

République Algérienne Démocratique et Populaire

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



جامعة عبد الحميد ابن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**NADJRI Ismail**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES**

**Spécialité: Production et Transformation Laitière**

THÈME

Effet de substitution de la poudre de lait par  
un système fonctionnel dans la fabrication  
d'un lait fermenté de type yaourt brassé

Soutenu publiquement le 08/07/2019

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Président	Dr RECHIDI SIDHOUM.N	Maître Assistante	U. Mostaganem
Encadreur	Dr DAHOU.A	Maître Assistant	U. Mostaganem
Examinatrice	Dr TAHLAITI .H	Maître Assistante	U. Mostaganem

*Travail réalisé au Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animales  
Année universitaire 2018-2019*

## **Remerciements**

*Avant tout, nous remercions "Allah" le tout puissant qui nous a accordé le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail. Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.*

*Nous exprimons toute notre reconnaissance et notre plus grand respect à « Mr. DAHOU .A » pour avoir assuré l'encadrement de ce mémoire, pour nous avoir fait confiance et pour nous avoir fait bénéficier de ses larges compétences, et notamment de ses précieux et judicieux conseils scientifiques et surtout pour sa patience dans la correction de ce mémoire.*

*Mes remerciements s'adressent à « Mme Tahlaïti H. » et à « Mme. Rechidi-Sidhoum.N » d'avoir accepté d'évaluer mon travail au sein du Jury de soutenance.*

*Nous tenons à remercier le gérant de la laiterie « Errawda » et la responsable du laboratoire d'avoir mis à notre disposition tout ce dont nous avons besoin au cours de notre stage. Nos remerciements vont également au personnel du laboratoire pour leur aide et leurs conseils.*

*Enfin, nos remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

*«Merci à tous»*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à Dieu tout puissant, pour avoir guidé mes pas pour la réalisation de ce travail.*

*A ma chère mère « Aïcha » mon source de vie, d'amour et de la tendresse qui est toujours présente près de moi.*

*A mon chère père « Abdelkader » ma sens de l'honneur et de responsabilité*

*A mes grands parents Maternels et Paternels que Dieu les protège Pour nous*

*A mes chères sœurs : « Fatima, Djamila et la princesse Asma ».*

*A mes chères frères : « Hamza, Khaled, Bilal et Ibrahim »*

*A toute ma famille « Nadjri » et « Belmahdi »*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnés durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur, « Amin el Maghnawi » et « K. Rania ».*

*Nadjri Ismail*

## Résumé

L'industrie de fabrication des laits fermentés dont les yaourts en Algérie est fortement dépendante des marchés extérieurs caractérisés d'une part par des fluctuations à la hausse des prix de la matière première, la poudre de lait et par son instabilité qualitative. Les constituants de notre nouveau produit, les systèmes fonctionnels, ne posent aucun problème par sa disponibilité au niveau de nos marchés. Ce travail s'est articulé autour de la substitution de la poudre de lait par 02 systèmes fonctionnels et de les comparer à un témoin réalisé à 100% avec du lait reconstitué avec un contrôle au préalable de la valeur marchande de la matière première poudre de lait et les substituts, les systèmes fonctionnels ; amidon modifié et amidon natif. Les résultats obtenus montrent que le yaourt fabriqué avec de l'amidon modifié à 1,5% a donné les résultats escomptés sur les plans microbiologiques, physico-chimiques et sensoriels avec des critères de préparation qui ont donné une satisfaction totale chez le jury de dégustation interrogé sur la qualité organoleptique. Tenant compte des exigences du consommateur Algérien, la préparation réussie pourra être appliquée à échelle industrielle.

### Mots clés:

Yaourt, poudre de lait, amidon modifié, Amidon natif, substitution

## **Abstract**

The fermented milk manufacturing industry, whose yogurts in Algeria are highly dependent on external markets characterized on the one hand by upward fluctuations in prices of the raw material, milk powder and its qualitative instability. The constituents of our new product, the functional systems, pose no problem by its availability in our markets. This work was based on the substitution of milk powder by 02 functional systems and compared them to a 100% control with reconstituted milk with prior control of the market value of the milk powder raw material. and substitutes, functional systems; modified starch and native starch. The results obtained show that the yoghurt made with 1.5% modified starch gave the expected results on the microbiological, physicochemical and sensory levels with preparation criteria which gave a total satisfaction to the tasting panel questioned about organoleptic quality. Taking into account the requirements of the Algerian consumer, the successful preparation can be applied on an industrial scale.

### **Keywords:**

Yoghurt, milk powder, modified starch, native Starch, Substitution

## ملخص

إن صناعة الحليب المخمر في الجزائر تعتمد بشكل كبير على الأسواق الخارجية التي تتميز بالتقلبات الصعودية في أسعار المواد الخام من مسحوق الحليب وعدم الاستقرار النوعي. المكونات الأساسية لمنتجنا الجديد ، أي الأنظمة الوظيفية ، لا تشكل أي مشكلة بسبب توفرها في أسواقنا. استند هذا العمل على استبدال مسحوق الحليب بنظامين وظيفيين ومقارنتهما بالشاهد بنسبة 100٪ مع الحليب المعاد معالجته مسبقاً مع التحكم في القيمة السوقية للمواد الخام لمسحوق الحليب والبدايل، الأنظمة الوظيفية؛ النشا المعدل والنشا الأصلي. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن الزبادي المصنوع من النشا المعدل بنسبة 1.5 ٪ أعطى النتائج المتوقعة على المستويات الميكروبيولوجية والفيزيائية والكيميائية والحسية مع معايير التحضير التي أعطت الرضا التام للجنة التذوق في استجوابها على النوعية الحسية. مع الأخذ في الاعتبار متطلبات المستهلك الجزائري ، يمكن تطبيق الإعداد الناجح على نطاق صناعي.

كلمات البحث:

الزبادي، مسحوق الحليب، النشاء الأصلي، النشاء المعدل، استبدال.

# Sommaire

	Page
Sommaire .....	05
Abréviations, sigles et acronymes .....	06
Liste des tableaux .....	07
Liste des figures .....	09
Liste des annexes .....	10
<b>Introduction</b> .....	<b>11</b>
<b>Première partie. Synthèse bibliographique</b> .....	<b>14</b>
Chapitre I : La poudre de lait .....	15
Chapitre II : Les laits fermentés type yaourt .....	23
Chapitre III : Agents texturants des produits laitiers .....	36
<b>Deuxième Partie. Etude Expérimentale</b> .....	<b>54</b>
Chapitre I. Matériel et méthodes .....	55
Chapitre II. Résultats et discussion.....	69
<b>Conclusion et perspectives</b> .....	<b>85</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>86</b>
<b>Liste des références</b> .....	<b>95</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>100</b>

