par un mélange d'enveloppes plus ou moins finement broyées et d'amande farineuse. Là aussi on note deux types de produits, soit le remoulage Bis et le remoulage blancs (**Doumanji et al., 2003**).

- **Le remoulage Bis**

Ce sont les plus gros. Ils sont de couleur rouge. Ils constituent sur le diagramme le refus final de claquage (**Doumanji et al., 2003**).

- **Les remoulages blancs**

Ils sont plus fins et plus riches en farine. Ils représentent l'issue recueillie en fin de convertissage (**Doumanji et al., 2003**).

### 4.3. Les farines basses

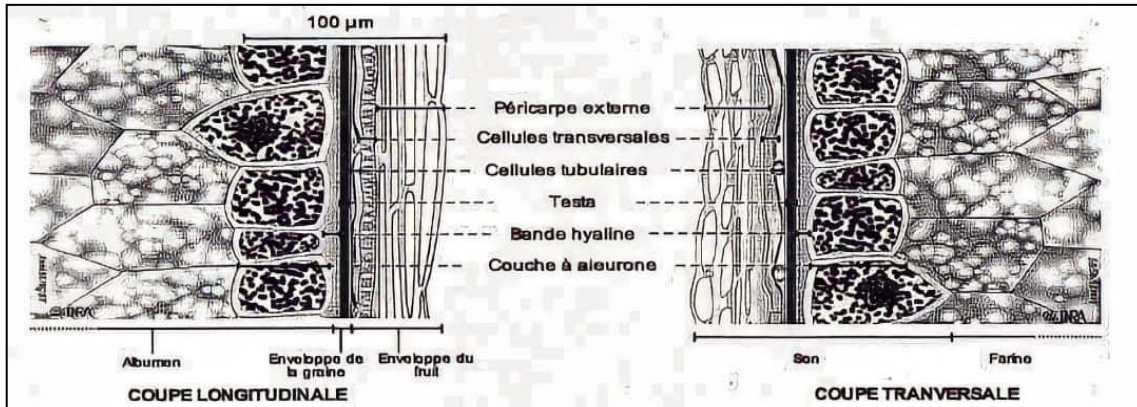
La farine basse, obtenue en broyant l'amande périphérique, a une couleur plus sombre que la farine panifiable. Elle contient des fragments d'enveloppes finement brisées, ce qui lui confère une texture plus grossière. On l'appelle également farine troisième (**Bensaha et al., 2018**).

### 4.4. Le son

Le son de blé est une fraction de la mouture qui accompagne la farine et le germe, et est produite en même temps que ceux-ci lors de la minoterie. Il sert de protection physique ou chimique pour l'endosperme et le germe du grain. En fonction de leur composition et de leur position dans le grain, le son de blé peut être divisé en trois couches distinctes : la couche à aleurone, la couche intermédiaire et le péricarpe (**Achacha et Khellaf, 2016**).

#### 4.4.1 La structure de son de blé

Le son est composé de quatre tissus distincts : le péricarpe externe, le péricarpe interne, la testa et la couche nucellaire, également appelée bande hyaline, qui correspond à l'épiderme du nucelle (**Debition, 2010**).



**Figure 02** : Couches cellulaires du grain de blé (**Surget et Barron, 2005**).

Ces enveloppes du grain de blé ainsi que la couche à aleurone sont principalement constituées de polysaccharides tels que les arabinoxylanes, les xyloglucanes et la cellulose. Cependant, ils contiennent également des acides phénoliques, de la lignine et des protéines, en particulier des albumines et globulines présentes dans la couche à aleurone (**Debition, 2010**).

##### a. Le péricarpe

Le péricarpe externe d'une épaisseur comprise entre 15 et 30 µm et est constitué de deux tissus de cellules mortes : l'épiderme et l'hypoderme. L'épiderme est composé de cellules allongées mesurant de 80 à 300 µm et disposées le long de l'axe embryonnaire, tandis que l'hypoderme présente une structure similaire et adhère fortement à l'épiderme. Le péricarpe externe est principalement constitué de 45% d'arabinoxylanes, 25% de glucose, 10% de lignine et 6 à 7% de protéines (**Debition, 2010**).

Le péricarpe interne correspond à l'endocarpe, respectivement constitués de cellules croisées. Les cellules croisées sont perpendiculaires à l'axe longitudinal du grain tandis que les cellules tubulaires lui sont parallèles. Les cellules croisées sont de tailles variables mesurant en moyenne 150µm de longueur sur 20µm de largeur (**Debition, 2010**).

Chez le blé, la continuité entre les cellules croisées et le péricarpe externe est interrompue au niveau de l'arête dorsale du grain en raison de l'autolyse des cellules parachymateuses pendant la maturation **(Debition, 2010)**.

Les péricarpes permet de protéger le grain contre la perte d'eau pendant le développement, mais ne l'empêche pas de pénétrer. Les cellules mortes du péricarpe sont capables de retenir l'eau et peuvent augmenter le poids du grain de 4 à 5 % après seulement quelques minutes d'imbibition **(Debition, 2010)**.

### **b. La testa**

La testa du grain de blé est également connue sous le nom de spermoderme. Elle est composée de deux cuticules riches en lipides et compressées, qui se trouvent sur la face interne de la couche hyaline. Ces cuticules sont constituées de cellules allongées d'une longueur moyenne de 120 à 190  $\mu\text{m}$  et d'une largeur de 20  $\mu\text{m}$ , qui fusionnent avec un film pigmentaire. Les axes des cellules sont orientés dans le même sens que celui de la cuticule. En raison de sa composition, la testa est très hydrophobe **(Debition, 2010)**.

### **c. La couche nucellaire**

La couche nucellaire, également connue sous le nom de bande hyaline, forme le péricarpe et a une épaisseur d'environ 20 $\mu\text{m}$ . Elle se compose d'une couche cellulaire tassée, qui joue un rôle dans le remplissage de l'albumen amylicé et le développement de l'embryon. Les cellules de cette couche ont une taille variant entre 30 et 200 $\mu\text{m}$  de longueur et 15 à 40 $\mu\text{m}$  de largeur. Une fine cuticule la relie à la couche à aleurone, également appelée couche de lysat nucellaire. Cette bande hyaline est très hydrophobe et semble jouer un rôle important dans la circulation de l'eau à travers le grain.

Dans le blé, une seule couche à aleurone entoure l'albumen amylicé. Elle est la seule partie du grain constituée de cellules vivantes, et est riche en vitamines (B1, B2, B3, B6, B9 et E) et en minéraux (P, K, Mg, Mn et Fe). Les cellules de la couche à aleurone, de forme polygonale, mesurent environ 65 $\mu\text{m}$  et possèdent de gros noyaux et des parois épaisses (jusqu'à 8 $\mu\text{m}$ ). Grâce à sa richesse en métabolites, la couche à aleurone joue un rôle nourricier **(Debition, 2010)**.

**Tableau 02** : Composition des différentes couches de son sur base humide de 12 à 14

% (Achacha et Khellaf, 2016)

	Couche à aleurone	Couche intermédiaire	Couche péricarpe
<b>Protéines (N*5,7%)</b>	18	9,7	5,0-7,6
<b>Cendres %</b>	14,3-17,2	<b>n.d</b>	1,7-4,3
<b>Matières grasses%</b>	7	0,5	1
<b>Cellulose%</b>	6	23	32
<b>Arabinoxylanes%</b>	30	17-30	35
<b>Activité de la protéase</b>	4,8-6,9	<b>n.d</b>	<b>n.d</b>

n.d : non déterminé

#### 4.4.2. La composition du son de blé dur

Les propriétés des fibres alimentaires du son proviennent de sa forte teneur en cellulose, hémicellulose, lignine et composées phénoliques (Reis *et al.*, 2006).

Le son est principalement constitué de polysaccharides pariétaux, qui représentent environ 50% de sa composition, dont plus de 35% sont des hémicelluloses et environ 20% de la cellulose. En plus de cela, il contient environ 5% de lignine et des composés phénoliques comme l'acide férulique. Le son est également une source riche de nutriments tels que des protéines, de l'amidon, des lipides, des vitamines du groupe B (B1, B2, B6), de la vitamine E, de l'acide pantothénique, de l'acide folique et de divers minéraux tels que le calcium, le cuivre, le fer, le magnésium, le sodium, le potassium et le zinc (Reis *et al.*, 2006 ; Feillet, 2000).

### **a. La cellulose**

La cellulose est un composant fondamental des parois cellulaires des plantes supérieures, ce qui en fait le principal constituant organique des plantes et la substance la plus largement produite sur terre. En tant que ressource renouvelable et pratiquement inépuisable, la cellulose suscite aujourd'hui un grand intérêt dans la communauté scientifique pour ses nombreuses applications potentielles, telles que la construction en bois, les fibres textiles et la production de pâte à papier. D'un point de vue structural, la cellulose est un polysaccharide de la série des  $\beta$ -D-glucanes, dont le motif répétitif est la cellobiose, constituée de deux  $\beta$ -D-glucopyranoses (**Jacquemin, 2012**).

### **b. La lignine**

La lignine est une substance non glucidique qui se dépose dans certaines cellules des plantes après la formation des parois primaires et secondaires. Elle confère une rigidité aux plantes lignifiées et leur procure une résistance mécanique élevée. En termes de quantité, elle est la matière organique la plus répandue sur terre après la cellulose. La lignine est un réseau complexe et hydrophobe en trois dimensions, constitué de trois types d'alcools : p-coumarylique, coniférylique et sinapylique. En général, les parois cellulaires des sons sont peu lignifiées. Bien que les cellules de l'épiderme et de l'hypoderme du péricarpe externe soient partiellement lignifiées, les couches d'aleurones sont dépourvues de lignine (**Jacquemin, 2012**).

### **c. Le hémicelluloses**

Les hémicelluloses des sons de blé ont une composition osidique et une structure chimique très variées, ce qui rend leur caractérisation complexe et entraîne une multitude de dénominations telles que les  $\beta$ -glucanes, les arabinoxylanes, les glucuronoarabinoxylanes, les arabinogalactanes et les glucomannanes (**Jacquemin, 2012**).

### **d. L'amidon**

Après la cellulose, l'amidon est le deuxième glucide le plus important synthétisé par les plantes terrestres. Dans le son de blé, l'amidon est présent en grande quantité dans les cellules de l'albumen (endosperme du grain) sous forme de corpuscules sphériques (de 5 à 15  $\mu\text{m}$ ) et ovales (de 25 à 40  $\mu\text{m}$ ) dans des proportions allant de 15 % pour les gros sons à 25 % pour les

fins sons. L'amidon est constitué de deux polymères d'alpha-D-glucose : l'amylopectine (75 %) et l'amylose (25 %) (**Jacquemin, 2012**).

### e. Les protéines

Les principales protéines du son sont :

- Les gluténines représentent 25,5 % des protéines présentes dans le son. Elles ont une solubilité faible dans l'eau, les solutions salines et les milieux alcooliques, mais sont facilement solubilisées dans les milieux alcalins et peuvent être précipitées par neutralisation. Leur présence dépend de la quantité d'endosperme isolé avec le son, car elles n'apparaissent pas dans la couche aleurone (**Jacquemin, 2012**).
- Les albumines, représentant 23,5 % des protéines du son, sont des types de protéines solubles dans l'eau et dans les solutions salines diluées. En revanche, elles sont insolubles dans l'alcool. Les albumines ont la particularité de former des sels solubles dans les milieux acides et alcalins, et de coaguler à la chaleur à une température inférieure à celle d'ébullition de l'eau (**Jacquemin, 2012**).
- Les prolamines, également appelées gliadines, constituent environ 18,5% des protéines du son de blé. Elles sont solubles dans l'alcool et n'ont pas de fonctions biologiques connues. En revanche, elles agissent comme une réserve de carbone, d'azote et de soufre pour la plante lors de la germination (**Jacquemin, 2012**).
- Les globulines (15,5 %) représentent une proportion moins importante des protéines contenues dans le son, mais elles sont également solubles dans des solutions salines diluées et peuvent être précipitées en phase alcoolique (**Jacquemin, 2012**).

### f. Les minéraux

Les minéraux représentent entre 1 et 5 % de la composition des sons de blé. Les minéraux les plus abondants dans le blé sont la silice (qui constitue plus de la moitié des minéraux présents), le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium. Toutefois, leur proportion peut varier en fonction de la partie de la plante considérée, de la variété et du stade de maturité (**Jacquemin, 2012**).

### **g. Les lipides**

Les lipides constituent environ 4 % de la masse sèche du son et se trouvent à 80 % sous forme libre. Ils sont constitués de divers composés tels que des glycérides, des glycolipides, des phospholipides et des stérols (**Jacquemin, 2012**).

### **h. Les sucres**

Le son de blé contient des glucides en quantités réduites, représentant environ 5 % de sa matière sèche. Les principaux constituants glucidiques sont le sucrose et le raffinose, tandis que les monomères prédominants sont l'arabinose et le galactose. Bien que présente en quantités limitées, la xylose et le glucose sont également présents (**Jacquemin, 2012**).

### **i. Les vitamines :**

Le son de blé est riche en vitamines, telles que la niacine, la thiamine et la riboflavine, qui sont essentielles pour sa valeur nutritionnelle. En plus de cela, le son de blé contient des caroténoïdes (luteïnes et zeaxanthines), qui sont des pigments donnant sa couleur jaune au son, ainsi que du tocophérol, qui possède des propriétés antioxydants (**Jacquemin, 2012**).

#### **4.4.3. Valeur nutritionnelle spécifique du son de blé dur**

Le son de blé a une teneur moyenne en protéines brutes de 12 à 15%, un taux élevé d'extrait non azoté de 35 à 56%, un faible taux de matières grasses de 3 à 4%, et un pourcentage variable de cellulose de 5 à 11%. Bien qu'il soit pauvre en calcium et riche en phosphore, principalement sous forme phytique, le son est particulièrement riche en vitamine B. Selon Roussel (2000), bien que le son ait certains effets négatifs en raison de la présence d'acide phytique et de sa nature qui ne permet pas une assimilation optimale des nutriments, sa richesse en fibres présente un intérêt grandissant sur le plan diététique, surtout compte tenu de l'appauvrissement de l'alimentation en ces éléments (**Akhamoum, 2016**).

Les fibres, qui comprennent des molécules telles que la cellulose et la lignine, ne sont pas digestibles par l'homme et représentent environ un tiers des fibres, les deux tiers restants étant des hémicelluloses, principalement des pentosanes. Les fibres peuvent encombrer les intestins et gêner les hydrolyses enzymatiques, ce qui peut rendre difficile le transfert des éléments à travers la membrane intestinale, mais ces effets négatifs sont compensés par d'autres effets positifs (**Akhamoum, 2016**).

### 4.4.4. Rôle des fibres du son dans la protection de l'organisme

#### a. Effet sur les troubles fonctionnels du tube digestif

Les fibres alimentaires ont un effet bénéfique sur les maladies du colon en modifiant de nombreux événements physiologiques tels que le volume, la fréquence et la composition des selles, la régulation de temps de transit et de motricité colique, la microflore et la digestion dans le colon, ainsi que la production de gaz et d'acides volatils (**Feillet, 2000**).

#### b. Effet des fibres vis-à-vis des carcinomes

Le son de blé, contrairement à la farine blanche qui ne contient pas la partie externe du grain de blé, est riche en antioxydants, polyphénols et autres composés qui peuvent avoir des bienfaits pour l'organisme et aider à prévenir plusieurs maladies. En effet, le son est une source de fibres, de protéines, de vitamines et de minéraux. Par exemple, l'acide phytique présent dans le son possède des propriétés anti-cancérigènes, prévient le diabète de type 2 ainsi que les problèmes cardiaques (**Akhamoum, 2016**).