## Liste des abréviations, acronymes et sigles

---

- **AFNOR** : Association Française De Normalisation
- **BP** : Biard Parker
- **CP** : Centipoises
- **CSR** : Clostridium Sulfito-Réducteur
- **DLC** : Date Limite De Consommation
- **DM** : Diluant Mère
- **EPT** : Eau Petonnée Tamponnée
- **EST** : l'Extrait Sec Total
- **FAO** : Food And Agriculture Organization
- **FIL** : Fédération International Du Lait
- **FMAR** : La Flore Mésophile Aérobie Revivifiable
- **HTST** : High Temperature Short Time
- **ISO** : International Standard Organisation.
- **L** : Levures
- **LSTPA** : Laboratoire Des Sciences Et Techniques De Production Animales
- **M** : Moisissures
- **MG** : Matière Grasse
- **MP** : Matière Protéique
- **MRS** : Man Rogosa Sharpe.
- **OGA** : Oxytetracycline Glucose Agar.
- **OGM** : Organismes Génétiquement Modifiés
- **PCA** : Plate Count Agar.
- **TSE** : Tryptone Sel Eau
- **UFC** : Unité Formant Colonie.
- **VF** : Viande De Foie
- **VRBL** : Violet Red Bile Lactose Agar.
- **WPNI**: Whey Protein Nitrogen Index

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 01</b> : Composition des laits en poudre (en %) (FAO, 2008).....	17
<b>Tableau 02</b> : Composition générale de la poudre de lait partiellement écrémé D'après (Karen.,2008).....	18
<b>Tableau 03</b> : Classification des poudres de lait écrémé selon le WPNI (Atomizer <i>et al.</i> ,1990).....	19
<b>Tableau N04</b> : Réglementation concernant la qualité d'acide lactique et du pH dans le yaourt (Luquet F. M., Carrieu G.( 2005)).....	25
<b>Tableau 05</b> : Composition de différents types de yaourt (Fredot, 2005).....	27
<b>Tableau 06</b> : Causes possibles d'homogénéisation non adéquate d'un mélange et incidences sur la qualité du yaourt (vignola, 2002).....	29
<b>Tableau 07</b> : Défauts d'apparence du yaourt.....	33
<b>Tableau 08</b> : Défauts de goût du yaourt.....	34
<b>Tableau 09</b> : Défauts de texture du yaourt.....	35
<b>Tableau 10</b> : Origines et sources des agents végétaux de texture.....	38
<b>Tableau 11</b> : Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques (WERTZ, 2010).....	40
<b>Tableau 12</b> : Principaux polysides utilisés comme épaississants, gélifiants ou stabilisants (Colonna,2001).....	48
<b>Tableaux 13</b> : Essais de préparation (systèmes fonctionnels à 1,5%).....	58
<b>Tableau 14</b> : Essais de préparation (systèmes fonctionnels à 1%).....	58
<b>Tableau 15</b> : Essais de préparation (systèmes fonctionnels à 0,5%).....	58
<b>Tableau 16</b> : Analyses microbiologique du yaourt.....	63
<b>Tableau 17</b> : Caractéristiques de la matière première : poudre du lait 26% et 0%... ..	70
<b>Tableau 18</b> : Caractéristiques des systèmes fonctionnels : Amidon natif et amidon modifié (E1442) utilisé.....	70
<b>Tableau 19</b> : Evolution physico-chimique du yaourt témoin fabriqué à 100% avec du lait reconstitué.....	72
<b>Tableau 20</b> : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5% d'amidon natif.....	72
<b>Tableau 21</b> : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1% d'amidon natif.....	72
<b>Tableau 22</b> : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5 % d'amidon natif.....	72

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 23</b> : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5 % d'amidon modifié.....	72
<b>Tableau 24</b> : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1 % d'amidon modifié.....	73
<b>Tableau 25</b> : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5 % d'amidon modifié.....	73
<b>Tableau 26</b> : Evolution microbiologique du yaourt témoin fabriqué à 100% avec lait reconstitué.....	76
<b>Tableau 27</b> : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5% d'amidon natif.....	76
<b>Tableau 28</b> : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1% d'amidon natif.....	76
<b>Tableau 29</b> : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5% d'amidon natif.....	76
<b>Tableau 30</b> : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5% d'amidon modifié.....	77
<b>Tableau 31</b> : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1% d'amidon modifié.....	77
<b>Tableau 32</b> : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5% d'amidon modifié.....	77
<b>Tableau 33</b> : Résultats de l'analyse sensorielle.....	81

## Liste des figures

---

<b>Figure 01</b> : Diagramme de fabrication de yaourt (Loones, 1994).....	28
<b>Figure 02</b> : Diagramme de fabrication du yaourt ferme (Bylund, 1995).....	31
<b>Figure 03</b> : Diagramme de fabrication du yaourt brassé (Bylund, 1995).....	32
<b>Figure 04</b> : Structure et ultra structure d'un grain d'amidon.....	41
<b>Figure 05</b> : Amylose.....	42
<b>Figure 06</b> : Amylopectine.....	42
<b>Figure 07</b> : digestion de l'amidon par l'amylase.....	45
<b>Figure 08</b> : Dessiccateur(KERN).....	61
<b>Figure 09</b> : Viscosimètre Brookfield.....	62
<b>Figure 10</b> : Diagramme de fabrication du yaourt brassé.....	66
<b>Figure 11</b> : Evolution de la viscosité de nos essais de yaourt (avant et après maturation).....	74
<b>Figure 12</b> : Etat microbiologique des flores d'altération, pathogènes et lactiques avant maturation de nos essais de yaourt.....	78
<b>Figure 13</b> : Etat microbiologique des flores d'altération, pathogènes et lactiques après maturation de nos essais de yaourt.....	79
<b>Figure 14</b> : Observation du <i>Streptococcus thermophilus</i> après coloration de Gram.....	80
<b>Figure 15</b> : Observation du <i>Lactobacillus bulgaricus</i> après coloration de Gram.....	80
<b>Figure 16</b> : Structures de l'amylose et de l'amylopectine.....	94
<b>Figure 17</b> : Absorbances de l'amidon, de l'amylose et de l'amylopectine.....	95

## Liste des annexes

<b>Annexe A : Composition des solutions de titrage.....</b>	<b>87</b>
<b>Annexe B : Composition des diluants(g/l).....</b>	<b>87</b>
<b>Annexe C : Composition des milieux de cultures (g/l) .....</b>	<b>88</b>
<b>Annexe D : fiche d'analyse sensorielle comparative des yaourts (F.I.L 2018)....</b>	<b>92</b>
<b>Annexe E : Fiche technique des amidons utilisés : dosage de l'amidon total , de l'amylose et de l'amylopectine.....</b>	<b>94</b>

# **Introduction**

Aujourd'hui, le yaourt est considéré comme un produit de grande consommation, le yaourt représente plus de la moitié du marché de l'ultra-frais. Il est bien connu parmi les produits laitiers frais fermentés c'est un aliment de grande consommation (Nakasaki *et al.*, 2008).

Avec le progrès technologique réalisé, le yaourt apparaît comme un produit laitier très digeste qui possède une grande valeur nutritionnelle et qui est apprécié pour son goût et sa texture (Rohmain, *et al.*, 2010). C'est un produit consommé la plupart du temps comme un dessert, convient à toutes les tranches d'âge et même chez les sujets intolérants au lactose (Nagai *et al.*, 2011).

Le yaourt est obtenu par incubation d'un lait enrichiensemencé avec un mélange de bactéries lactiques composé de *Streptococcus salivarius ssp. thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* (JORA, 1998). D'autres ingrédients peuvent être ajoutés au yaourt, comme les fibres de fruits, les marmelades de fruits, des fruits traités et mêmes des friandises aux céréales.

Les industriels sont contraints de faire face à une demande de plus en plus exigeante et perpétuellement changeante.

Le lait cru est rare dans de nombreux pays où la production laitière est insuffisante. La technique de reconstitution représente ainsi une solution pour offrir un produit proche du lait frais (Moller, 2000).

L'Algérie est un grand importateur de poudre de lait, avec un volume de 50% de ses besoins importé, pour un montant de près de 1,3 milliards de dollars, elle sert à la fabrication de produits laitiers, comme les fromages, les yaourts et lait fermentés. (Algerie-eco. 2018)

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

Les stabilisants généralement employés sont : la pectine, la gélatine, les amidons modifiés ainsi que la gomme de caroube.

L'amidon est un polysaccharide présent naturellement dans les céréales, les tubercules, les légumineuses et les racines. D'une manière générale, ce glucide est l'une des principales sources d'énergie de l'alimentation humaine et animale. Mais les utilisations alimentaires de l'amidon sont multiples, et vont bien au delà de son rôle nutritionnel d'origine. Il possède beaucoup de propriétés physiques et chimiques qui le diffèrent d'autres ingrédients alimentaires, ce sont ces propriétés qui lui donnent sa grande diversité d'application. Les industriels producteurs et utilisateurs de l'amidon devraient se familiariser avec sa structure,

ses caractéristiques et son comportement, afin d'en exploiter les propriétés de manière optimale.

Dans ce contexte, le travail consiste à la caractérisation de trois doses d'amidon natif et de trois doses d'amidon modifié comme des doses de substitution à la poudre de lait

Notre travail se résumera en quatre parties essentielles :

- Un contrôle de la valeur marchande des matières premières (MG et MP pour la poudre de lait) et (dosage de l'amidon total, amylose et amylopectine)
- Une caractérisation physico-chimique comparative à mettre en œuvre (tenant compte des doses à utiliser)
- Analyses microbiologiques des essais et suivi quantification-viabilité des souches lactiques
- Etude sensorielle pour étudier l'impact de substitution de la poudre de lait par l'amidon : sur les propriétés rhéologiques et sensorielles des laits fermentés « nos essais de yaourts brassés ».

**SYNTHESE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

# **Chapitre I:**

## **La poudre de lait**

## 1. Introduction

Au fil des siècles, l'homme a commencé à développer des techniques de transformation aboutissant à différents produits avec de nouvelles propriétés physico-chimiques (fromage, Yaourt, poudre de lait,...etc.), permettant une meilleure conservation du produit contre l'altération. De nos jours, ces différentes méthodes de transformation artisanales ont été améliorées, suite au progrès scientifique qu'a connu le domaine de l'agroalimentaire et ont été intégrées dans des procédés industriels permettant de produire plus et mieux, répondant de cette manière à un marché qui devient plus exigeant (Abdenouri. 2008).

### 1.1. Définition de la poudre de lait

Les laits en poudre sont des produits résultant de l'élimination partielle de l'eau du lait et l'évaporation autant que possible de sorte que l'eau est perdu et le lait devient poudre (Arie *et al.*,2012).

Le lait en poudre est le produit provenant de la dessiccation du lait entier ou du lait écrémé ou du lait partiellement écrémé propre à la consommation humaine, lorsque ils sont additionnés du sucre (saccharose) dans une proportion conforme aux usages la mention «sucre » est porté sur l'étiquette ou le récipient toute fois l'expression « en poudre » peut être remplacée par le mot sec suivi ou non d'une mention indiquant le mode de présentation (poudre, granules, paillettes...)

La principale application du lait en poudre est la reconstitution pendant les périodes de la production laitière. Des réserves considérables utilisables ultérieurement lorsque les approvisionnements deviennent insuffisants. L'élimination de la presque totalité de l'eau du lait (Environ 87%) donne un produit compact concentre facile a transporte et a stocker. Le lait sec n'est le siège d'aucune multiplication microbienne il peut être conserve pendant de très longues périodes et donne du lait reconstitue par simple adjonction d'eau.

Aux termes de la norme FAO 2018, on distingue trois catégories de lait en poudre, entier, partiellement écrémé et totalement écrémé dont la composition est donnée sur le Tableau 01. Selon cette norme, ils peuvent recevoir des additifs alimentaires (stabilisants, émulsifiants, antiagglomérants) dans certaines conditions.

Le tableau 01, représente la Composition des trois différents types de laits en poudre.

**Tableau 01** : Composition des laits en poudre (en %) (FAO, 2008)

<b>Composants</b>	<b>Lait en Poudre Entier</b>	<b>Lait en poudre partiellement écrémé</b>	<b>Lait en poudre Ecrémé</b>
<b>Matières grasses</b>	26 – 40	1,5 – 26	≤ 1,5
<b>Eau maximum</b>	5	5	5

## 2. Différents types de poudre de lait

Le lait en poudre est un produit solide obtenu par élimination de l'eau du lait entier, du lait entièrement ou partiellement écrémé, et dont la teneur en eau n'excède pas 5 % en poids du produit fini.

On distingue les laits en poudre suivants:

### 2.1. La poudre de lait entier

C'est le lait déshydraté contenant, en poids, au moins 26% et moins de 42% de matières grasses.

Le lait entier en poudre dissout dans de l'eau est utilisé en tant que lait reconstitué. Ce sont surtout les pays ne disposant pas d'un grand secteur de production laitière qui constituent un marché important en la matière. De grandes quantités de lait en poudre sont utilisées avec des composants de cacao et du sucre pour la fabrication d'exquis chocolat au lait.

### 2.2. Le lait en poudre partiellement écrémé

C'est le lait déshydraté dont la teneur en matières grasses est, en poids, supérieure à 1,5 % et inférieure à 26 %. La composition chimique de la poudre de lait partiellement écrémé est représentée dans le tableau 02

**Tableau 02:** composition général de la poudre de lait partiellement écrémé D'après (Karen.,2008).

Composant	Le pourcentage (%)
Cendre	4,5%
Teneur en matière grasse	plus de 1,5 % et moins de 26 %
Eau	4%
Protéine	30 %

**2.3. Le lait en poudre écrémé:** lait déshydraté contenant, en poids, au maximum 0,5% de matières grasses.

Le lait écrémé en poudre est utilisé de différentes façons. Il parvient directement au consommateur en tant que lait écrémé reconstitué. Les fabricants de denrées alimentaires l'utilisent dans les desserts à base de lait, les crèmes glacées, les yogourts, les produits à base de viande, les produits à base végétale ressemblant à de la viande, dans les glaçages, les sauces, les mayonnaises, les boissons instantanées pour le petit déjeuner..... etc.