### 4.4.5. Utilisation du son de blé dur

Le son de blé est largement utilisé dans l'industrie alimentaire comme alternative aux substrats synthétiques pour la fermentation, la production d'enzymes et de métabolites secondaires, ainsi que dans la production de moisissures et la fermentation biologique. Il trouve également une application courante dans l'alimentation animale en raison de ses propriétés nutritionnelles. Dans le domaine de l'alimentation humaine, il est utilisé comme source de fibres alimentaires, notamment dans la boulangerie pour la fabrication de pains et de biscuits. De plus, le son de blé peut être utilisé dans l'industrie papetière en raison de sa faible teneur en lignine, et il peut être inclus comme agent de charge dans la fabrication des panneaux de particules. Il a également été étudié pour la fermentation afin de produire de l'éthanol, de l'acide citrique, des produits cosmétiques, ainsi que pour la production de champignons et d'enzymes. Les arabinoxylanes présents dans le son de blé ont la capacité de gélifier grâce à leurs substituants d'acides phénoliques, ce qui ouvre des applications médicales telles que l'utilisation de gels pour recouvrir des blessures et accélérer la cicatrisation. De plus, les propriétés filmogènes des arabinoxylanes de son de blé offrent des perspectives d'utilisation dans le domaine de l'enrobage des semences (**Achacha et khelaf, 2016**) (**Akhmoum, 2016**).

#### **4.4.6. Incorporation du son dans les dérivés du lait : lait fermentés**

Le son de blé peut être utilisé dans les produits laitiers, notamment dans les laits fermentés. En ajoutant du son de blé aux laits fermentés tels que le yaourt, il est possible d'enrichir leur composition nutritionnelle en fibres alimentaires. Cela peut contribuer à améliorer la santé digestive et à favoriser le sentiment de satiété. De plus, le son de blé peut apporter une texture et une consistance intéressantes aux produits laitiers fermentés, offrant ainsi une expérience sensorielle différente. Toutefois, il est important de noter que la quantité de son de blé ajoutée doit être adaptée pour assurer un équilibre optimal entre ses bienfaits nutritionnels et les caractéristiques organoleptiques des produits laitiers.

## 1. Historique du lait fermenté

La production industrielle de laits fermentés n'a commencé qu'au XXe siècle, avec la production en série de yaourt par Isaac Carasso en 1919 à Barcelone en utilisant des procédés industriels (**Pelletier *et al.*, 2007**).

Les laits fermentés sont préparés depuis une époque très lointaine en Asie centrale, dans les pays méditerranéens et dans la plupart des régions d'élevage où ils constituent un mode de protection et de conservation du lait grâce à l'abaissement du pH en même temps qu'ils sont un aliment apprécié pour sa saveur. Longtemps restés traditionnels, certains de ces produits connaissent depuis quelques années un développement considérable grâce, d'une part, à l'intérêt qu'y trouvent les consommateurs sur le plan organoleptique, nutritionnel, voire thérapeutique et, d'autre part, à la mise en œuvre de procédés de fabrication industriels et aux progrès de la distribution. Enfin, l'attrait pour ces produits est renforcé par leur diversification et par de puissantes campagnes publicitaires (**FAO, 1995**).

Ces produits présentent un grand intérêt dans les pays en développement en raison de leur acidité qui en fait des aliments hygiéniques, sans inconvénients pour les consommateurs intolérants au lactose. De plus, ils présentent une bonne valeur nutritionnelle, des qualités organoleptiques généralement très bien acceptées ainsi qu'une relative facilité de préparation et de distribution (**FAO, 1995**).

## 2. Définition de lait fermenté

En France, le nom "lait fermenté" est réservé aux "produits laitiers qui répondent à des critères spécifiques. Ces produits sont préparés à partir de laits écrémés ou non, qui peuvent être enrichis ou non en constituants du lait. Ils doivent subir un traitement thermique au moins équivalent à la pasteurisation. Les produits sont ensuiteensemencés avec des micro-organismes spécifiques qui sont caractéristiques de chaque type de produit. La coagulation ne doit pas être obtenue par d'autres moyens que ceux qui résultent de l'activité des microorganismes utilisés. Cette formulation est une définition légale qui vise à garantir la qualité et la sécurité des produits laitiers fermentés vendus (**Pierre *et al.*, 2011**).

### 3. La fermentation

#### 3.1. La fermentation lactique ou lactofermentation

La fermentation lactique correspond à la transformation du lactose du lait en acide lactique, sous l'action des micro-organismes septiques appelés bactéries lactiques. Elle s'accompagne des modifications biochimiques, physico-chimiques et organoleptiques du produit (AFNOR, 2001).

#### 3.2. L'avantage de la lactofermentation

La fermentation lactique a plusieurs avantages pour la production alimentaire. Tout d'abord, elle peut augmenter la stabilité des produits en inhibant la croissance de micro-organismes indésirables et en prolongeant leur durée de conservation. De plus, la fermentation lactique peut conduire à des produits sains et exempts de micro-organismes pathogènes, ce qui est important pour la sécurité alimentaire. Enfin, la fermentation lactique peut également conférer aux produits des propriétés organoleptiques et nutritionnelles particulières, telles que la texture, l'arôme et la saveur, ce qui peut améliorer leur attrait pour les consommateurs (AFNOR, 2001).

### 4. Les différents laits fermentés

Il existe un grand nombre de laits fermentés qui diffèrent par leur matière première, leur flore microbienne, leur technologie, leur texture, leur goût et leur durée de conservation. Certains de ces produits peuvent être similaires, mais être présentés sous des appellations différentes. Parmi les différents types de laits fermentés, on peut citer (Jeantet *et al.*, 2008) :

#### 4.1. Le yaourt

La réglementation européenne précise : « la dénomination yaourt ou *yoghourts* est réservée au lait fermenté obtenu, selon les usages loyaux et constants, par le développement au lait fermenté obtenu, selon les usages loyaux et constants, par le développement des seules bactéries lactiques, *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, qui doivent êtreensemencées simultanément et se trouvent vivantes dans le produit à raison d'au moins  $10^7$  bactéries/ml. La quantité d'acide lactique libre ne doit pas être inférieure à  $0,7 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  lors de la vente au consommateur » (Jeantet *et al.*, 2008).

### 4.2. Le Raïb

Peut être produit du lait cru ou du lait en poudre. Les levains lactiques dégradent le lactose en acide lactique et confèrent par la suite, une acidité favorable à la conservation du produit et à la coagulation de la caséine qui forme un gel avec très peu d'exsudation du lactosérum. Parmi les types de raïb (**Guerzani, 2003**).

#### a). Le Raïb traditionnel

C'est un lait fermenté, obtenu par acidification naturelle d'un lait cru à une température ambiante. La coagulation est obtenue ou résulte de la flore microbienne originelle et de contamination, avec ou sans addition des acides organiques (citron, vinaigre), pendant une durée variée selon la saison entre 24 heures à 72 heures (**Guerzani, 2003**).

#### b). Le Raïb industriel

C'est un lait entier ou écrémé, pasteurisé, fermenté, obtenu par la fermentation naturelle après ensemencement par des levains lactiques. La coagulation est obtenue par l'activité des ferments lactiques, avec ou sans addition de substances coagulantes (présure, pepsine) pendant une durée de 20 heures à 24 heures à 37°C (**Guerzani, 2003**).

### 4.3. Le L'ben :

Le lait fermenté est un produit laitier obtenu en faisant fermenter du lait à l'aide de micro-organismes inoffensifs spécifiques et qui appartiennent aux types distinctifs de chaque produit. Cette fermentation entraîne une baisse du pH, ce qui peut ou non provoquer une coagulation du lait (**JORA, 2001**). Ils sont obtenus par la multiplication des bactéries lactiques qui dégradent le lactose en acide lactique, ce qui confère une saveur acide au produit. La variation particulière de certains facteurs tel que la composition du lait, la température d'incubation ou les ferments utilisés, confèrent des caractéristiques spécifiques à chaque lait fermenté (**Luquet et Corrieu, 2005**).

### 4.4. Le Kéfir

C'est un lait fermenté alcoolisé, avec un goût fortement acide et avec de légers arômes de levures et d'alcool. Il est le fruit d'une fermentation lactique par lactobacilles, streptocoques et d'une levure qui transforme le lactose en alcool. On le retrouve en Asie du sud-ouest et en Europe de l'est (**Vignola, 2002**).

#### 4.5. Le Koumis

C'est aussi un lait fermenté alcoolisé auquel on ajoute 2,5% de sucre et est souvent consommé sous forme de boisson. On utilise généralement comme ferment un mélange symbiotique de *Lactobacillus delbrueckii* *bulgaricus* et de levures du genre *Saccharomyces* (Vignola, 2002).

### 5. Les Yaourts

#### 5.1. Historique

Le yaourt, qui existe depuis très longtemps, a été inventé dès l'époque néolithique, entre 10 000 et 5000 av JC. Il est devenu un élément essentiel de l'alimentation humaine en tant que produit traditionnel utilisé pour conserver le lait et offrant de nombreux bienfaits pour la santé (Mihoubi, 2019).

On attribue à Pline l'Ancien les plus anciens écrits faisant référence aux yaourts, où il remarqua que certaines tribus étaient capables d'épaissir le lait en une matière d'une agréable acidité. Des preuves de l'existence de produits laitiers fermentés à des fins alimentaires remontent au moins au III<sup>e</sup> millénaire av. JC (Lablondele, 2007).

Après les découvertes de Louis Pasteur sur la fermentation lactique, de nombreux scientifiques sont intéressés aux micro-organismes présents dans le lait. En 1905, un chercheur bulgare nommé Stamen Grigorov a découvert la bactérie *Lactobacillus bulgaricus*, responsable de l'acidité présente dans le yaourt (Lablondele, 2007).

Les yaourts et autres produits laitiers fermentés, reconnus pour leurs bienfaits sur la santé, sont devenus des aliments très populaires. Selon une enquête du Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière, la production de yaourt et d'autres produits laitiers fermentés continue de croître. Cette tendance du marché pousse les industriels à constamment développer de nouveaux produits laitiers frais pour répondre à la demande (Enkelejda, 2004).

#### 5.2. Définition de yaourt

D'après le Codex Alimentarius, le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* (*Lb. bulgaricus*) et de *Streptococcus salivarius*, sous-espèce *thermophilus* (*St. thermophilus*) à partir du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en

Extrait sec) avec ou sans addition de substances (lait en poudre, poudre de lait écrémé, protéines lactosériques concentrées ou non, la caséine alimentaire ...etc.). Les microorganismes du produit final doivent être viables et abondants. Les bactéries lactiques doivent êtreensemencées simultanément et trouvées vivantes dans le produit à raison d'au moins  $10^7$  bactéries/g (Mahaut *et al.* 2000).

Lors de la mise en consommation, la quantité d'acide lactique libre contenue dans le yaourt ne doit pas être inférieure à 0,8g pour 100g de produit (Mahaut *et al.* 2000).

### 5.3. Valeur nutritionnelle moyenne des yaourts

**Tableau 03** : Valeur nutritionnelle moyenne des yaourts (Émilie, 2005).

	Protéines (g/100g)	Lipides (g/100g)	Glucides (g/100g)	Calcium (g/100g)	valeur énergétique (/100g)	
					KJ	Kcal
<b>Yaourt nature</b>	4	1	5	170	200	50
<b>Yaourt nature au lait entier</b>	4	3.5	5	150	300	70
<b>Yaourt nature Maigre</b>	4	–	50	150	200	50
<b>Yaourt aux fruits</b>	4	Variable	18	130	500	100
<b>Yaourt aromatisé</b>	4	Variable	18	150	350	85
<b>Yaourt à boire sucré</b>	3	1.5	14	110	320	75

## 5.4. Matières premières et ingrédients utilisés pour la production du yaourt

### a. Lait frais

Le lait, principalement celui de vache, est la matière première essentielle pour fabriquer les yaourts. Il se compose principalement de 88% d'eau et de 12% de matière sèche, qui contient des glucides, des protéines, des lipides et des minéraux (Amellal-Chibane, 2008).

### b. La poudre de lait

Les poudres de lait sont des produits laitiers qui sont obtenus en enlevant une partie de l'eau du lait, selon la définition du codex "norme 207-1999". Le lait en poudre, également appelé lait déshydraté ou lait sec, est le résultat de l'élimination directe de l'eau du lait. Les poudres de lait sont généralement classées en trois groupes : la poudre de lait entier, la poudre de lait partiellement écrémé et la poudre de lait écrémé (Jean-Claude *et al.*, 2002).

**Tableau 04** : Composition des laits en poudre (en %) (FAO, 2002).

Composants	Lait en poudre entier	Lait en poudre partiellement écrémé	Lait en poudre écrémé
Matière grasses	26 – 40	1,5 – 26	≤ 1,5
Eau maximum	5	5	5

### c. Les additifs

Sur les yaourts brassés sans matière grasse, on ajoute couramment des agents de texture tels que des épaississants ou des gélifiants. Ces additifs améliorent l'apparence, la viscosité et la consistance des yaourts. Les agents de texture les plus couramment utilisés sont la gélatine, les alginates, les celluloses, les amidons et les pectines (Amellal-Chibane, 2008).

Les fruits dans les yaourts sont généralement présents sous forme de préparations de fruits, avec ou sans sucres ajoutés. Les agents de texture incorporés dans ces préparations de fruits contribuent également à améliorer la texture des yaourts. Les fruits les plus populaires dans les yaourts sont les fruits rouges et les fruits exotiques (Amellal-Chibane, 2008).

## 5.5. Classification des yaourts

Les yaourts peuvent être classés selon plusieurs critères :

### 5.5.1. En fonction de leur teneur en matières grasses

- ✓ Les yaourts maigres : contenant moins de 1% de matières grasses.
- ✓ Les yaourts ordinaires nature : contenant au moins 1% de matières grasses.
- ✓ Les yaourts au lait entier : contenant 3,5% de matières grasses (**Émilie, 2005**).

### 5.5.2. En fonction de leur goût

- ✓ Les yaourts nature : sans ajout d'autres ingrédients.
- ✓ Les yaourts "sucrés" : avec l'ajout de sucre.
- ✓ Les yaourts "aux fruits", "au miel", "à la confiture" : avec un ajout inférieur à 30% de ces différents produits.
- ✓ Les yaourts "aromatisés" : contenant des arômes naturels renforcés par des produits de synthèse (**Émilie, 2005**).

### 5.5.3. En fonction de leur texture

- ✓ Les yaourts "fermes" : ceux qui coagulent dans les pots.
- ✓ Les yaourts "brassés" : ceux qui coagulent dans une cuve et sont brassés avant d'être remis en pot.
- ✓ Les yaourts "à boire" : ayant une texture liquide (**Émilie, 2005**).

## 5.6. Les bactéries du yaourt

Les yaourts et autres laits fermentés sont produits en faisant fermenter le lait avec des populations spécifiques de bactéries. Cela permet de stabiliser le lait sur le plan microbiologique et de lui donner une texture ainsi que des caractéristiques particulières en termes de goût et/ou de nutrition. Parmi ces bactéries, on trouve *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* sp *Bulgaricus* et les bifidobactéries (**Affroun et Hamla, 2018**).

Les deux bactéries utilisées dans la préparation du yaourt jouent un rôle principal en abaissant le pH du lait jusqu'au point isoélectrique de la caséine (pH 4,6), ce qui permet de former un gel. En plus de conférer au gel un goût acidulé, ces bactéries produisent des composés aromatiques et des polysaccharides, ce qui donne au yaourt une saveur caractéristique (**Béal et Helinck, 2003**).

**a. *Streptococcus thermophilus***

*Streptococcus thermophilus* est une bactérie en forme de cocci, à Gram positif, qui peut vivre dans des conditions d'aérobie facultative. On la retrouve couramment dans les produits laitiers fermentés et les fromages. Cette bactérie n'a pas d'antigène du groupe D, elle est thermorésistante et sensible au bleu de méthylène (0,1%) ainsi qu'aux antibiotiques. Elle peut également résister à une exposition à 60°C pendant 30 minutes. On la trouve exclusivement dans le lait et les produits laitiers sous forme de coques disposées en chaînes de différentes longueurs ou en paires. Sa température de croissance optimale se situe entre 40 et 50°C. Elle utilise un métabolisme de type homofermentaire (**Lannabi et Sal, 2015**).

**b. *Lactobacillus bulgaricus***

*Lactobacillus bulgaricus*, est une bactérie Gram positive, immobile, non sporulée et micro-aérophile. Elle se présente sous forme de bâtonnets ou de chaînettes. Son métabolisme est strictement fermentaire, produisant exclusivement de l'acide lactique comme principal produit final à partir des hexoses de sucres via la voie d'Embden Meyerhof. En revanche, elle est incapable de fermenter les pentoses.

*Lb. bulgaricus* est une bactérie thermophile qui a besoin d'un apport élevé en calcium et en magnésium. Sa température de croissance optimale est d'environ 42 °C. Cette bactérie joue un rôle essentiel dans le développement des caractéristiques organoleptiques et hygiéniques du yaourt. (**Marty-Teysset et al, 2000**).