### 3. Différents types de la poudre de lait commercialisé

La poudre de lait a l'avantage de pouvoir se stocker et se transporter aisément pour être utilisée via la recombinaison comme matière première pour la production de fromage, de laits fermentés, de crème glacées ...etc.

Les poudres commercialisées sont en général de trois types, classées selon l'intensité du traitement de déshydratation opéré (et le degré de dénaturation qu'il génère) : « Low Heat », « Medium Heat » et « High-Heat ». Le degré de dénaturation est exprimé par l'indice d'Azote protéique (LAP ou WPNI en anglais) en milligrammes de protéines sériques non dénaturées par gramme de poudre considérée (Karen *et al.*,2008).

Les poudre ayant été préparées avec un traitement thermique bas (low Heat, WPNI égal ou supérieur à 6) contiennent une faible quantité de protéines dénaturées et sont utilisées dans des produits où les propriétés de solubilité, de gélification et d'émulsion sont recherchées.

Il s'agit des poudres de meilleure qualité convenant aussi bien à la préparation du lait de consommation que celui destiné à la fromagerie ainsi qu'à la fortification du yaourt (Nozinck *et al*, 1982).

Les poudres type « Médium Heat » (WPNI entre 1,5 et 5,9) possèdent une bonne capacité d'hydratation et d'activité de surface. Elles sont utilisées notamment dans les fabrications de crèmes glacées...etc. (Castro-Morel *et al*. 2003).

Enfin, les poudres « High-Heat » (WPNI inférieur à 1,5) sont hautement dénaturées et peu solubles. Ce type de poudre trouve une utilisation dans les produits structures (boulangerie, biscuiterie, et la confiserie) (Castro-Morel *et al*.,2003).

Le tableau N°03 donne une classification de la poudre de lait écrémé en fonction de la charge thermique (WPNI).

**Tableau 03** : Classification des poudres de lait écrémé selon le WPNI d'après Alais(1984) et Niro (1978) .

Classes	WPNI (mg d'N/g de poudre)
faible température	$\geq 6.0$
Température moyen	4.5-5.99
haut température moyen	1.51-4.49
Haut température	$\leq 1.5$

WPNI=whey protein nitrogen index

#### 4. Propriétés chimiques et physiques du lait en poudre

Les importants paramètres de qualité pour le lait en poudre sont constitués par la qualité microbiologique, les propriétés organoleptiques (AZZA *et al.*, 2010) ainsi que les propriétés physico-chimiques suivantes:

- Teneur en eau
- Teneur en matière grasse
- Graisse libre

- Teneur en protéines
- Teneur en substances minérales
- Acide titrable
- Solubilité, reconstitution
- Aptitude à l'écoulement
- Densité apparente
- Charge thermique du lait écrémé en poudre (part de protéines sériques dénaturées)
- Particules brûlées
- Répartition de la grandeur des particules
- Oxygène résiduel dans l'emballage

Les qualités biochimiques et physicochimiques des poudres dépendent essentiellement des paramètres technologiques mis en œuvre pour la réalisation des poudres.

La qualité nutritionnelle des poudres laitières dépend principalement de l'intensité des différents traitements thermiques au cours du procédé technologique. Les traitements thermiques induisent des changements physicochimiques qui tendent à diminuer la disponibilité des nutriments (destruction de vitamines, diminution de la teneur en lysine disponible, dénaturation des protéines solubles) ou éventuellement à produire des composés d'intérêt nutritionnel tel que le lactulose. Les poudres obtenues par pulvérisation sont d'un point de vue nutritionnel supérieures à celle obtenues sur cylindres chauffants (Jeant *et al.*, 2008).

A l'exception de quelques pertes de vitamine B12, la valeur nutritive du lait en poudre équivaut à celle du lait pasteurisé et dépasse celle des autres laits conservés (concentré sucré ou non sucré ou stérilisé). L'excès et la prolongation du traitement thermique en cours de fabrication peut dégrader certains des vitamines et abaisser la valeur protéique du produit par dénaturation des aminoacides, mais la dégradation des protéines et les altérations de la solubilité associées aux produits modernes de haute qualité ne diminuent pas leur valeur nutritive.

### **5. Technologie de la poudre de lait**

Après les traitements d'épuration, de standardisation, de pasteurisation ou de préchauffage à haute température, on procède en deux étapes principales : la concentration et le séchage. La

concentration se fait par évaporation et l'ébullition se fait sur une surface chaude. Pour des raisons de qualité, on cherche à limiter la température du lait et à réduire son temps de séjour d'où le traitement sous vide et en film mince. Pour des raisons énergétiques, on utilise l'effet multiple, la compression mécanique des vapeurs et le préchauffage du liquide. Il est ainsi possible d'évaporer plusieurs kg d'eau avec l'énergie de vaporisation de 1 kg d'eau, alors que le séchage demande l'énergie de plus de 1 kg de vapeur pour sécher 1 kg d'eau. Il y a donc intérêt à concentrer au maximum avant de procéder au séchage (FAO, 2008).

Il existe différents types de séchage afin de produire différents types de qualité de poudre de lait parmi ces types de séchage (Jeant *et al.*, 2009).

### 5.1. Séchage sur cylindre

C'est le plus ancien des procédés commerciaux satisfaisants ; il n'a qu'à peine évolué depuis le début du siècle. Essentiellement simple, il consiste à chauffer un mince film de lait pendant 2 à 3 secondes à la pression atmosphérique sur une surface métallique chauffée par de la vapeur à 143-149°C. (Crossley., 1970). Séchage sur cylindre ne peut répondre aux nouveaux besoins qualitatifs exigés pour une poudre laitière (solubilité, dispersibilité élevée, faible teneur en matière grasse libre...). Par contre, les poudres séchées sur cylindre sont encore préférées dans le domaine de la chocolaterie pour leur fort pourcentage en matière grasse libre, pour la taille élevée des particules élevée et l'absence de vacuoles (Dewettinck *et al.*, 1996). Dans le domaine de la confiserie (Haylock., 1995), le taux en matière grasse libre élevé et la présence de composés de Maillard libérés lors du séchage en plus grande quantité ne font que le séchage sur cylindre est préférentiellement utilisé.

### 5.2. Séchage par atomisation

Le procédé de fabrication du lait en poudre par atomisation comprend deux grandes étapes, une étape de concentration suivie de l'étape d'atomisation en elle-même parfois appelée dessiccation. Cette opération utilise, selon la taille de l'installation, soit des thermoplongeurs sur bride soit des batteries de procédés chauffantes.

Le séchage par atomisation est la méthode de séchage la plus souvent utilisée pour le lait en poudre, qu'il s'agisse de lait entier ou de lait écrémé. Il est parfois nommé procédé spray et est de plus en plus choisi par les industriels au détriment du séchage sur cylindres, car il

permet d'obtenir une poudre plus soluble mais aussi des qualités organoleptiques plus intéressantes (goût, aspect...).