**5.7. Fonction des bactéries lactiques****a. Production de l'acide lactique :**

Les bactéries lactiques jouent un rôle important en technologie laitière en produisant de l'acide lactique. Cet acide organique a plusieurs fonctions essentielles, notamment en tant que coagulant et agent antimicrobien, permettant ainsi la concentration et la conservation de la matière sèche du lait. Le métabolisme des bactéries lactiques est de type homofermentaire (**Schmidt et al., 1994**).

L'acide lactique a plusieurs rôles :

- Il aide à déstabiliser les micelles de caséine, ce qui conduit à la formation du gel ;
- Il donne au yaourt son goût distinct et caractéristique, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt.
- Intervient comme inhibiteur vis-à-vis des micro-organismes indésirables (**Leory et al., 2002**).

### **b. Activité protéolytique**

Les bactéries présentes dans le yaourt ont la capacité de dégrader les protéines du lait, notamment la caséine et les protéines sériques, afin de satisfaire leurs besoins en acides aminés. *Lactobacillus bulgaricus* est responsable de la dégradation principalement de la caséine  $\beta$ , tandis que les lactocoques dégradent d'abord les caséines  $\kappa$  et  $\beta$ , puis la caséine  $\alpha$ . Ces bactéries utilisent des enzymes protéolytiques, telles que les protéases et les peptidases, pour cette dégradation. Chez *Lactobacillus bulgaricus*, les protéases sont principalement localisées au niveau de la paroi cellulaire. Cette activité protéasique permet la conversion de la caséine en polypeptides (**Annika et Marc, 2004**).

### **c. Activité aromatique**

La saveur et l'appétence du yaourt sont influencées par divers composés volatils et aromatiques. Parmi ces composés, le lactose joue un rôle essentiel dans leur formation. L'acétaldéhyde, qui est principalement produit à partir de la thréonine, est particulièrement important pour les caractéristiques organoleptiques recherchées. Une concentration optimale d'environ 10 ppm est estimée pour ce métabolite. Sa production est principalement due au Lactobacille, mais elle est augmentée lorsque cette bactérie est associée au streptocoque, qui en produit de faibles quantités. L'acétaldéhyde peut être formé de deux manières :

- À partir du pyruvate, soit par l'action du pyruvate décarboxylase, soit par l'action du pyruvate déshydrogénase (également appelée pyruvate formate lyase).
- À partir de la thréonine, par l'action de la thréonine aldolase, qui catalyse la réaction (**Loones, 1994**).

#### d. Activité texturant

La texture et l'onctuosité sont des éléments importants pour évaluer la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent des polysaccharides à partir du glucose, formant ainsi des "filaments" qui limitent l'altération du gel lors des traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt. L'augmentation de la viscosité du yaourt est généralement Attribuée à la production d'un exo polysaccharide (EPS) composé principalement de rhamnose, d'arabinose et de mannose, selon une étude portant sur plusieurs souches. Il est largement accepté que la production de cet exo polysaccharide est le résultat de l'action de *Streptococcus thermophilus* (Scmidet *et al.*, 1994).

### 6. Technologie de fabrication du yaourt

La fabrication du yaourt est un procédé complexe et en constante évolution qui intègre les avancées dans différents domaines tels que la biologie moléculaire, la chimie et la biophysique. Les étapes de fabrication peuvent varier selon le type de yaourt, qu'il soit "étuvé" ou "brassé". Dans le cas du yaourt "étuvé", la fermentation a lieu après le conditionnement en pots, tandis que pour le yaourt "brassé", la fermentation se déroule en cuve. Dans ce dernier cas, le coagulum obtenu est dilacéré et brassé pour obtenir une consistance plus ou moins visqueuse, puis conditionné en pots. Globalement, le processus d'élaboration comprend les étapes suivantes (Scmidet *et al.*, 1994).

#### 6.1. Réception et stockage

Le lait frais est collecté et livré à l'unité de production dans des camions réfrigérés, dans un délai maximum de 72 heures après la traite. À son arrivée, il est contrôlé, pompé et filtré pour éliminer les impuretés solides telles que la paille et les feuilles. Ensuite, il est stocké dans des réservoirs en acier inoxydable de grande capacité (pouvant aller jusqu'à 200 000 litres), préalablement nettoyés et désinfectés, à une température inférieure à 5 °C. Ces réservoirs sont équipés d'un agitateur pour empêcher la séparation de la matière grasse et d'une double paroi pour maintenir le lait au froid. Si le lait est conservé à l'usine pendant plus d'une journée, il peut être légèrement chauffé à environ 60-65 °C pendant 15 secondes à l'aide d'un échangeur thermique à plaques. Cette étape, appelée thermisation, vise à prévenir la croissance de bactéries psychrotrophes indésirables (comme *Pseudomonas sp.*) qui pourraient altérer le goût du lait (Béal et Helinck, 2003).

## 6.2. Standardisation

En fabrication de yaourt, il est nécessaire de standardiser le lait en matière grasse et en matière protéique pour répondre aux spécifications nutritionnelles et organoleptiques des produits, et pour obtenir une qualité constante au cours de l'année (**Luquet et Corrieu, 2005**) . Les yaourts disponibles dans le commerce ont des teneurs en matières grasses différentes : moins de 1 % pour les yaourts maigres, environ 2 % pour les produits demi-écrémés et 3,5 % pour les yaourts au lait entier, voire plus dans certains cas, comme le "yaourt à la grecque". Étant donné que le lait cru contient entre 3,8 et 4,2 % de matières grasses, il est nécessaire de standardiser la teneur en matières grasses du lait utilisé dans la fabrication du yaourt selon les proportions souhaitées. Pour ce faire, le lait est d'abord écrémé, puis mélangé avec de la crème selon les besoins (**Béal et Helinck, 2003**).

Ensuite, le lait standardisé en matières grasses doit être enrichi en protéines laitières afin d'obtenir des taux de protéines finaux compris entre 3,2 % et 5 %. Cela contribue à donner au yaourt une consistance ferme et évite la séparation indésirable des liquides, tout en modifiant sa valeur nutritionnelle. L'enrichissement en protéines est donc toujours nécessaire, mais les quantités ajoutées peuvent varier en fonction de la texture recherchée (yaourt ferme, yaourt brassé, yaourt à boire) (**Béal et Helinck, 2003**).

## 6.3. Homogénéisation

Le mélange utilisé dans la fabrication du yaourt est composé de lait standardisé en matières grasses, enrichi en protéines et éventuellement sucré. Il subit une homogénéisation afin de réduire la taille des globules de matières grasses et d'empêcher leur remontée à la surface du yaourt pendant la fermentation et le stockage. Cette étape est essentielle pour éviter la séparation naturelle des globules de matières grasses, qui ont une densité plus faible que la phase aqueuse du yaourt. Elle permet également d'augmenter la viscosité du yaourt et de réduire la séparation de liquide (appelée synérèse) pendant le stockage du yaourt ferme, en rendant le produit plus cohérent. De plus, l'homogénéisation donne au lait et, par conséquent, au yaourt, une apparence plus blanche en modifiant l'absorption de la lumière. Pour des raisons d'hygiène et pour éviter toute contamination du lait, l'étape d'homogénéisation est généralement effectuée avant le traitement thermique du mélange, ou pendant son chauffage à une température d'environ 65 à 70 °C (**Béal et Helinck, 2003**).

#### 6.4. Traitement thermique et refroidissement

Le traitement thermique appliqué au mélange de yaourt est très rigoureux. Son objectif est de réduire la présence de micro-organismes, d'inactiver les peroxydases présentes dans le lait, de produire des facteurs qui stimulent la croissance des bactéries (comme l'acide formique et les composés azotés assimilables) et d'améliorer les propriétés physiques du yaourt, telles que la viscosité et la capacité de rétention d'eau. Deux systèmes peuvent être utilisés pour chauffer le mélange : le traitement par lots (batch) ou le traitement en continu (**Béal et Helinck, 2003**).

Les temps et les températures de traitement thermique varient en fonction du type d'installation. Par exemple, lors des traitements par lots, on peut utiliser des températures de 85 à 90 °C pendant 15 à 30 minutes, tandis que lors des traitements thermiques en continu, on peut utiliser des températures de 90 à 95 °C pendant 3 à 7 minutes. Ensuite, le lait est refroidi à la température de fermentation, qui se situe entre 37 °C et 45 °C. Dans certains cas, pour la production de yaourt ferme, le lait est refroidi à 4 °C, soit avant, soit après l'inoculation, et peut être conservé pendant quelques heures dans des cuves sous pression. Il est ensuite ramené à la température de fermentation au moment du conditionnement à l'aide de systèmes de chauffage spécifiques, qui sont ajustés en fonction de la machine de conditionnement. Cette méthode offre une plus grande flexibilité et limite les pertes en cas de panne de la machine de conditionnement (**Béal et Helinck, 2003**).

#### 6.5. Ensemencement

Les bactéries lactiques sont ajoutées au lait à une température de fermentation spécifique, qui varie en fonction du type de bactéries utilisées. Par exemple, pour le yaourt, la température de fermentation est de 40 à 45 °C, mais elle peut varier selon le produit en cours de fabrication. Après l'ajout des bactéries, le lait inoculé est agité pour bien mélanger le tout. Dans certains cas, l'ensemencement peut être effectué en ligne lors du transfert du lait depuis le pasteurisateur vers les cuves de fermentation (pour les yaourts brassés, à boire et concentrés) ou vers l'unité de conditionnement (pour les yaourts fermes) (**Béal et Helinck, 2003**).

## 6.6. Maturation

La première condition opératoire à contrôler pendant la fermentation est la température de culture. Au cours de la fermentation du yaourt, la température est maintenue entre 40 et 45 °C (Béal et Helinck, 2003).

## 6.7. Décaillage

Le décaillage est une étape qui vise à arrêter la fermentation. Son objectif est de faire passer rapidement la masse du yaourt de la température de maturation (40 à 45 °C) vers à 15 à 18°C, afin de bloquer les activités métaboliques et enzymatiques le plus rapidement possible, et ainsi limiter les problèmes de post-acidification. La durée habituelle de cette étape se situe généralement entre 30 minutes et 1 heure (Béal et Helinck, 2003).

## 6.8. Brassage

Le brassage du coagulum se fait uniquement lors de la production de yaourts brassés et de yaourts à boire. Il peut être réalisé de deux manières : soit en effectuant un brassage lent de la "masse blanche" à l'aide d'hélices de forme marine dans la cuve de fermentation, soit en pompant le gel avant l'échangeur thermique. Dans la plupart des cas, une combinaison de ces deux méthodes est utilisée (Béal et Helinck, 2003).

## 6.9. Conservation des yaourts

Les yaourts, préparés selon des normes strictes et des conditions d'hygiène rigoureuses, peuvent être conservés pendant environ 3 semaines jusqu'à leur vente aux consommateurs, à condition d'être maintenus au froid (entre 4 et 8°C). Bien que le froid empêche la multiplication bactérienne, il n'arrête pas complètement l'activité métabolique des bactéries lactiques présentes. La production d'acide lactique se poursuit lentement et des enzymes hydrolysent les protéines, ce qui entraîne une diminution de la fermeté et de la viscosité du yaourt, ainsi que l'apparition de peptides au goût amer. Pour remédier à cela, il est parfois pratiqué, lorsque la réglementation le permet, un traitement thermique après la fermentation (Lamoureux, 2000).

## 7. Diagramme de fabrication

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 (Beal et Helinck, 2003).

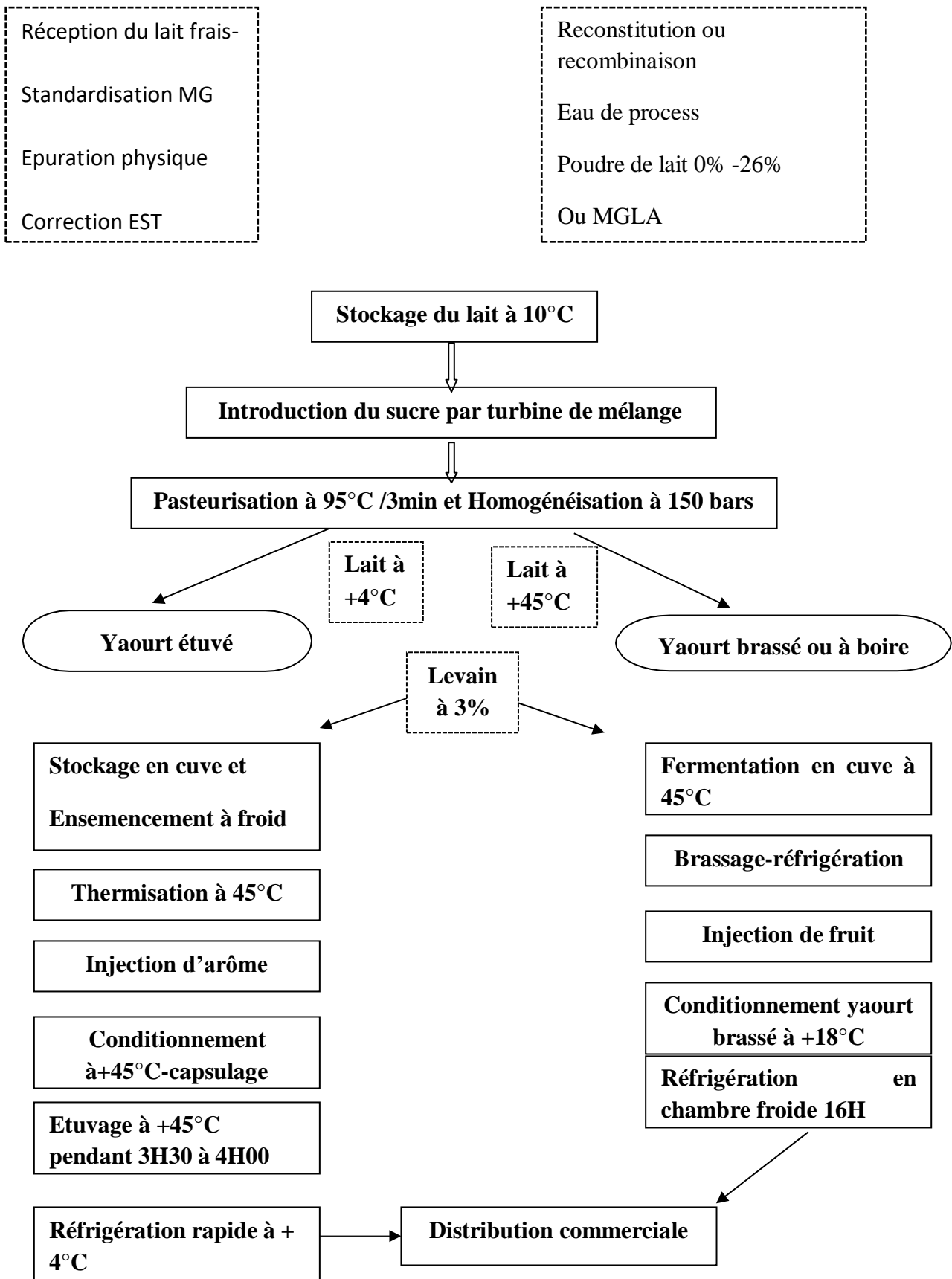


Figure 03 : Diagramme de fabrication du yaourt (Cours de Dr Dahou).

## 8. Les intérêts nutritionnels du yaourt

L'acide lactique possède une légère action antiseptique, ce qui inhibe la croissance des germes pathogènes dans le tube digestif du consommateur. De plus, son acidité stimule les mouvements péristaltiques du tube digestif, favorisant l'élimination des micro-organismes pathogènes. La souche *Streptococcus thermophilus* semble également empêcher l'implantation de certaines bactéries pathogènes telles que les *Salmonelles* et les *Colibacilles* dans l'intestin. Cependant, les bactéries présentes dans le yaourt ne s'établissent pas dans la flore intestinale. C'est pourquoi un apport régulier est nécessaire pour maintenir leurs effets bénéfiques. De plus, les bactéries du genre *Lactobacillus* sécrètent du peroxyde d'hydrogène, qui a également des propriétés antiseptiques. En général, le yaourt est considéré comme un aliment "vivant" qui peut réduire les symptômes de troubles intestinaux (Émilie, 2005).

## 1. Cadre de l'étude

La présente étude consiste à la valorisation d'un sous-produit de la transformation céréalière « le son de blé dur » dans un lait fermenté de type yaourt à boire.

Pour réaliser cette étude un suivi de la qualité physico-chimique, microbiologique et organoleptique a été établi sur les préparations lactières établies.

## 2. Lieu et durée du travail

Cette étude a été réalisée au niveau du laboratoire de recherche des Sciences et Techniques de Production Animale « LSTPA » de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, Route de Hassi Mamèche.

Période expérimentale : du mois d' Février au mois de Mai 2023.



**Figure 04 :** Situation géographique du laboratoire de recherche LSTPA de l'université Abdelhamid IBN BADIS de Mostaganem (**Google maps**)

### 3. Matériel et produits utilisés

#### 3.1. Produits

##### 3.1.1. Matières premières

###### a. Les échantillons du son de blé dur

Le son de blé dur provenait du laboratoire de recherche des Sciences et Techniques de production animale de l'université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem. L'échantillon ramené a été soumis à un traitement thermique pour réduire son taux d'humidité, suivi d'un stockage à température ambiante dans un bocal en verre.



**Figure 05** : le son blé dur

###### b. Le lait

Le lait reconstitué a été préparé à partir d'une poudre de lait entier de 26 % MG de marques Loya. Pour la préparation du lait, une quantité de 2 L a été reconstituée avec de l'eau distillée et en utilisant 350 g de poudre du lait. Pour cette reconstitution, on a chauffé l'eau à 40 °C, puis on a ajouté la poudre de lait progressivement pour une dissolution rapide et homogène à l'aide d'un agitateur magnétique. La pasteurisation a été réalisée par l'intermédiaire d'un bain marie pour atteindre une température de 92 °C avec un chambrage de 2 minutes. Un refroidissement a été établi à 04°C par réfrigération.

###### c. Le levain

Le levain utilisé a été préparé avec des souches lactiques thermophiles récupérées du soucier du Laboratoire de recherche des Sciences et Techniques de Production Animale de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. Soucier des travaux de (**Dahou *et al.*, 2016**).

#### d. Le sirop

Le sucre utilisé pour la préparation du sirop est un sucre roux commercial de marque Cevital. Pour la préparation du sirop on a suivi les étapes suivantes :

- ✓ Une pesée de 180 g de sucre roux, puis une dissolution progressive dans 500 ml d'eau distillée sur un agitateur magnétique chauffant.
- ✓ Après la dissolution complète du sucre, on a chauffé le sirop dans un bain marie jusqu'à atteindre une température de 92 °C avec un chambrage de 2 min. Le sirop préparé a été conservé dans un flacon stérile au réfrigérateur à 06°C.

### 4. Méthode

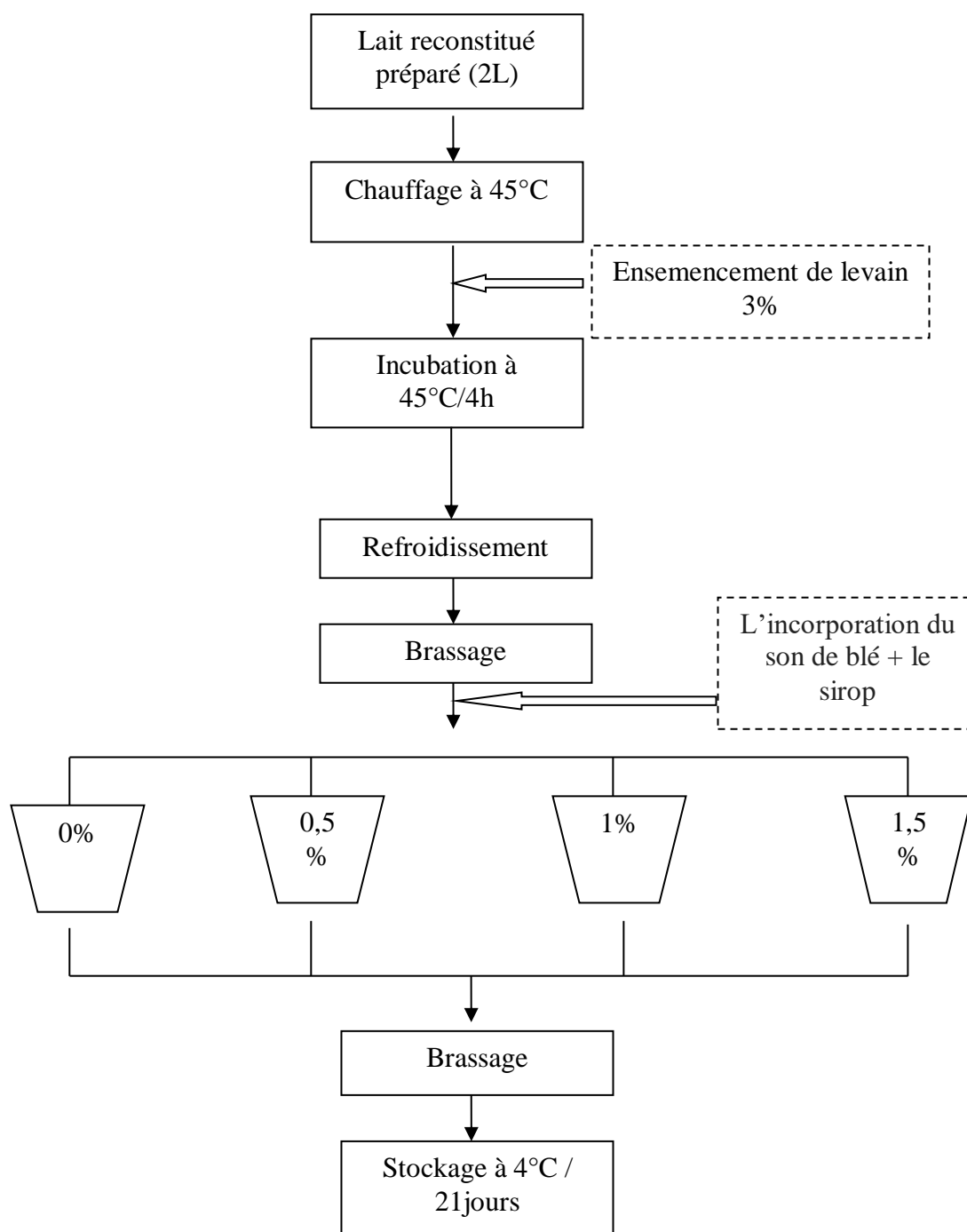
#### 4.1. Elaboration du yaourt à boire enrichi avec du son de blé dur

Le lait reconstitué a été chauffé dans un bain marie jusqu'à 45°C. L'ensemencement du levain est effectué par flacon de 500 ml de lait à un taux de 3 %. Les flacons ensemencés fermés hermétiquement sont étuvés à une température de 45°C pendant 3h à 4h.

Les laits fermentés expérimentaux sont refroidis. Le son de blé dur est ajouté dans le sirop à différents taux (0%, 0.5%, 1% et 1.5 %) avec l'opération de d'écaillage- brassage du coagulum lactique obtenu. Le yaourt à boire est versé dans des bouteilles de 500 ml. Les flacons du produit fini obtenu enrichi avec du son ont été conservés à 4°C durant 21 jours pour le suivi expérimental.

**Tableau 05 :** Conditions de préparation du lait fermenté expérimental.

	<b>Y.T</b>	<b>Y.1</b>	<b>Y.2</b>	<b>Y.3</b>
<b>Quantité de lait</b>	500ml	500ml	500ml	500 ml
<b>Taux d'ensemencement du levain</b>	3%	3 %	3 %	3 %
<b>Taux d'incorporation de son de blé dur</b>	0%	0.5 %	1 %	1.5 %
<b>Quantité de sirop</b>	125 ml	125 ml	125 ml	125 ml



**Figure 06 :** Diagramme de fabrication des laits fermentés expérimentaux

## 5. Techniques d'analyse

### 5.1. Analyses physico-chimiques du son de blé dur

#### a. La détermination de l'extrait sec total du son de blé dur (Norme F.I.L ISO 707)

##### Principe

Le principe de la détermination de l'extrait sec total repose sur la dessiccation infrarouge par dessiccateur (IIAXIS) à 105°C pendant 15 min.

##### Mode opératoire

Une pesée de 5 g de son de blé est étalée sur la surface de la coupelle tout en respectant la symétrie de l'étalement

##### Expression des résultats

A la fin de l'analyse, le taux de l'humidité sera affiché sur l'appareil et le taux de l'extrait sec est obtenu selon la formule suivante :

$$ES\% = 100 - H\%.$$

#### b. Détermination le taux de l'humidité

Le taux de l'humidité a été déterminé par l'utilisation du dessiccateur infrarouge (IIAXIS). Le principe de cette méthode consiste à sécher 5 g de chaque échantillon par infrarouge, et le poids est continuellement contrôlé à l'aide d'une balance de précision intégrée jusqu'à obtention d'un poids constant. A la fin de l'analyse le résultat sera affiché directement sur l'appareil et exprimé en pourcentage.

#### c. Détermination du taux de cendres (AOAC, 2000)

Le taux de cendres a été déterminé en minéralisant un échantillon de 5 g (m 0) à 550 °C pendant 5 min dans un four à moufle jusqu'à ce que toutes les matières organiques contenues dans l'échantillon soient détruites. La pesée (m 2) de la cendre obtenue après refroidissement dans un dessiccateur a permis de calculer le taux de cendres selon la formule suivante :

$$\text{Cendre \%} = \frac{m_2 - m}{m_0} \times 100$$

**M<sub>0</sub>** : la masse de l'échantillon

**M** : la masse de la nacelle vide

**M<sub>2</sub>** : la masse de la nacelle avec la masse de cendres restantes

#### **d. Détermination du taux de cellulose brute (AFNOR NF 03-040, 1993)**

La méthode de Weende, de manière conventionnelle, permet de quantifier la cellulose brute, qui correspond au résidu organique exempt de graisse obtenu après deux hydrolyses successives : une en milieu acide et une autre en milieu alcalin.

##### **Le principe**

Après avoir éventuellement dégraissé les échantillons, ils sont titrés successivement avec des solutions d'acide sulfurique et d'hydroxyde de sodium de concentrations spécifiques. Le résidu obtenu est ensuite séparé par filtration sur un filtre en amiante, lavé, séché, pesé et soumis à une calcination. La perte de poids résultant de la calcination correspond à la quantité de cellulose brute

##### **Expression des résultats**

$$\text{Cellulose brute \%} = \frac{p_1 - p_2}{P_e} \times 100$$

**P<sub>1</sub>** : Poids de creuset plus le résidu après dessiccation

**P<sub>2</sub>** : poids de creuset plus le résidu après incinération

**P<sub>e</sub>** : La prise d'essai.

#### **5.2. Analyses physico-chimiques du lait**

Le LACTOSCAN, avec son principe d'analyse en spectroscopie infra-rouge, a été utilisé pour mesurer les paramètres physico-chimiques du lait :

**F** : matière grasse

**D** : densité

**C** : taux de cendre

S : matière sèche

P : protéine

T : température

pH : potentiel hydrogène

FP : point de congélation

S' : taux de salinité

W : activité de l'eau

L : lactose

### 5.3. Analyses physico-chimiques de sirop

#### Analyse du brix

##### Principe

La mesure du Brix repose sur la détermination du taux de sucre dans le sirop. Le degré Brix, connu également sous le nom d'indice de réfractométrie, est déterminé en se basant sur la réfraction de la lumière. Les réfractomètres permettent de lire facilement la quantité d'extrait sec soluble dans un liquide sucré à une température spécifique (**Dongare et Buchaude, 2015**).

##### Mode opératoire

Une fois que la cuvette du réfractomètre a été remplie avec le produit à analyser (le sirop de sucre), en appuyant sur la touche START de l'appareil, le résultat du degré Brix s'affiche sur l'écran.



**Figure 07** : Refractomètre analyse de brix.

## 5.4. Analyses physico-chimiques du yaourt

### a. Détermination de l'extrait sec

#### Principe

La détermination de l'extrait sec total repose sur la dessiccation par dessiccateur infra-rouge (IIAXIS) à température contrôlée 105°C pendant 15 min.

#### Mode opératoire

Une pesée de 5 g de yaourt est étalée sur la surface de la coupelle tout en respectant la symétrie de l'étalement. A la fin de l'analyse, le taux de l'humidité sera affiché sur l'appareil et le taux de l'extrait sec est obtenu selon la formule suivante :

$$\text{MS}\% = 100 - \text{H}\%.$$

### b. Détermination de la viscosité

#### Principe

Le processus de transformation du lait en yaourt s'accompagne de la mise en place d'une structure complexe et d'un changement significatif dans les propriétés rhéologiques, passant d'un liquide newtonien à un gel viscoélastique à désagrégation irréversible (**Paci Kora, 2004**).

#### Mode opératoire

Nettoyer soigneusement le viscosimètre, le liquide doit mouiller les parois sans laisser de bulles d'air avec l'eau distillée.

Mettre l'échantillon de yaourt à l'intérieur de tube capillaire et la bille de numéro 3 puis compléter avec le yaourt, verser l'appareil et attendre la descente de ce dernier et régler le chronomètre pour calculer le temps de la chute.

#### Expression des résultats

La viscosité dynamique à la base de la durée de chute est déterminée par la formule suivante :

$$V = t \cdot (P1 - P2) \cdot K$$

Avec :

- **V** : la viscosité dynamique en milli-pascal (mpas).
- **P1** : la densité de la bille ( $\text{g/cm}^3$ ).
- **P2** : la densité du liquide à la température de mesure ( $\text{g/cm}^3$ ).
- **T** : durée de chute de la bille (s).
- **K** : constante de la bille (mpas/g)



**Figure 08** : Viscosimètre à billes

### c. Détermination du pH (NF V 05-108, 1970)

Après étalonnage dans des solutions tampons (pH 7 et pH 4,01), l'électrode du pH-mètre est plongée dans le yaourt contenu dans un bécher. La valeur du pH est obtenue par simple lecture sur l'écran du pH-mètre.

### d. Détermination de l'acidité titrable (AFNOR : V 05-101,1974)

#### Principe

L'acidité titrable correspond à la quantité d'acide lactique contenu dans le yaourt. Elle est déterminée à partir d'un titrage acido-basique en utilisant une solution basique

#### Mode opératoire

- ✓ Dans un bécher, Prélever 10 ml de yaourt.
- ✓ Ajouter 3 gouttes de phénolphtaléine.
- ✓ Remplir la burette avec la soude NaOH (0.1 N).

- ✓ Verser goutte à goutte la soude dans le bécher.
- ✓ Attendre l'apparition d'une coloration rose pâle persistante pendant 10 secondes.
- ✓ Lire le volume en ml de soude versé indique l'acidité de yaourt.

#### e. Dosage de la matière grasse (AFNOR, 1985)

##### Principe

La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode acide-butyrique de Gerber. Cette méthode est basée sur la dissolution des éléments autres que la matière grasse par de l'acide sulfurique, l'addition d'une petite quantité d'alcool iso-amylique aide la séparation de la matière grasse. La centrifugation permet la séparation des phases grasses et aqueuses.

##### Mode opératoire

Dans un butyromètre mettre 10 ml d'acide sulfurique, ajouter 11 ml de yaourt puis 1 ml d'alcool iso-amylique et quelques gouttes d'eau (pour faciliter la lecture) et enfin boucher le butyromètre à l'aide d'un bouchon sec ;

Agiter avec des tournements et placer le butyromètre dans la centrifugeuse en parallèle avec le tube d'équilibrage.

La centrifugation est réalisée à une vitesse de 1200 rpm à 68°C pendant 10min.

Retirer le butyromètre et lire le résultat.

#### f. Détermination de la teneur en protéine Méthode de KJELDAHL (Norme NF VG3-050,1970)

##### Principe

La méthode est basée sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, et son dosage après déplacement en milieu alcalin et sa distillation sous forme d'ammonium.

##### Étapes de la minéralisation :

- ✓ Prenez un matras propre et sec.
- ✓ Ajoutez-y 15 g de sulfate de potassium, 1 ml de solution de sulfate de cuivre et environ 5ml de l'échantillon.
- ✓ Ajoutez également 25 ml d'acide sulfurique pur.
- ✓ Chauffez progressivement : commencez par une attaque à froid pendant 15 minutes jusqu'à ce que de la vapeur blanche d'anhydride sulfurique apparaisse.