### **5.3. Processus de lyophilisation**

Le processus de lyophilisation a été employé pour produire la poudre de lait à haute qualité. Cette méthode offre des avantages de l'aspect de qualité, car la fraction de protéine n'est pas affectée. La lyophilisation n'est pas cependant extensivement utilisée, en partie en raison de la demande énergétique élevée (Journal of Animal & Plant Sciences, 2011).

**Chapitre II:**  
**Les laits fermentés type**  
**yaourt**

## 1. Introduction

Selon le Codex alimentaires de la FAO (Food and Agriculture Organisation, 1975), le yaourt est un « produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* à partir du lait (pasteurisé, concentré, partiellement écrémé enrichi en extrait sec) ». Les bactéries dans le produit fini doivent être vivantes et présentes en abondance. Ces produits doivent notamment être maintenus jusqu'à leur consommation à une température comprise entre 0 et 6 °C pour que les bactéries lactiques restent vivantes.

En fonction de la technologie de fabrication, les yaourts sont divisés en deux groupes :

–**Yaourts fermes**, dont la fermentation a lieu en pots. Ce sont généralement des Yaourts nature ou aromatisés.

–**Yaourts brassés**, dont la fermentation a lieu en cuves avant le conditionnement. Ce sont généralement des yaourts brassés nature ou aux fruits (Luquet et Carrieu, 2005).

Les critères pris en compte par le Codex alimentaires et la FIL (Fédération Internationale Laitière) dans la réglementation du yaourt sont les suivants :

–**Types de produit** : ils sont définis souvent en fonction de leur teneur en matière grasse ou de l'adjonction éventuelle d'ingrédients (yoghourt partiellement écrémé ou maigre, yoghourt écrémé, le yoghourt sucré et le yoghourt nature).

–**Le type de ferment utilisé** : selon la FIL (Fédération Internationale Laitière), et de nombreux pays, la dénomination «yaourt» nécessite l'utilisation obligatoire et exclusive des deux ferments caractéristiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* (Luquet et Carrieu, 2005).

–**La quantité de ferment contenue dans le produit fini** : la FIL fixe la quantité de ferments vivants, égale à  $10^7$  bactéries par gramme rapportés à la partie lactée jusqu'à la date limite de consommation.

–**La viabilité de la flore lactique** : flore viable pendant toute la durée de vie.

–**Ingrédients laitiers** : lait pasteurisé, congelé, écrémé, concentré, en poudre, crème et caséines ... etc.

## Les laits fermentés type yaourt

–**Ingrédients non laitiers** : une multitude d'ingrédients peut être incorporée dans le yaourt. Il peut s'agir par exemple de fruits sous différentes formes (purée, jus, pulpe, sirop etc.), de céréales, de légumes ou de sucre. La quantité d'ingrédients non laitiers est fixée par le Codex alimentaire, la FIL et la plupart des pays à moins de 30% en poids du produit fini.

–**Acide lactique et pH** : La FIL préconise une teneur de 0,7% d'acide lactique. Cette valeur est respectée dans certains pays avec une variabilité de 0,6 à 15%. Certaines normes imposent un pH inférieur à 4,5 ou 4,6.

**Tableau 04** : Réglementation concernant la qualité d'acide lactique ou le pH dans le yaourt (Luquet F. M., Carrieu G.( 2005)).

Organisme/pays	Norme
FIL	0,7% en poids exprimé en tant qu'acide
France, Portugal, Italie	Acide lactique libre > 0,7%
Espagne	pH<4.6
Pays-Bas	pH<4.5
Belgique	<0.7% exprimé en acide lactique.
Pologne	3.9< pH <4.6
Tunisie	0,8% d'acide lactique
Etats-Unis	pH > ou = 3,8
Canada	Acidité < 0,9% exprimé en acide lactique

–**Taux de matière grasse** : Il doit être au minimum, inférieur à 3% (m/m) dans le cas des yaourts (nature, sucré ou aromatisé), compris entre 0,5 et 3% dans le cas des yaourts partiellement écrémés et 0,5% dans les yaourts écrémés.

–**Teneur en protéines** : elle est égale à 2,8% dans le produit fini.

## 2. La valeur nutritionnelle du yaourt

Les yaourts et les laits fermentés, au même titre que le lait, sont des aliments intéressants d'un point de vue nutritionnel (richesse en calcium et en vitamines, équilibre entre les fractions glucidiques, protéiques et lipidiques). En outre, ils présentent un certain nombre d'avantages par rapport au lait non transformé (Sodini et Béal., 2012). L'acide lactique est légèrement antiseptique: cette acidité inhibe le développement de germes pathogènes dans le tube digestif du consommateur.

De plus, l'acidité stimule les mouvements péristaltiques du tube digestif, facilitant l'élimination des micro-organismes pathogènes.

*Streptococcus thermophilus* semble aussi empêcher l'implantation de certaines bactéries pathogènes dans l'intestin telles que les salmonelles et les colibacilles.

Cependant, les bactéries du yaourt ne s'implantent pas dans la flore intestinale. C'est pourquoi, pour maintenir leurs effets bénéfiques, un apport régulier est nécessaire. Les bactéries du genre *Lactobacillus* secrètent du peroxyde d'hydrogène antiseptique lui aussi.

Le yaourt est donc un aliment vivant qui, d'une façon générale, diminue les symptômes de dérangement intestinal (Fredot, 2005).

### 3. Classification des différents types de yaourts

Il existe plusieurs critères de classification du yaourt. Ils sont ainsi classés selon leur composition en matière grasse, selon leurs goûts mais aussi selon leurs textures.

#### 3.1. Selon leur teneur en matières grasses

On reconnaît les yaourts maigres qui contiennent moins de 1% de matières grasses, les yaourts ordinaires nature et les yaourts au lait entier avec 3,5% de matières grasses.

#### 3.2. Selon leurs goûts

Selon cette classification on définit les yaourts nature qui ne subissent aucune addition. Les yaourts sucrés qui sont additionnés de sucre. Les yaourts aux fruits, au miel, à la confiture avec une addition inférieure à 30% de ces différents produits. Les yaourts aromatisés qui contiennent des arômes naturels renforcés par un produit de synthèse (Fredot, 2005).

#### 3.3. Selon la texture

En fonction de la technologie de fabrication, les yaourts sont divisés en deux groupes:

- Yaourts Fermes, dont la fermentation a lieu en pots. Ce sont généralement des yaourts nature ou aromatisés.
- Yaourts brassés, dont la fermentation a lieu en cuve avant le conditionnement. Ce sont généralement des yaourts brassés nature ou aux fruits (Paci kora, 2004).

## Les laits fermentés type yaourt

- Yaourt à boire, il s'agit d'un yaourt qui se différencie du brassé par son état liquide qui l'assimile à une boisson. Sa fluidité est obtenue par une diminution de la teneur en matière sèche. Le brassage fait par passage à l'homogénéisateur sous pression inférieure à 50 atmosphères donne une viscosité inférieure d'environ 50 pour cent à celle obtenue par brassage mécanique. Il peut être nature ou aromatisé (Chanden,2006) .
- Bullard (2011), considère le yaourt glacé comme un type à part.