- ✓ Ensuite, augmentez l'intensité de chauffage et poursuivez l'attaque à chaud pendant 4 à 5 heures.
- ✓ Lorsque la solution devient limpide, laissez-la refroidir.
- ✓ Complétez le volume à 100 ml avec de l'eau distillée.

### Étape de Distillation

- ✓ Utilisez un distillateur automatique pour la distillation.
- ✓ Ajoutez 20 ml de NaOH à 35% dans le matras du distillateur.
- ✓ Dans une fiole de 250 ml, ajoutez 25% d'acide borique.
- ✓ Le dégagement d'ammoniac sera récupéré dans la solution d'acide borique contenant un indicateur coloré (mélange de bleu de méthylène et de rouge de méthyle).
- ✓ Réglez le débit de distillation de manière à recueillir environ 150 ml de distillat.

### Titration

- ✓ Titrer le contenu de la fiole conique avec l'acide chlorhydrique 0.1 N à l'aide d'une burette.
- ✓ Le point final de titrage est atteint à la première trace de rose dans le contenu.

### Expression des résultats

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante :

$$N(\%) = \frac{(14 \times (V_s - V_b) \times Norm)}{m} \times 100$$

**V<sub>s</sub>** : volume de HCL nécessaire pour titrer la solution de l'échantillon (ml)

**V<sub>b</sub>** : volume de HCL nécessaire pour titrer le blanc (ml)

**Norm** : normalité de la solution de HCL

**m** : masse de l'échantillon (g)

La teneur en protéines est calculée de la manière suivante :

$$\text{Teneur en protéines} = N \times 6,38$$

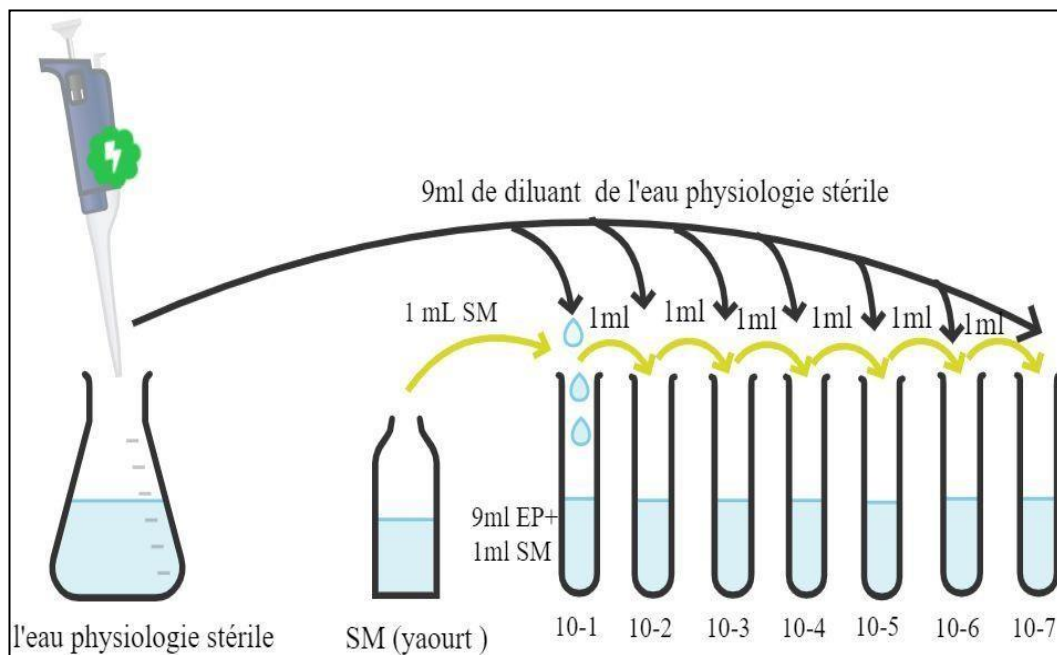
### g. Dosage du lactose dans le yaourt

Dosage du lactose par la méthode colorimétrique ou appelée aussi méthode au 3,5-DNS ou méthode spectrophométrique au DNS spécifique (acide 3,5-dinitrosalicylique) et un spectrophotomètre réglé sur 530 nm.

## 5.5. Analyses microbiologiques du yaourt

### 5.5.1. Préparation des dilutions décimales

Pour établir une dilution décimale on introduit 1 ml de yaourt dans 9 ml d'eau physiologie stérile. Cette première correspond à la dilution ( $10^{-1}$ ). Les autres dilutions décimales s'effectuent de la même manière. (Jusqu'à atteindre la dilution  $10^{-7}$ ).



**Figure 09** : Préparation des dilutions décimales

### 5.5.2. Recherche et dénombrement des flores mésophiles aérobies totales

A partir des dilutions décimales on a porté aseptiquement 0,1 ml sur une boîte de Pétri par dilution contenant le milieu P.C.A solidifié, puis le volume porté a été étalé à l'aide d'un râtelier stérile. Les boîtes sont incubées à 42 °C pendant 24 à 48 h.

### 5.5.3. Dénombrement de la flore lactique

#### a. Streptococcus thermophilus

Le dénombrement a été effectué sur milieu M.R.S par étalement en surface de 0,1 ml de chaque dilution. L'incubation s'est faite à 42°C pendant 48 à 72 h.

**b. Lactobacillus bulgaricus**

Le dénombrement a été effectué sur milieu M.R.S par étalement en surface de 0,1ml de chaque dilution. L'incubation s'est faite à 42°C pendant 48 à 72 h.

**5.5.4. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux (en milieu solide) :****Mode opératoire**

A partir des dilutions décimales, on a porté aseptiquement 1 ml dans une boîte de Pétri vide.

- Ce volume porté a été complété ensuite avec environ 15 ml de gélose VRBG, fondue puis refroidie à 45 °C.
- La répartition du volume s'est fait par des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de (8) pour bien mélanger.
- Les boîtes de pétri sont incubées pendant 24 à 48 h à :
  - 37 °C pour la première série (recherche des coliformes totaux).
  - 44 °C pour la deuxième série (recherche des coliformes fécaux).

**5.5.5. Dénombrement de Staphylocoques****Mode opératoire**

Le dénombrement est effectué sur milieu Chapman par étalement en surface de 0,1ml de chaque dilution. L'incubation s'est faite à 37°C pendant 24 à 48 h. Les boîtes de Pétri sont incubées à 37 °C pendant 24 à 48 h.

**5.5.6. Dénombrement des levures et moisissures**

À partir des dilutions décimales sélectionnées, on a transféré de manière stérile 0,1 ml de chaque dilution dans des boîtes de Pétri contenant le milieu OGA qui a été préalablement fondu et solidifié. Le volume de la dilution a été étalé sur toute la surface du milieu à l'aide d'un râteau stérile. Les boîtes sont ensuite incubées à une température de 20°C pendant une période de 3 à 5 jours.

**Lecture**

Les colonies des levures sont rondes et bombées, de couleurs différentes. De formes convexes ou plates et souvent opaques. Les colonies de moisissures sont épaisses, filamenteuses, pigmentées ou non, avec une texture veloutée et sont généralement de taille plus importante.

### 5.5.7. Dénombrement de Salmonella

Voici la démarche pour la recherche des Salmonelles :

- ✓ Pré-enrichissement : Prélevez 25 g de yaourt et placez-le dans 225 ml d'eau peptonée. Incubez à une température de 35-37°C pendant 16 à 20 heures.
- ✓ Enrichissement : Prenez 10 ml de la culture (eau peptonée) et ajoutez-le à 100 ml de bouillon sélénite. Incubez à 37°C pendant 24 heures (ISO 6579).
- ✓ Prélevez 0,1 ml du bouillon sélénite à l'aide d'une pipette graduée stérile.
- ✓ Inoculez ce prélèvement sur le milieu de culture SS en utilisant un râteau.
- ✓ Placez les boîtes de Pétri dans une étuve à 37°C pendant 24 à 48 heures.

### 5.6. Analyse organoleptique

#### Test organoleptique

L'analyse sensorielle a été réalisée au niveau de laboratoire de Recherche des Sciences et Techniques de production animale de l'université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.

Le jury de panéliste est composé d'enseignants, de doctorants et d'étudiants en science alimentaire. Le panel dégustateurs est composé de 08 sujets.

Le produit analysé est du yaourt à boire préparé à base de différentes doses de son de blé dur :

1. Yaourt Témoin : 0% de son de blé
2. Yaourt de : 0.5 % de son de blé
3. Yaourt de : 1 % de son de blé
4. Yaourt de : 1.5 % de son de blé

Les échantillons de yaourt à boire le témoin et les 3 essais au son de blé dur (0.5 %, 1 %, 1.5 %) sont présentés pour chacun des 08 sujets panélistes. Les échantillons de yaourt sont présentés aux panélistes dans des pots de 100 grs.

Chaque échantillon de produit dégusté porte un numéro de code différent :(1 / 2/ 3/ 4). Sur la fiche de dégustation, des critères d'analyse sensorielle ont été définies :

1. Visuel (Etat de yaourt / produit)
2. Olfactif (Arômes / Intensité)
3. Gustatif (saveurs)

En fin du test, un classement a été sollicité des panélistes pour les 04 yaourts préparés.

### **5.7. La valeur calorique**

La détermination de la valeur calorique est utilisée pour évaluer la quantité d'énergie contenue dans un aliment. La valeur calorique est donnée en Kcal /100g ou 100 ml de denrées ou en KJ/100 g ou 100 ml.

N.B= 1Kcal= 4,18 KJ.

#### **A/ Déterminer la valeur calorique de matière première et des ingrédients utilisés :**

1. Valeur calorique de lait (%)
2. Valeur calorique de son de blé (%)
3. Valeur calorique de sirop

**B/ Déterminer la valeur calorique des préparations lactières** « yaourt à boire témoin et yaourt à boire enrichi avec du son de blé dur ».

## 1. Résultats des analyses physico-chimiques du son de blé dur

**Tableau 06** : Les résultats de l'analyse physicochimique du son de blé dur.

Les composants	Teneur en %
l'extrait sec total	90
l'humidité	10
Cendres	4,52
cellulose brute	2.62

Les résultats de l'analyse physicochimique (l'extrait sec total, l'humidité, cellulose brute, cendres) du son de blé dur sont représentés dans **le tableau 06**

### 1.1. Extrait sec

L'extrait sec du son de blé dur est de 90%. Cette valeur indique que le son contient une faible humidité résiduelle. En outre, la faible teneur en eau inhibe certaines réactions de dégradation microbiennes et/ou des activités biochimiques (**Lozach, 2001**), ce qui favorise sa conservation et son stockage.

### 1.2. Humidité

Le dosage de l'humidité permet de statuer sur les risques d'altération lors du conditionnement et du stockage des aliments. C'est un facteur déterminant dans l'évolution des phénomènes biologiques notamment la prolifération des microorganismes.

Le son sur lequel nous avons travaillé présente une humidité de 10 % (tableau 06), et cette valeur est très proche de celles décrites par (**Baranes, 1983**) (**Srivastava et al., 2007**) et (**Favier, 1999**) qui rapportent des teneurs variant entre 9 et 11.4 %.

### 1.3. Cendres

Le résultat du taux de cendres obtenu a donné une teneur de 4.52 %, elle est légèrement inférieure à celle citée par (**Al Kahtani, 1989**) qui est de 5,09% et semblable à la valeur obtenue par (**Adrian et al, 1995**) qui est de 4,5 % Cette valeur ne présente pas la valeur exacte des sels minéraux contenus dans l'échantillon, Il est à signaler que les cendres totales ne recouvrent pas rigoureusement la somme pondérale des sels minéraux contenus dans les sons céréaliers, car un grand nombre des sels minéraux sont détruits, modifiés ou se volatilisent à la température d'incinération (900°C). C'est pour cette raison qu'on peut estimer des teneurs en éléments minéraux beaucoup plus élevées aux valeurs trouvées (**Sabegh et Tsouri, 2006**).

#### 1.4. Cellulose brute

Le résultat du taux de cellulose obtenu a donné une teneur de 2.62 % ce qui conforme le travail de (Feuillet, 2000) qui trouvé des valeurs allant de 2 à 4 %.

La cellulose est concentrée dans la couche périphérique des céréales. Elle varie suivant les espèces considérées (Rouau et Thibault, 1987).

### 2. Résultats des analyses physico-chimiques du lait

Les résultats des analyses physico-chimiques du lait reconstitué ont pour but de déterminer la qualité de ce dernier.

**Tableau 07** : Les résultats des analyses physico-chimiques du lait reconstitué.

Les paramètres contrôlés	Résultats
<b>pH</b> : potentiel hydrogène	06.51
<b>D</b> : Densité à 20°C	1.037
<b>FP</b> : Point de congélation °C	-0.662°C
<b>T</b> : Température °C	29°C
<b>F</b> : Matière grasse %	3.58
<b>C</b> : Taux de cendres %	0.529
<b>S</b> : Matières sèches %	11.75
<b>P</b> : Protéines %	03.61
<b>S'</b> : Taux de salinité %	00.80
<b>L</b> : Lactose %	05.52

#### 2.1. pH

Nous avons comparé les résultats du pH obtenu 6.51 avec les normes et la réglementation qui l'entoure Selon (AFNOR, 1986) 6,50 à 6,75. Nos résultats se rapprochent de celles rapportées par (Labioui *et al.*, 2009) qui ont signalé de 6,40-6,70.

Les résultats obtenus montrent que le lait reconstitué présente un pH conforme aux normes. Ceci atteste que les matières premières utilisées présentent une qualité physicochimique satisfaisante.

## 2.2. Densité

Le résultat obtenu de la densité 1,037 est légèrement supérieur à la norme de (AFNOR, 1986) 1.030 à 1.033 et aussi avec les normes de l'arrêté interministérielle du (18 aout1993), section III, art.8 qui exige que la densité soit de (1030-1033) pour le lait reconstitué peut-être due à un défaut des quantités de la poudre de lait ajouté pendant le travail.

## 2.3. Matière grasse

Concernant la matière grasse, la valeur obtenues 35 g/l ce qui conforme le travail de (Debouz *et al.*, 2014) (35,66±1,15g/l) et (Mekroud, 2011) (32,75 ; 44,50) ; mais supérieures à celles (Belhadi, 2010) (32,50g/l).

## 2.4. Matière sèche

D'après le résultat obtenu 117 g/l de teneur en matière sèche total est Cette résultat sont légèrement supérieure aux normes de (JORA, 1993) qui sont de 110 à 112g/l d'où la non-conformité de lait .Ce déficit minime peut être attribué au taux de la poudre de lait utilisée dans le but d'atteindre le taux en matière grasse souhaité.

## 2.5. Taux de cendres

Pour la matière minérale, la valeur est 0.529 %, celle matière est probablement due à teneur des deux matières premières (poudre le lait+ eau) en sels minéraux, et le résultat montré que le lait est riche en ce derniers.

## 3.Résultats des analyses physico-chimiques du sirop

Les résultats de la détermination du taux de sucre dans le sirop sont rapportés dans le tableau08.

**Tableau 08** : Résultat de sirop de saccharose préparé

Désignation	Brix en °
Sirop de saccharose préparé	28

D'après les résultats illustrés dans le tableau 08, le sirop présente un degré Brix de 28, cette valeur est conforme à la norme de la Fédération internationale des laiteries (IDF, 2018).

#### 4. Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt

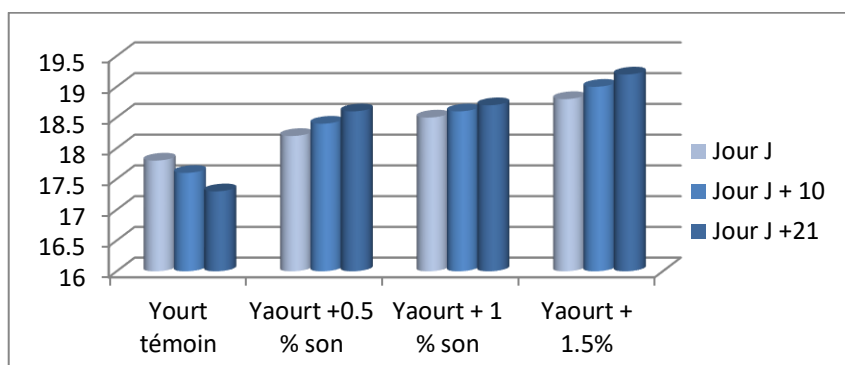
Les résultats des analyses physico-chimiques du produit fini témoin et des 3 essais enrichis à différentes doses de son de blé dur 0.5 %, 1 % et 1.5 % sont représentés sur (le tableau 09).

**Tableau 09** : Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt préparé.

	Yaourt témoin			Yaourt à 0,5 % de son			Yaourt à 1 % de son			Yaourt à 1,5 % de son		
	Jour J	JourJ +10	JourJ + 21	JourJ	JourJ +10	JourJ + 21	JourJ	JourJ +10	JourJ + 21	JourJ	JourJ +10	JourJ + 21
<b>Extrait sec %</b>	17,8	17,6	17,3	18,2	18,4	18,6	18,5	18,6	18,7	18,8	19	19,2
<b>Matière grasse %</b>	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
<b>Matière protéique%</b>	3,6	3,6	3,6	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
<b>Lactose %</b>	1,5	1,5	1,3	2,1	1,9	1,7	2,1	1,8	1,6	2,1	1,6	1,5
<b>Acidité °D</b>	98	110	121	98	104	112	98	104	114	98	104	110
<b>Ph</b>	4,6	4,2	3,7	4,6	4,4	3,9	4,6	4,4	4,05	4,6	4,4	4,12
<b>Viscosité Cp</b>	730	728	721	730	750	758	730	790	810	730	820	838

##### 4.1. L'extrait sec

Les valeurs de l'extrait sec total des essais de yaourt à boire du jour de préparation aujourd'hui + 21 sont représentées sur la figure 10.



**Figure 10 :** Teneur en extrait sec des produits finis expérimentaux.

D'après les résultats de détermination de l'extrait sec total par rapport à l'échantillon témoin et les 3 essais, on observe une augmentation de la valeur de l'extrait sec total avec l'augmentation du son de blé, selon **Mahaut *et al.*, (2000)**, les teneurs en matières sèches laitières pour le yaourt se situaient entre 14 et 16 % avec des valeurs extrêmes de 12 à 20%, dans notre cas une augmentation importantes de la matières sèches est notée pour l'essai 3 (yaourt avec 1.5 % de son de blé ). Ainsi plus le pourcentage de son de blé augmente et plus l'extrait sec total augmente.

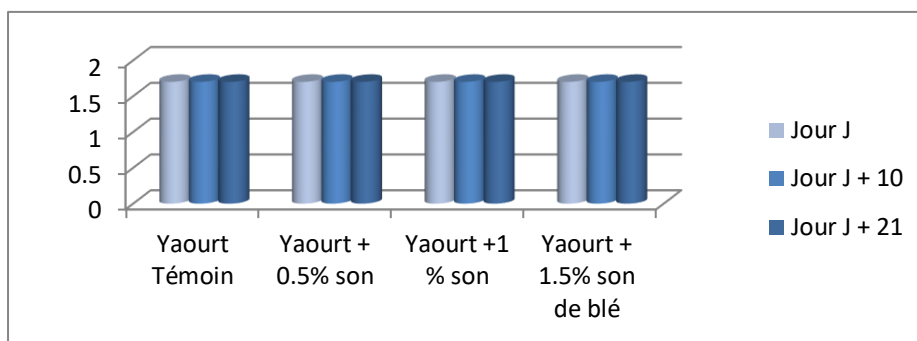
La valeur de l'extrait sec total du produit témoin est passée de 17.8 % le jour de préparation à 17.6 et 17.3 % respectivement au jour J +10 et au jour J+21 ; par contre pour l'essai 1 on a noté une augmentation ; ainsi que la valeur de l'extrait sec passe de 18,2 % à 18,4 % après 10jours et atteint 18,6 % en jour J +21.

La même cinétique est observée pour les essais 2 et 3 avec des valeurs finales après 21 jours respectivement de 18,7 et 19,2 %.

#### 4.2. Matière grasse

La valeur de la matière grasse a été estimée à 1.7 % pour le produit **témoin** ainsi que pour **l'essai 1, 2 et 3** depuis le jour de la préparation jusqu'au jour J +21. Aucune différence n'est observée entre les échantillons élaborés. Car le son de blé contient des traces de matièregrasse.

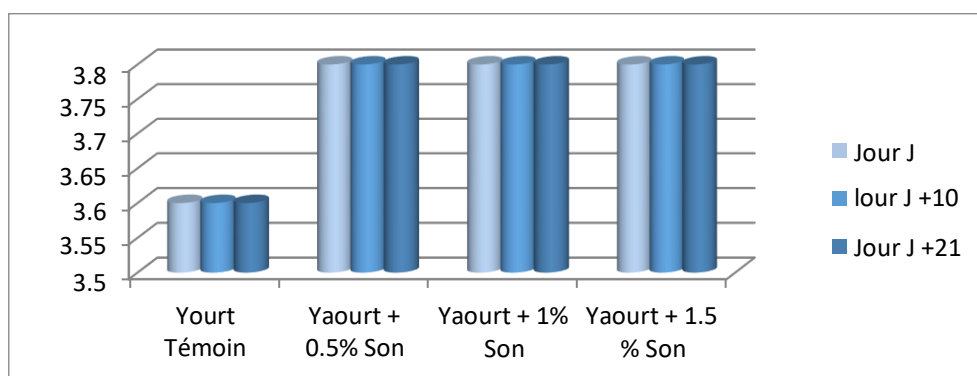
La teneur en matière grasse dans les yaourts dépend de la matière grasse de lait utilisé lors dela formulation (**Ihemeje *et al.*, 2015**).



**Figure 11 :** Evolution de la matière grasse du produit fini.

### 4.3. Matière protéique

D’après les résultats de détermination de la matière protéique sur l’échantillon témoin et les 3 essais, on observe que les essais 1, 2 et 3 présentent une augmentation par rapport au témoin, avec une valeur de 3.6% pour le témoin et 3.8% pour les essais 1, 2 et 3, ces valeurs restent cependant conformes aux norme **JORAn°06, 2021** qui prévoit un minimum de protéines sur un lait fermenté autour de 2.7 %



**Figure 12 :** Valeurs de la matière protéique des différents produits finis.

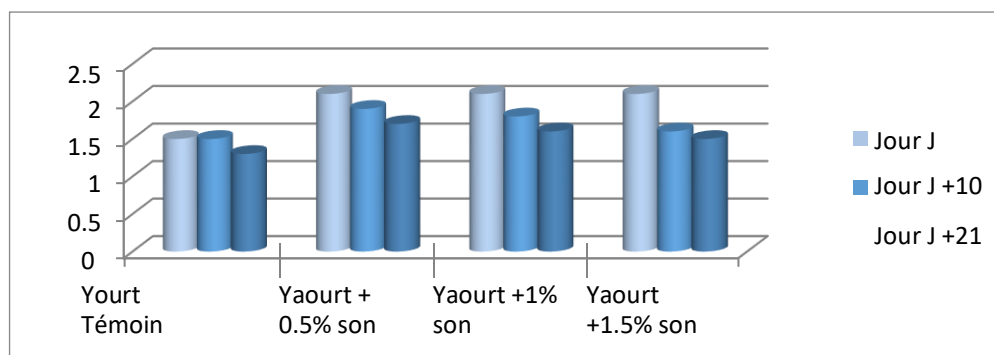
### 4.4. Lactose

Les valeurs du lactose du produit fini témoin et des 3 essais d’incorporation du son de blé dur sont représentées sur la **figure 13**, on observe une augmentation de la valeur du lactose avec l’augmentation du son de blé.

La valeur de lactose du produit témoin est passée de 1,5 % le jour de préparation à 1,3 % au jour J+21, pour l’essai 1 on note plutôt une diminution ; ainsi la valeur de l’extrait sec passe de 2,1 à 1,9 % après 10 jours et atteint 1,7 % au jour J +21.

La même cinétique est observée pour les essais 2 et 3 avec des valeurs finales après 21 jours respectivement de 1,6 et 1,5 %.

Cette valeur est inférieure à celle trouvée par (Laurence et Coben, 2004) qui est de 3%, et cela est expliqué par la post-acidification qui a entraîné la transformation du lactose en acide lactique.



**Figure 13 :** Valeurs du lactose des différents produits finis.

#### 4.5. Acidité Dornic

Les valeurs de l'acidité Dornic du produit fini témoin et des 03 essais d'incorporation du son de blé dur sont représentées sur **la figure 14**.

L'acidité titrable au jour de préparation est de 98°D et atteint après 10 jours la valeur de 110°D pour le témoin puis a augmenté jusqu'à 121°D au jour J +21.

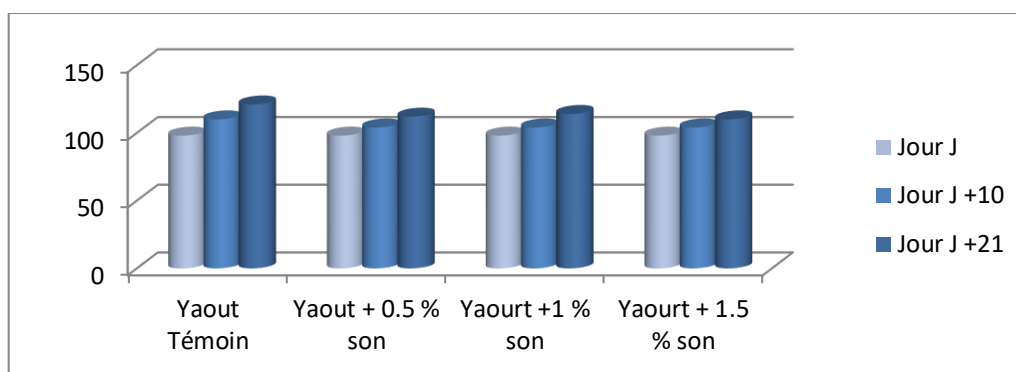
Pour l'essai 1, au jour J +10 l'acidité titrable passe de 98 à 104°D puis atteint la valeur de 112°D après 21 jours.

La même cinétique est observée pour les essais 2 et 3 avec des valeurs finales après 21 jours respectivement de 110 et de 114°D.

Cette augmentation est due à la transformation du lactose en acide lactique qui rend le milieu plus acide, comme l'indique (Mahaut *et al.*, 2000).

L'acidification résulte de la dégradation du lactose en acide lactique.

Selon la (FAO, 2000) le maintien du yaourt à froid n'arrête pas complètement l'activité métabolique bactérienne bien que la production du lactosérum s'arrête.



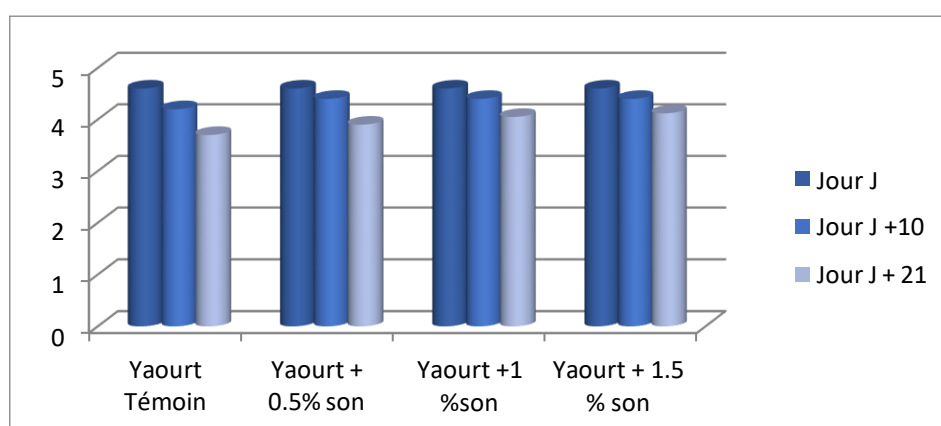
**Figure 14 :** Valeurs de l’acidité Dornic des différents produits finis.

#### 4.6. pH

Les valeurs du pH du produit fini soit du témoin et des 3 essais d’incorporation du son de blé dur à différentes doses sont représentées sur **la figure 15**

Les résultats des valeurs de pH montrent une légère augmentation du pH avec l’augmentation des quantités de son de blé dur (0.5 %, 1 %, 1.5 %).

Au jour de préparation le pH est de 4,6 pour le produit fini témoin et les 3 essais. Au jour J+ 10 on a noté d’une diminution de la valeur du pH et qui est passé pour le témoin à 4,2 et pour les 3 essais à 4.4. Au jour J +21, le pH a représenté respectivement pour le témoin, l’essai 1, l’essai 2 et l’essai 3 de : 3,7 ; 3,9 ; 4,05 et 4,12. La diminution du pH est due à l’acide lactique produit à partir du lactose et qui procure une saveur acide au yaourt. Aussi Selon (**Beal et Sodini, 2003**) le pH est inversement proportionnel à l’acidité et l’acide lactique est produit à partir du lactose qui à son tour abaisse le pH.



**Figure 15 :** Valeurs des pH des différents produits finis.

#### 4.7. Viscosité

Les valeurs de la viscosité du produit fini soit du témoin et des 3 essais d'incorporation du son de blé dur à différentes doses sont représentées sur **la figure 16**.

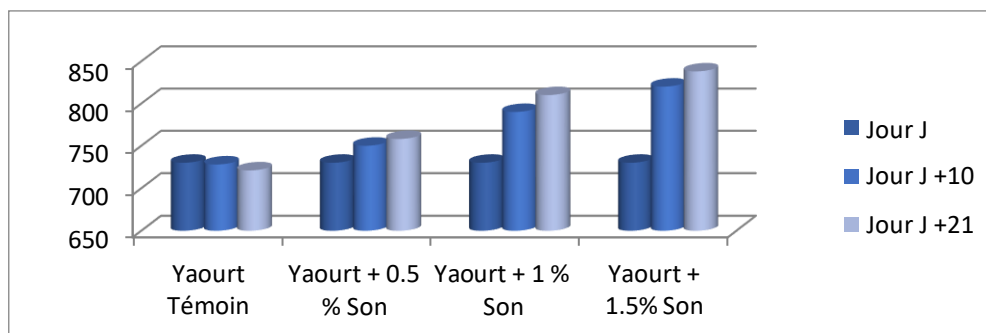
Les résultats des valeurs de viscosité montrent une augmentation de viscosité avec l'augmentation des quantités de son de blé (0.5 %, 1 % et 1.5 %).

La viscosité au jour de préparation est de 730 Cpa et atteint après 10 jour la valeur 728 Cpa pour le témoin puis diminue jusqu'à 721 Cpa au jour J +21.

Par contre pour l'essai 1, au jour J +10 la viscosité passe de 730 à 750 Cpa puis atteint la valeur de 758 Cpa après 21 jours.

La même cinétique est observée pour les essais 2 et 3 avec des valeurs finales respectives après 21 jours de 810 et 838 Cpa.

Donc l'effet sur la viscosité est très remarquable avec des concentrations plus élevées du son de blé dur ce qui montre son effet positif sur la viscosité du yaourt.



**Figure 16** : Valeurs des viscosités observées sur les différents produits finis.

## 5. Résultats des analyses microbiologiques du yaourt

**Tableau 10** : Résultats des analyses physico-chimiques du yaourt préparé.

Germe	Jour J	Jour J +10	Jour J + 21	Norme JORA N°35
Coliformes	00	00	00	10
Coliformes fécaux	00	00	00	1
<i>Staphylococcus aureus</i>	00	00	00	10
Levures	15	42	58	$<10^2$
Moisissures	Absence	Absence	Absence	Absence
<i>Salmonella</i>	Absence	Absence	Absence	Absence
Bactéries lactiques thermophiles	$10^7$	$3.10^7$	$8.10^6$	$>10^6$

Les résultats des analyses microbiologiques représentées sur le tableau 10 indiquent l'absence de germes pathogènes tels que les coliformes totaux et fécaux, *Salmonella* et *Staphylococcus aureus*. Selon (Hermier, 1992) la présence de ces germes dans les produits laitiers peut causer des nuisances pour le consommateur, par exemple, *Staphylococcus aureus* peut produire des entéro-toxines et lorsqu'elles sont ingérées, provoquent des vomissements souvent accompagnés de diarrhées. De même, *Salmonella* peut provoquer les mêmes symptômes caractéristiques d'une toxo-infection alimentaire.