**Tableau 05** : composition de différents types de yaourt (Fredot, 2005)

Type de yaourt	Teneur moyenne pour 100 g de produit				
	Protides	Lipides	Glucides	Calcium	Valeur énergétique en kcal
Yaourt nature	4,3	<b>1,1</b>	4,8	170	50
Yaourt nature au lait entier	4,1	3,5	4,7	151	70
Yaourt nature maigre	4,5	0,3	4,9	150	50
Yaourt nature sucré	3,9	0,9	13,4	155	80
Yaourt maigre sucré	4	0,1	13,8	150	70
Yaourt aromatisé	4	1	14,5	150	85
Yaourt aromatisé maigre	4,3	0,1	7,1	160	50
Yaourt à boire nature sucré	2,9	1,2	12,8	<b>110</b>	75
Yaourt à boire aromatisé	2,9	1,4	13,3	107	80
Yaourt à boire pulpe de fruits	2,7	1,6	13,5	107	80
Yaourt au lait entier aux fruits	3,5	2,7	18	130	<b>113</b>

### 4. les étapes de fabrication des yaourts

Les étapes de fabrication peuvent différer selon qu'on a affaire à un yaourt «étuvé» dont la fermentation se fait après conditionnement en pots et le yaourt «brassé », dont la fermentation se fait en cuve. Le coagulum obtenu dans ce dernier cas est dilacéré pour être rendu plus ou moins visqueux, puis conditionné en pots.

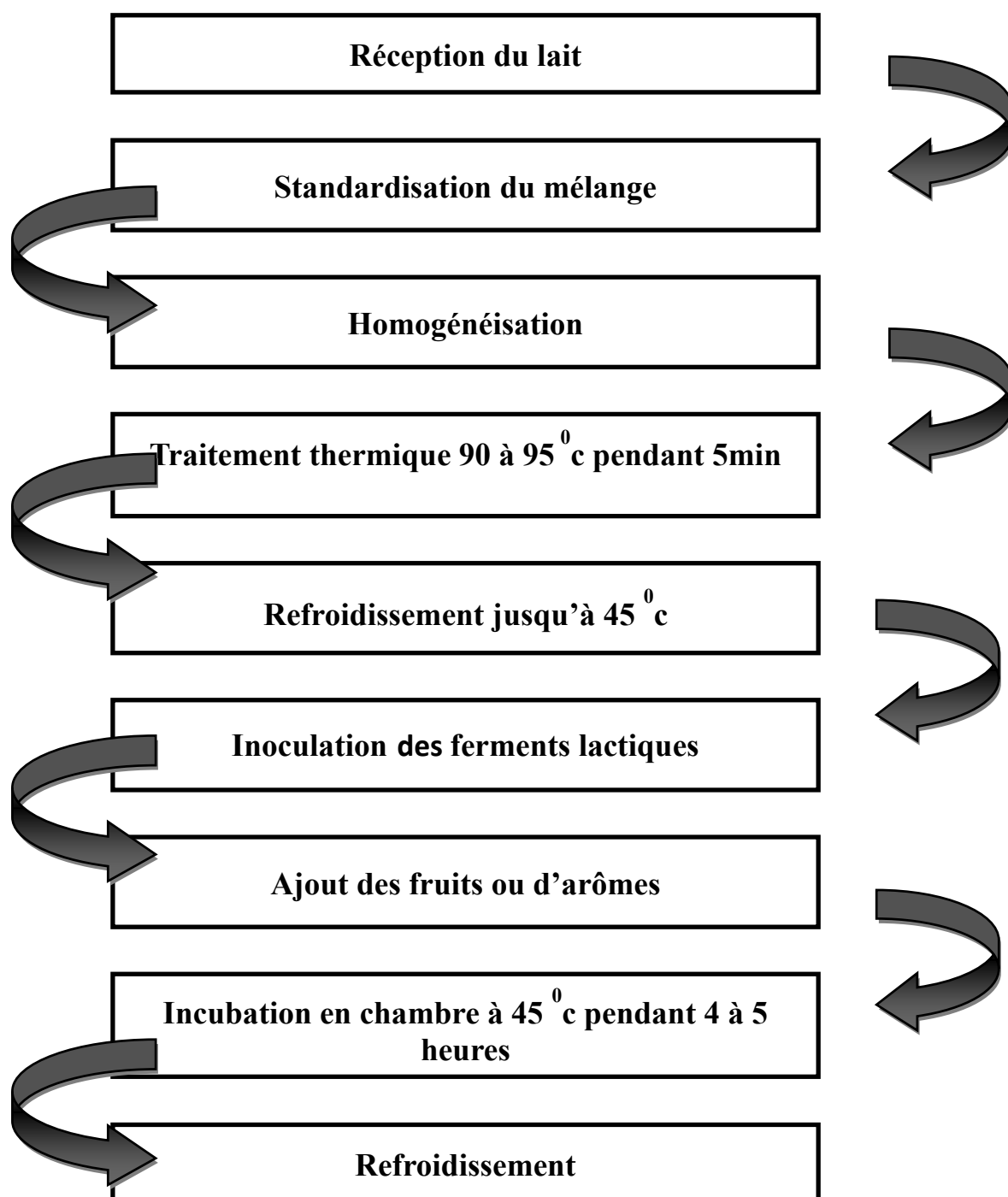


Figure 01 : Diagramme de fabrication de yaourt (Loones, 1994)

### 4.1. Réception du lait

Il est généralement reconnu qu'on ne peut faire un produit de qualité avec une matière première de mauvaise qualité. Dans cet esprit, il est primordial de mettre en place dès la

réception du lait ou toutes autres matières premières, des méthodes et des procédures rapides et simples permettant de détecter les anomalies et les pertes possibles de contrôle.

### 4.2. Standardisation du mélange

Pour bien assimiler l'importance de la standardisation ou de l'enrichissement du lait sur la qualité finale du yaourt, il est nécessaire de donner le rôle de chaque composante du lait.

- Le gras a un effet sur l'onctuosité et la sensation de douceur en bouche
- Le lactose est la matière première utilisée pour l'acidification et à un faible pouvoir sucré, soit quatre fois plus faible que celui du sucre.
- Les protéines, de par leur coagulation et leur capacité de liaison avec l'eau, agissent sur la texture, particulièrement sur la viscosité, la consistance, l'élasticité et la fermenté.
- Les minéraux, comme des fixateurs travaillent à la stabilisation du gel (Vignola, 2002).

### 4.3. Homogénéisation

Elle a principalement des effets sur deux composantes du lait, soit la matière grasse et les protéines. Le tableau N°03 donne les causes possibles d'homogénéisation inadéquate d'un mélange et les incidences sur la qualité du yaourt.

**Tableau N°06** : causes possible d'homogénéisation non adéquate d'un mélange et incidences sur la qualité du yaourt (vignola.,2002).

Causes	Incidences sur la qualité du yaourt
Pression trop faible	<ul style="list-style-type: none"><li>-Séparation du gras, obtention de deux phases (présence d'une surface très crémeuse).</li><li>-Présence d'un goût d'eau dans le produit non uniformité de la couleur.</li><li>-Produit plus liquide, donc une consistance et une viscosité moindres.</li><li>-Synérèse.</li></ul>
Pression trop forte	<ul style="list-style-type: none"><li>-Diminution dans l'onctuosité.</li><li>-Viscosité et consistance inappropriées en raison d'un besoin en protéines, produit plus liquide.</li><li>-Présence de mousse ou de bulles à la surface.</li></ul>

### 4.4. Traitement thermique

La préparation du lait terminée, celui-ci est soumis à un traitement thermique; le plus couramment utilisé est une pasteurisation à 90-95°C (temps de chambrage de 3 à 5 minutes).

Une pasteurisation trop poussée (plus de 5 minutes à 92°C) aura un effet néfaste sur le produit. Ce traitement a pour but de: détruire les micro-organismes pathogènes pouvant être présents et la plus grande partie flore banale. Il permet aussi la suppression éventuelle d'inhibiteurs naturels et la stimulation des bactéries par l'apparition de facteurs de croissance; provoquer un dé plissement par dénaturation partielle des protéines solubles et leur fixation sur les caséines. Cet effet a pour conséquence d'augmenter les capacités de rétention d'eau du yaourt entraînant la modification des propriétés rhéologiques du coagulum acidifié.

Le caillé devient plus ferme et la tendance à l'expulsion de sérum au cours du stockage est réduite. Avec ce traitement, le yaourt brassé présente une structure plus homogène et visqueuse (Anonyme, 1995).

### 4.5. Fermentation lactique

Cette étape généralement appelée phase d'acidification est l'étape caractéristique de la fabrication du yaourt, on peut la décomposer en phase d'ensemencement et phase d'incubation (Luquet, 1985).

#### 4.5.1. Ensemencement

Après le traitement thermique, le lait est refroidi à la température de fermentation, mis en cuve etensemencé. L'incubation se fait à l'aide d'un levain comprenant exclusivement une ou plusieurs souches de chacune des bactéries spécifiques du yaourt: *Streptococcus salivarius thermophilus*, et *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce. *bulgaricus*. Habituellement, on utilise une culture fournie par un laboratoire spécialisé sous forme liquide, Lyophilisée ou congelée. Le lait, amené à une température généralement voisine de 45 °C (entre 42 et 46 °C), estensemencé. Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange lait ferment. Dans les usines importantes, l'ensemencement se fait en continu. La température optimale de développement du Streptocoque est de 42-45 °C; celle du Lactobacille de 47-50 °C (Chandan *et al.*, 2006). C'est après l'ensemencement que se différencient les procédés de fabrication des yaourts ferme et brassé.

### 4.5.2. Fermentation du yaourt ferme (Étuve)

Le levain est ajouté au lait ramené à une température entre 42 et 45°C, à raison de 2%, cette addition se faisant en général en continu. Le lait est alors conditionné en pots et ceux-ci sont placés dans une étuve à une température située entre 42 et 45 °C, pendant 2 à 3 h, jusqu'à obtention de l'acidité désirée (environ 1% d'acide lactique). Pour les yaourts aromatisés, l'adjonction des arômes de fruits a été réalisée avant la fermentation. La fermentation est stoppée par refroidissement des pots dans des chambres froides fortement ventilées ou dans des tunnels de refroidissement, puis les pots sont stockés à 2-4°C (Bourgeois *et al.*, 1996).

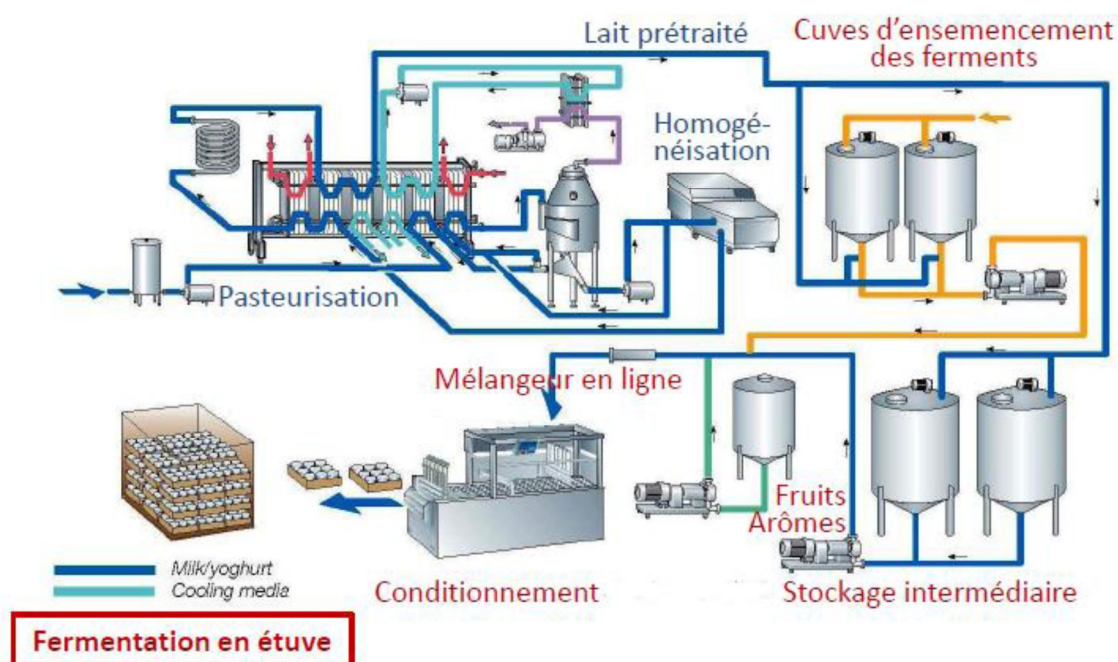
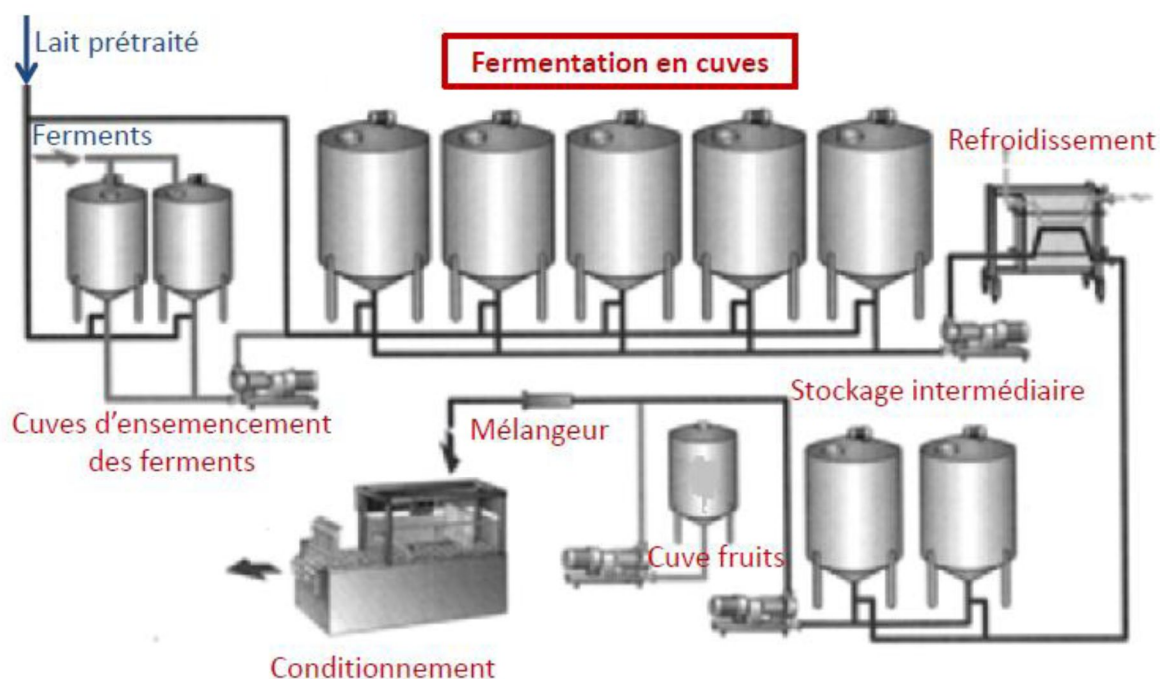