Sur nos analyses nous remarquons l'absence de germes fécaux sur nos produits finis ce qui témoigne selon (Beerens et Luquet, 1987), d'une absence de contamination fécale. Le non présence de coliformes totaux et fécaux dans le produit fini témoigne de la bonne pratique d'hygiène et de préparation appliquées, aussi la conformité des matières premières utilisées et la salubrité du matériel utilisé lors des préparations.

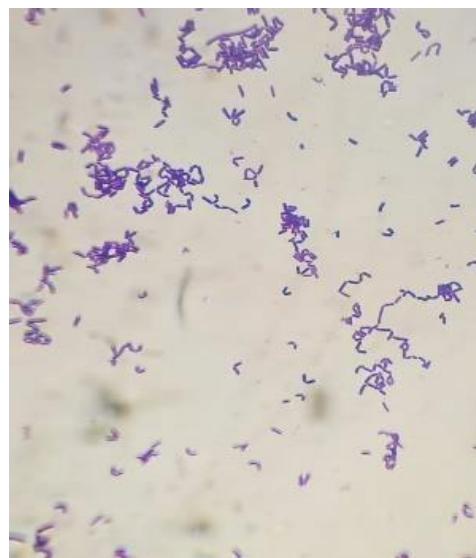
On remarque également l'absence de moisissures et la présence des levures mais en quantité très faible (15 / 42 / 58) par rapport à la norme **JORA N°35**  $<10^2$  dans les yaourts. Selon (**Joffin, 2000**), la présence de ces germes témoigne d'une contamination par l'environnement et par l'ambiance soit de la zone de nos manipulations soit lors des préparations ou du conditionnement de nos produits finis, ce qui va se répercuter sur la durée de conservation. Le contrôle de l'ambiance est obligatoire pour préserver la qualité des produits préparés.

Les résultats obtenus concernant la viabilité de notre flore lactique utilisée (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*), montrent clairement sa parfaite conformité aux normes. La viabilité de cette flore est très satisfaisante soit pour les yaourts enrichis avec du son de blé soit pour le yaourt témoin. On observe, l'évolution de cette flore lactique dans nos produits finis qui est passée de  $10^7$  ufc/ml le jour de la préparation à  $3.10^7$  ufc/ml au jour J +10 ; et avec une légère diminution au jour J+21 avec un dénombrement de  $8.10^6$  ufc/ml.

✓ Observation microscopique de la viabilité de la flore lactique utilisée



**Figure 17** : Aspect microscopique de *Streptococcus thermophilus* Après la coloration de Gram ( $\times 100$ )



**Figure 18** : Aspect microscopique de *Lactobacillus bulgaricus* Après la coloration de Gram ( $\times 100$ )

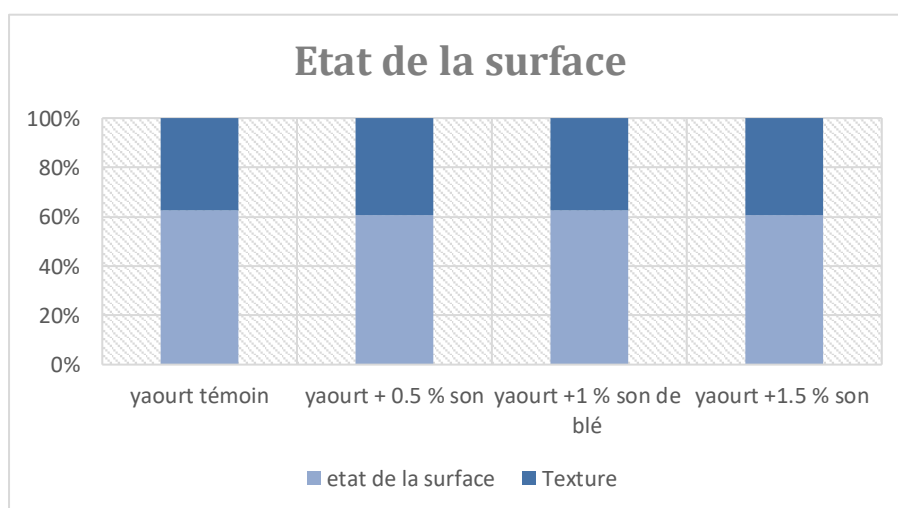
En résumé, nos résultats sont conformes aux normes en raison des raisons suivantes :

- Nous avons utilisé une matière première de bonne qualité hygiénique.
- Les bonnes pratiques d’hygiène et de préparation ont été respectées correctement.
- Nous avons respecté les normes concernant les opérations de transformation et de conservation des produits.

Après analyse, nous constatons que le produit fini ne présente aucun risque pour la santé du consommateur, car il ne contient aucune bactérie pathogène responsable d’intoxication. Ces résultats sont également conformes aux normes du journal officiel Algérien (JORA, 1998), qui recommandent une mesure de levures inférieure à 10/ml et inférieure à 1/L pour les moisissures.

## 6. Résultat des analyses sensorielles

### 6.1. L’aspect visuel

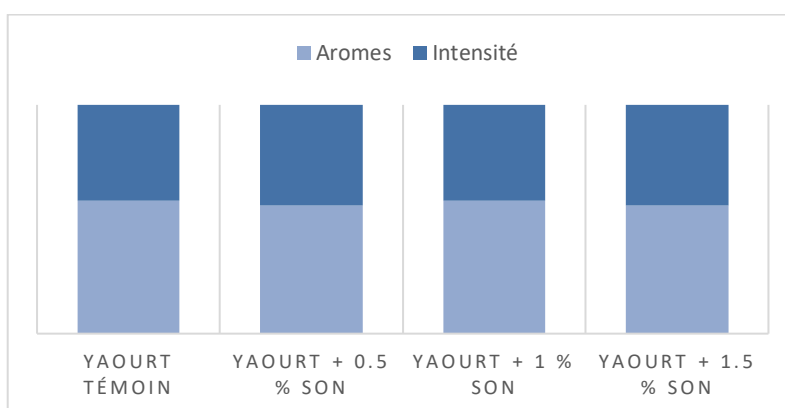


**Figure 19 :** Évaluation de l’aspect visuel des essais élaborés.

La plupart des panélistes ont préféré le produit témoin soit apprécié pour son état de surface et sa texture. Pour les autres l’appréciation de l’état de surface et la texture des produits préparés a été en proportion égale sur les essais (1 et 3) à pourcentage élevé que l’essai 2.

Aussi, La plupart des dégustateurs ont trouvé la texture du yaourt visqueux avec une surface fluide et brillante.

## 6.2. L'aspect olfactif

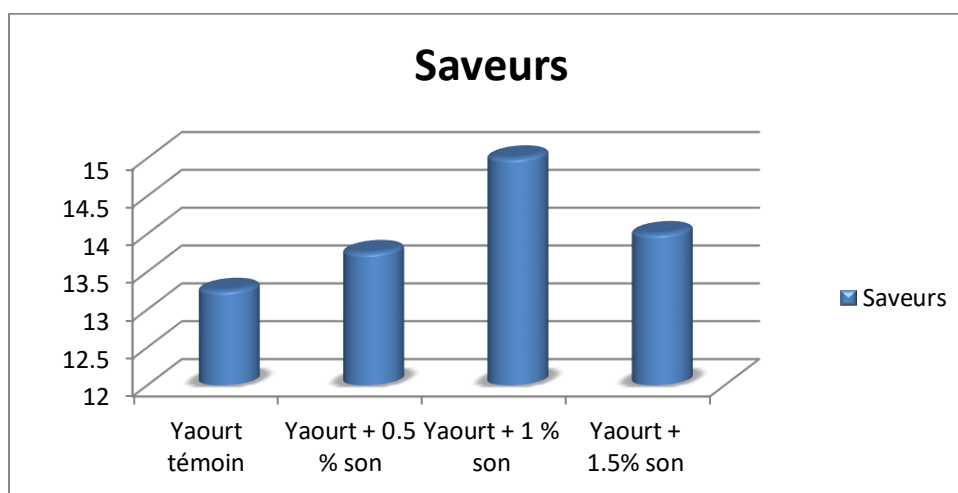


**Figure 20 :** Évaluation de l'aspect olfactif des essais élaborés

Consternant l'arôme et son intensité sur les yaourts préparés, une partie des panélistes a choisi en pourcentage élevé le produit témoin et l'essai 2, par rapport à d'autres qui ont fait le choix de l'essai 1 et 3.

La plupart des dégustateurs ont apprécié l'arôme du yaourt lactique qui a présenté une intensité Typée.

## 6.3. L'aspect gustatif



**Figure 21 :** Évaluation de l'aspect gustatif des essais élaborés

L'essai 2 a eu plus d'appréciation sur la saveur suivi de l'essai 3, l'essai 1 et enfin le produit témoin.

Le jury de dégustation a trouvé la saveur est entre sucrée et acide avec une description finale du produit à la bouche entre agréable et riche en arôme.

On peut donc conclure que la préparation de yaourt à boire la plus appréciée parmi tous les essais élaborés est celle de l'essai 2 préparé avec un enrichissement avec 1% de son de blé.

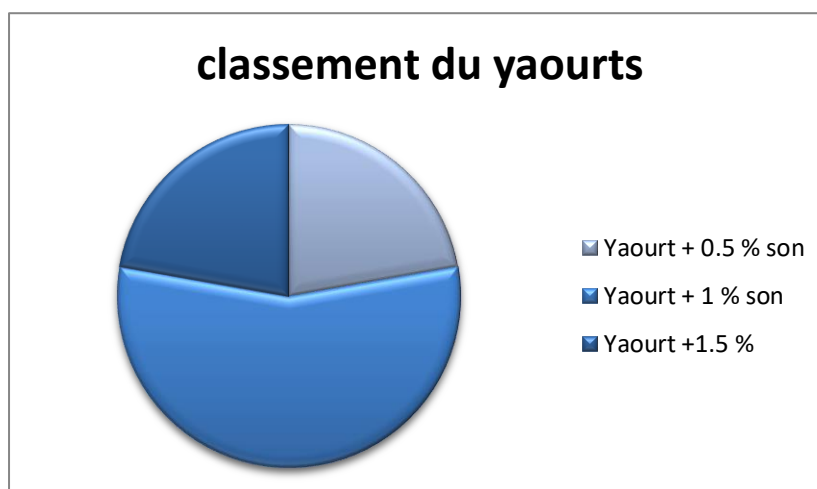


Figure 22 : Classement des yaourts élaborés.

### 7.La valeur calorique

Les valeurs indiquées dans le tableau représentent les valeurs calorique dans 100 g de matières premières et yaourt à boire témoin et yaourt à boire enrichi avec du son de blé dur.

Tableau 11 : La valeur calorique est donnée en Kcal /100g

		Protéine kcal	Lipide kcal	Glucide kcal	La totale kcal
	<b>Le lait</b>	14.44	32.22	22.08	69
	<b>Le son de blé</b>	48	46.8	72	167
	<b>Le sirop</b>	/	/	112	112
<b>Yaourt</b>	<b>Yaourt témoin</b>	14.4	15.3	5.73	35
	<b>Yaourt +0.5 %</b>	15.2	15.3	8.4	39
	<b>Yaourt +1 %</b>	15.2	15.3	8.4	39
	<b>Yaourt +1.5 %</b>	15.2	15.3	8.4	39

D'après les résultats qui sont représenté dans le **tableau 11**. On note une augmentation de valeur calorique des protéines et des glucides dans les yaourts enrichis avec du son de blé (**l'essai 1, 2 et 3**) avec des valeurs prospectivement de 15.2 et 8.4 kcal par rapport au yaourt témoin avec des valeurs prospectivement de 14.4 et 5.73 kcal.

Ainsi les résultats indiquent que les yaourts enrichis en son de blé a une valeur calorique totale de 39 kcal, ce qui légèrement supérieur à la valeur calorique totale du yaourt témoin, qui est de 35 kcal. La différence entre le **yaourt témoin** et **l'essai 1, 2 et 3** peut être attribuée à l'ajout de son de blé dans le yaourt.

## Conclusion

L'objectif de la présente étude était de formuler un yaourt à boire enrichi avec du son de blé dur à différentes doses (0,5%, 1% et 1,5%). Le son de blé est un sous-produit de l'industrie agroalimentaire, céréalière, est reconnu pour ses effets bénéfiques et thérapeutiques dans divers domaines d'utilisation. Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation du son de blé dur de faible valeur marchande.

Au terme de notre travail, nous avons obtenu des résultats expérimentaux très satisfaisants confirmés par la qualité stable du produit à la conservation et même après DLC.

Au cours de cette période allant de la préparation du produit à sa DLC, les valeurs de pH, d'acidité Dornic, le taux de l'extrait sec total et la viscosité enregistrée : sont généralement proportionnelles aux taux de son de blé incorporée pour enrichir notre lait fermenté de type yaourt à boire.

En ce qui concerne la qualité hygiénique, les 4 yaourts ont présenté une qualité microbiologique hygiénique conforme aux normes. En outre, la culture de la flore lactique, récupérée du souchier du laboratoire de recherche a présenté des résultats très satisfaisants sur le plan aptitude technologique à la transformation de nos laits préparés en yaourt à boire et aussi pour la viabilité à DLC. Ces bactéries lactiques ont conservé leur viabilité normalisée recommandée pour les yaourts avec l'abondance sollicitée pour la bio conservation de nos produits finis préparés.

L'analyse sensorielle de notre produit laitier formulé a montré une grande appréciation par les dégustateurs.

En perspective, il serait souhaitable de :

- ✓ Effectuer une étude économique sur le coût de production de ce yaourt sur le plan industriel.
- ✓ Etudier ses effets sur les constantes biologiques chez les êtres humains afin de montrer ses multiples effets bénéfiques et thérapeutiques.
- ✓ Etudier la possibilité d'incorporation du son de blé dans d'autres produits alimentaires.

## Liste de Références :

- **Achacha H, Khellaf B.** Production de glutamate par *Corynebacterium glutamicum* 2262. Mise au point du milieu de culture à base de son de blé. **Université Ferhat Abbas Sétif 1. Faculté des sciences de la nature et de la vie.** Département de microbiologie. **Spécialité d'Ecologie microbienne.** 2016: 13-20.
- **Adrian J, Fragne R.** La science alimentaire de A # Z. Ed .Tec et Doc Lavoisier. 1995 : 477.
- **Affroun F, Hamla W.** Elaboration d'un yaourt brassé à base de la figue sèche et du son du blé. Université A. MIRA – Béjaia. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département de sciences alimentaires. Spécialité Production et transformation laitière. Thèse doctorat. 2018 : 3-5.
- **AFNOR.** Contrôle de la qualité des produits laitiers : analyse physique et chimique, ed : AFNOR. 3<sup>ème</sup> édition. 1986.
- **AFNOR.** Produits laitiers frais : spécifications des laits fermentés et des yaourts / yoghourts. Norme NF V 04-600. 2001 : 13.
- **Ahmed messaoud N.** Enrichissement du yaourt brassé en germe de blé tendre. Université Saad dahlab de Blida. Faculté des sciences agrovétérinaire et biologique. Département des sciences agronomique. Sciences Alimentaires. Diplôme de master. 2013 : 1.
- **Akhamoum D.** Étude de l'influence de l'ajout d'un mix son et germe sur la qualité technologique de la farine. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques. Département des sciences agronomiques. Spécialité de Management de la qualité totale et sécurité des aliments. 2016 : 18-23.
- **AL-Kahtani A.** Studies of Saudi Arabian locally produced wheat germ. Food chemistry. 1989) ; 34 : 121-130.
- **Amellal-Chibane, H.** Aptitude technologiques de quelques variétés communes de dattes : formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Université M'Hamed Bougara de BOUMERDES. Faculté des sciences de l'ingénieur. Laboratoire de recherche de technologies alimentaires. Thèse de doctorat. 2008: 164.

- **Annika M.M et Marc B.** Industrial Use and Production of Lactic Acid Bacteria. Edition Marcel Dekker, 2004: 381- 427.
- **Barnes P-J.** Wheat germoil. Lipids in cereal technology. 1983 : 389-400.
- **Béal C, Helinck S.** Fabrication des yaourts et des laits fermentés. Techniques de l'Ingénieur.hal-03519802f. F6315 ; 2003: 14-26.
- **Beerens H, Luquet F M.** Guide pratique d'analyses microbiologiques des laits et des produits laitiers. ED. Techniques et documentation-Lavoisier. France. 1987 : 144.
- **(Belhadi, 2010) In Ogbi R, Rahmani M.** les risques de contamination du lait reconstitué, pasteurisé et conditionné fabriqué à la laiterie fromagerie de Boudouaou. Université Akil Mohand Oulhadj-Bouira. Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre. Département d'agronomie. Spécialité Technologie agroalimentaire et contrôle de qualité. Diplôme de master. 2018 : 43.
- **Bensaha H, Arbouche R, Arbouche, Mennani Y, Arbouche S-H, Arbouche F.** Valorisation des sons fins de variétés algériennes de blé dur dans l'alimentation des ruminants. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et vétérinaire. 2018 ; 6(3) : 319-322.
- **Cherik H-C.** Contribution à l'étude nutritionnelle de son de blé dur vue son incorporation dans un biscuit sec. Université Saad dahlab de Blida. Faculté des sciences agrovétérinaire et biologique. Département des sciences agronomique. Spécialité nutrition et contrôle des aliments. Diplôme de master. 2012 : 1.
- **Dahou A.** Cours technologie des laits et produits laitiers
- **Dahou A.A, Homrani A., Bensaleh F., Bekada A. et Meghoufel N.** Caractérisation phénotypique et génotypique de deux *Lactobacillus* isolés d'un fromage traditionnel frais type J'ben. *Afrique SCIENCE 12(6) (2016) 14 - 22* 14 ISSN 1813-548X. 2016 <http://www.afriquescience.info>
- **Debiton C.** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L). Favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Université blaise pascal. Ecole doctorale des sciences de la vie, de la sante. Agronomie, environnement. Spécialité de physiologie et génétique moléculaires. 2010 : 2-4.

- **Debouz A, Guerguer L, Hamid Oudjana A. Hadj Seyd A-E-K.** Étude comparative de la qualité physicochimique et microbiologique du lait de vache et du lait camelin dans la wilaya de Ghardaïa. *Revue El Wahat pour les recherches et les Études.* 2014 ; (2) : 10.
- **Djermoun A.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie.* 2009 ; 01: 46.
- **Dongar M L, Buchade AD.** Refractive index based optical Brix measurement technique with equilateral angle prism for sugar and allied industries. *International journal for light and electron optics.* Pune –India. 2015 : 05-137.
- **Doumanji A, Doumanji S, Doumanji M-B.** Technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock. *Cours de Technologie des Céréales.* Office des publications universitaires, 2003 : 66.
- **Émilie F.** Connaissance des aliments. Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Lavoisier. Edition TEC&DOC. Paris, 2005: 31-37.
- **Enkelejda P.** Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la saveur. Thèse de doctorat. Institut national agronomique paris grignon. *Science des Aliments.* 2004: 205.
- **FAO.** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 1995 : 154.
- **F.A.O.** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Chapitre 5 : Lait fermentés. Collection FAO/Alimentation et Nutrition. 2002. 28 : 7.
- **(Favier, 1999) In Ahmed Messaoud N.** Enrichissement du yaourt brassé en germe de blé tendre. Université Saad dahlab de Blida. Faculté des sciences agrovétérinaire et biologique. Département des sciences agronomique. *Sciences Alimentaires.* Diplôme de master. 2013 : 1- 77.
- **Feillet P.** Le grain de blé composition et utilisation. 1<sup>er</sup> édition. INRA, 2000: 312
- **Guerzani J.** Health and nutritional properties of probiotics in Food including powder milk with live lactic bacteria in (fermented milk). 2003: 1-11.

- **Hamdouche F Kettou H.** Approche sur la disponibilité et la valorisation des sous-produits des industries agroalimentaires algériennes en alimentation cunicole. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Faculté Des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques. Département Des Sciences Agronomiques. Nutrition animale et produits animaux. Diplôme de master. 2015 : 15.
- **Hermier J. Lenoin.** « Groupes microbiens d'intérêts laitiers » coordonné par J. édition CEPIL. Paris. 1992 : 568.
- **IDF (FIL). (2018).** The reference ISO 707 I.D.F. Defined standards for microbiological and chemical analysis of milk, milk products and milk powder. Rome. Italy : 75-125.
- **Ihemeje A, Nwachukwu CN, Ekwe C C.** Production and quality evaluation of flavoured yoghurts using carrot, pineapple, and spiced yoghurts using ginger and pepper fruit. African journal of food science. 2015 : 163-169.
- **Jacquemin L.** Production d'hémicelluloses de pailles et de sons de blé à une échelle pilote Etude des performances techniques et évaluation environnementale d'un agro-procédé. Université de Toulouse. Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse). Spécialité de Sciences des Agro ressources. 2012 : 21-36.
- **Jean-Claude M, Pouliot M, et Richard J.** Lait de consommation. In « Vignola C.L ». Science et technologie du lait : Transformation du lait. Edition Presses internationales poly technique. 2002 : 277-318.
- **Jeantet R, Crogunec T, Mahaut M, Schuck P, Brulé G.** Les produits laitiers. 2<sup>ème</sup> édition. TEC & DOC Lavoisier, 2008 : 23-35.
- **Joffin. C et al.** microbiologie alimentaire. 5<sup>ème</sup> édition. CRDP d'aquitaine. France, 2000 : 214.
- **JORA.** Journal Officiel de la République Algérienne. Arrêté interministériel N°35 daté du 27 mai 1998. Critères microbiologiques des laits. 1998 : 8.
- **Journal Officielle De La République Algérienne.** Bulletin officiel n° 4862 du 9 chaoual 1421 (4 janvier 2001), Décret n° 2-00-425 du 10 ramadan 1421 (7 décembre 2000) relatif au contrôle de la Production et de la commercialisation du lait et produits laitiers. 2001.

- **JORA.** Journal officiel de la république Algérienne. Spécification techniques des types de lait fermenté N° 06. 2021 : 22.
- **Lannabi I et Sal A.** Analyse microbiologique d'un produit laitier (Yaourt) ; enquête alimentaire. Université des Frères Mentouri. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département : de microbiologie. Spécialité Microbiologie Générale et Biologie Moléculaire des Micro-organismes. Diplôme de Maste. 2015 : 16-17.
- **Lablondel C.** Les laits fermentés : vos alliés pour une meilleure santé. 2007 : 3.
- **Labioui, h., Elmoualdi, l., Benzakour, a., El yachioui, M.** lait, caractéristiques physico-chimiques dans : lait nutrition et santé. 2<sup>ème</sup> édition, tec et doc, Lavoisier. 2009: 185.
- **Lamoureux L.** Exploitation de l'activité  $\beta$ - galactosidase de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maitrise, Université de Laval, Canada. 2000.
- **Lecerf J-M.** Particularités et bienfaits des yaourts. Médecine des maladies métaboliques. 2020 ; 14(08) : 699-705.
- **Leory F, Degeest Band De vuyst L.** A novel area of predictive modelling : describing the functionality of beneficial microorganisms in foods. International Journal of Food Microbiology, 2002 ; 73 : 251-259.
- **Leurence A V, Cohen M E.** conserve traditionnel et fermier. Edition Technique et documentation, Lavoisier. Paris. 2004 : 633p.
- **Loones A.** Laits fermentés par les bactéries lactiques. In « De roissart H et Luquet F.M » Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologique. Vol 2. Ed. Lorica. Uriage, 1994 :135-154.
- **Lozach V.** le sel et les microorganismes. These de doctorat veterinaire. Ecole nationale veterinaire de maiso, Aftort. 2001 :137.
- **Luquet F.M et Corrieu G.** Bactéries lactiques et probiotiques. Edition Tec et Doc. Lavoisier, 2005 :273- 307.
- **Maameri T, Said F.** Effet de L'incorporation de la farine de caroube sur les paramètres organoleptiques, physico-chimique et microbiologiques d'un lait fermenté type yaourt. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département d'agronomie. Déplombe de master. Spécialité Contrôle de qualité des aliments. Déplombe de master. 2018 : 1.

- **Mahaut M, Jeantet, Schak P. et Brul G.** Les produits industriels laitiers. 2<sup>ème</sup> Edition TEC & DOC Lavoisier, 2000 : 26-40.
- **Mahaut M, Jeantet R, Brulé G, Schuck P.** Les produit industriels laitiers : produits fermentés et dessert lactés. Edition Tec et Doc, Lavoisier, Paris. 2000 : p194.
- **Marty-Teyssset C, De La Torre F et Garel JR.** Increased production of hydrogen peroxide by lactobacillus delbruekii ssp bulgaricus upon aeration : involvement. Applied and Environmental Microbiology, 2000 : 66(1), 262-267.
- **Mazouz L.** Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Université El-Hadj Lakhdar – Batna. Faculté des Sciences. Département d'Agronomie. Sciences Agronomiques. Mémoire de Magister. 2006 : 3-11.
- **Mckevith B.** Nutritional aspects of cereals. Nutrition Bulletin. 2004 ; 29(2), 111-142.
- **(Mekroud, 2011) In Oghi R, Rahmani M.** les risques de contamination du lait reconstitué, pasteurisé et conditionné fabriqué à la laiterie fromagerie de Boudouaou. Université Akil Mohand Oulhadj-Bouira. Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre. Département d'agronomie. Spécialité Technologie agroalimentaire et contrôle de qualité. Diplôme de master. 2018 : 43.
- **Mihoubi D-M.** Formulation et caractérisation d'un yaourt supplémenté de la poudre de graines de lin. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie - El Harrach-Alger. Département de Technologie Alimentaire et de Nutrition Humaine. Sciences Alimentaires. Thèse Doctorat. 2019 : 24.
- **Paci kora.** Interactions physico-chimique et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé :quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur. Thèse de doctorat, institut national agronomique, PARIS, 2004.
- **Pelletier J-F, Faurie J-M, François A, Teissier P.** Lait fermenté : la technologie au service du goût. Cahiers de Nutrition et de Diététique. 2007 ; 42(2) : 15-20.
- **Pierre B, Véronique B et Denis D-G.** Yaourt et autres laits fermentés. Cahiers de nutrition et diététique. 2011 ; 45(6) : 305-314.
- **Reis D, Vlan B, Bajon C.** Le monde des fibres. Edition Belin, 2006: 260-290.
- **Rouau M, Thibault M.** Les fibre alimentaires. Ed-Paris.1987 :355.

- **Sarwar M-H, Sarwar M-F, Sarwar M, Qadri N-A, Moghal S.** The importance of cereals (Poaceae : Gramineae) nutrition in humanhealth : A review. Journal of cereals and oilseeds. 2013 ; 4(3) : 32-35.
- **Scmidet J.L, Tourneur C. et Lenoir J.** Fonction et choix des bactéries lactiques laitières in « bactéries lactiques ». Vol II. De roissart H. et Luquet F.M. Edition Lorica. Paris, 1994: 37-46.
- **Sebegh A, Tsouri Bentsouri B.** L'enrichissement de pâtes alimentaires par l'incorporation du son et le suivi du produit pendant 5 mois de conservation. Déplombe de master. FSAVB. Blida. 2006 : 225.
- **Srivastava A-K, Sudha M-L, Baskaran V, Leelavathi K.** Studies on heat stabilized wheat germ and its influence on rheological characteristics of dough.Eur Food Res Technol. 2007 ; (224). P 365-372.
- **Surget A, Barron C.** Histologie du grain de blé, Industrie des céréales.2005 ; 145 :3-7.
- **Vignola C.L.** science et technologie du lait. Edition presses internationales polytechnique. Canada. 2002 : 600.

# *ANNEXES*

## Annexe 01



**Figure 01** : Lait reconstitué



**Figure 02** : La poudre de lait 26 %



**Figure 03** : Lait préparé dans des flacons stériles



**Figure 04** : le sirop préparé



**Figure 05** : La préparation du lait fermenté enrichie avec du son de blé



## Annexe 02

### Dosage du lactose

Ce dosage colorimétrique est basé sur la propriété des glucides réducteurs (comportant une fonction aldéhyde libre) de réagir, grâce à la fonction aldéhyde libre, en milieu alcalin et à chaud, avec l'acide 3-5 dinitrosalicylique (3,5-DNS).

On opère par référence à une gamme d'étalonnage (qui ne passe pas par zéro).

Le 3,5-DNS jaune est réduit en acide 3-amino-5-nitrosalicylique orangé-rouge.

#### ➤ Préparation de la gamme d'étalonnage :

On réalise une solution de lactose à 2 g/L avec 0,2 g de lactose dans un volume de 100 ml.

Puis la gamme d'étalonnage est réalisée grâce à cette solution étalon de lactose.

#### ➤ Dosage

On dose une solution de lactose inconnue par des prises d'essai d'0.5 ml et de 1 ml que l'on traite dans les mêmes conditions que les tubes de la gamme d'étalonnage. On lit ensuite les absorbances à 530 nm contre le blanc de gamme.

## Annexe 03

### Appareillage et milieux de culture

#### 1. Appareillage

**Tableau :** Liste de l'appareillage

Appareillage	
- Agitateur magnétique chauffant (ARE-VELP SCIENTIFICA).	- Agitateur vortex (Velp scientifica).
- PH-mètre (PI/PHSJ 3F).	- Thermomètre
- Bain marie (Mamert).	- Réfrigérateur (kühlbox 2000).
- Congélateur.	- Four à moufle.
- Balance analytique.	- Viscosimètre de rotation (PHEOTEST)
- Dessiccateur (///ACIS).	- Etuve (30°C et 45°C) (Mamert).
- Microscope.	- Réfractomètre.

## 2. Les milieux de culture

**Tableau : gélose PCA**

<b>Composition</b>	<b>Quantité g/L</b>
Tryptone	5
Extrait de levure	2.5
Glucose	1
Agar	18
Eau distillée	1000 ml

**Tableau : gélose OGA**

<b>Composition</b>	<b>Quantité g/L</b>
Extrait autolytique de levure	5
Glucose	20
Oxylétracycline	0.1
Agar agar bactériologique	15
Eau distillée	1000 ml

**Tableau : gélose Chapman**

<b>Composition</b>	<b>Quantité g/L</b>
Extrait de viande	3
Extrait de levure	3
Tryptone	5
Peptone bactériologique	10
Chlorure de sodium	70
Mannitol	10
Rouge de phénol	0.05
Agar	18
Eau distillée	1000 ml

**Tableau : gélose VRBG**

<b>Composition</b>	<b>Quantité g/L</b>
Extrait de levure	3
Peptone	7
Chlorure de sodium	5
Sels biliaires	1.5
Glucose	10
Rouge neutre	0.03
Cristal violet	0.002
Agar	12
Eau distillée	1000 ml

**Tableau : Bouillon d'enrichissement au sélénite et à la cystéine**

<b>Composition</b>	<b>Quantité g/L</b>
Peptone	5
Phosphate de sodium	10
Lactose	4
L'eau distillée	1000 ml

**Tableau : Milieu MRS**

<b>Composition</b>	<b>Quantité g/L</b>
Peptone	10
Extrait de viande	10
Extrait de levure	5
Glucose	20
Tween 80 I ml	2
Phosphate dipotassique	2
Acétate de sodium	5
Citrate d'ammonium	2
Sulfate de magnésium, 7 H <sub>2</sub> O	0.2
Sulfate de magnés, 4 H <sub>2</sub> O	0.5
Agar	18
Eau distillée	1000 ml

- Stérilisation des milieux par autoclavage à 120°C pendant 15 min.

**Tableau : Eau peptonée**

<b>Composition</b>	<b>Quantité g/L</b>
Nacl	8.5 g
Peptone	1 g
Eau distillée	1000 ml

**Tableau : Eau physiologique**

<b>Composition</b>	<b>Quantité g/L</b>
Nacl	9 g
Eau distillée	1000 ml

## Annexe 04

**Tableau :** Fiche d'analyse sensorielle comparative des yaourts

Examen	Nom de produit	Points à examiner	Vocabulaire
Visuel		Etat de yaourt	Surface : lisse, exsudée, fluide Etat : fine, épaisse, brillant
		Produit	Texture : ferme, cassante, sableuse, visqueux
Olfactif		Aromes	Lactique : lait frais, naturel,  Autres : diacétyle, fermenté, synthétique
		Intensité	Forte, fade, typée
Gustatif		Saveurs	Description de la saveur : Sucrée, acide, amer Description des sensations : Douceur, , crémeux, fondant, onctueux Description de la finale bouche : Agréable, très typique, riche en arôme, intense, persistante, plutôt courte