Figure 02 : Diagramme de fabrication du yaourt ferme (Bylund, 1995).

### 4.5.3. Fermentation du yaourt brassé

Le lait est maintenu dans un tank à une température entre 42 et 45°C. Après addition du levain, la fermentation se déroule dans le tank. Quand l'acidité désirée est atteinte (environ 1% d'acide lactique), le lait coagulé est brassé, puis refroidi dans un échangeur de température et conditionné dans des pots qui sont aussitôt stockés à 2 à 4°C (Bourgeois *et al.*, 1996). Dans le cas des yaourts avec des fruits, une partie du sucre est ajoutée avant la fermentation. L'autre

partie est apportée avec les préparations de fruits, ajoutées après refroidissement du caillé. La teneur du lait en saccharose, avant la fermentation, peut atteindre, voire dépasser, 8% et cela peut alors entraîner un ralentissement de la fermentation lactique (Tamime et Robinson, 2000).



**Figure 03 :** Diagramme de fabrication du yaourt brassé (Bylund, 1995).

### 4.6. Conservation des yaourts

Préparés selon une technologie rigoureuse et dans des conditions hygiéniques strictes, ces produits peuvent se conserver environ 3 semaines sous réserve d'être maintenus au froid. Au cours de la commercialisation, la température ne doit pas excéder 8°C. Dans les pays où la chaîne du froid du fabricant au consommateur n'existe pas, les délais de distribution et de consommation doivent être beaucoup plus courts (Dave *et al.*, 1998).

Si le maintien des yaourts au froid empêche la multiplication bactérienne, il n'arrête pas complètement leur activité métabolique. Bien que lente, la production d'acide lactique se poursuit, des enzymes hydrolysent les protéines avec, comme conséquences, une diminution de la fermeté et de la viscosité et l'apparition de peptides à goût amer. Pour ces raisons, on

procède parfois, quand la réglementation le permet, à un traitement thermique après la fermentation (Dave *et al.*, 1998).

### 5. Accidents de fabrication

On peut regrouper sous 3 catégories les principaux défauts rencontrés chez le yaourt: Défaut d'apparence, défaut de goût et défaut de texture (Tab 07, 08 et 09). Dans chaque catégorie on distinguera la nature du défaut et les causes possibles (Luquet, 1985).

**Tableau 07:** Défauts d'apparence du yaourt.

<b>Nature</b>	<b>Cause</b>
Décantation, synérèses	Sur acidification ou post acidification (mauvaise conduite de la fermentation : température trop élevée pendant le stockage, (conservation trop longue). Les Refroidissement trop faible. Agitation trop poussée et admission exagérée d'air (pour yaourt brassés), utilisation de pompe centrifuge Teneur en matière sèche trop faible.
Production de gaz	Contamination par des levures ou coliformes.
Colonies en surface	Contamination par levures ou moisissures.
Couche de crème	Mauvaise ou absence d'homogénéisation.
Produit sur le couvercle	Mauvaise manutention
Produit non homogénéisé	Mauvaise agitation (dans le cas de yaourts aux fruits).

## Les laits fermentés type yaourt

**Tableau 08:** Défauts de goût du yaourt.

<b>Nature</b>	<b>Origine</b>
Amertume	Trop longue conservation Activité protéolytique trop fort des ferments
Gout levure, fruité alcool	Contamination par des levures
Gout de moisi	Contamination par des moisissures Fruits de mauvaises qualités pour le yaourt aux fruits
Gout plat, absence d'arome	Mauvaise activité des levains (déséquilibre de la flore, trop de streptocoques, incubation trop court ou à trop basse température).
Manque d'acidité	Mauvaise activité des levains (déséquilibre de la flore, trop streptocoques, incubation trop courte ou à trop basse température).
Trop d'acidité	Mauvaise conduite de la fermentation (taux d'ensemencement trop fort, incubation trop longue ou à température trop élevée). Refroidissement pas assez poussé, trop lent. Conservation à trop haute température.
Rancidité	Contamination par des germes lipolytiques et traitements thermiques trop faibles.
Goût oxydé	Mauvaise protection contre la lumière
Goût de cuit	De Brûlon Traitement thermique trop sévère
Goût aigre	Mauvaise conduite des levains (contamination par une flore lactique sauvage-coliforme).
Goût gras	Teneur en matière grasse trop élevée.

## Les laits fermentés type yaourt

**Tableau 09** : Défauts de texture du yaourt.

Décolttage	Agitation ou vibration pendant le transport faisant suite à un refroidissement mal conduit en chambre froid (pour les yaourts fermes).
Manque de fermeté (pour les yaourts fermes)	Ensemencement trop faible Mauvaise incubation (temps et bu température trop faible) Matière sèche trop faible
Trop liquide (pour yaourt brassé)	Brassage trop violent Mauvaise incubation (temps trop faible) Mauvais ferments (pas assez filants ou épaississants)
(trop filants)	Mauvais ferments Trop filant Température d'incubation trop faible
Texture sableuse	Chauffage du lait trop important Homogénéisation à température trop élevée Poudrage trop fort Mauvais brassage Acidification irrégulière et trop faible
Texture granuleuse	Mauvais brassage Teneur en matière grasse trop élevée Mauvais choix dans les ferments

### 6. yaourt et nutrition

Le yaourt et autres laits fermentés sont une intéressante source alimentaire par sa richesse protéique, notamment pour les personnes âgées qui ont souvent des difficultés à atteindre les apports recommandés (Bourlioux *et al.*, 2011). Le yaourt permet l'absorption du lactose chez les sujets déficients en lactase. Plus récemment, le remplacement du lait par du yaourt a conduit à une amélioration significative chez des enfants souffrant de diarrhée persistante (Syndifrais, 1997). De plus il assure un apport plus important en certaines vitamines que le lait (Sodini et Béal, 2012).

**Chapitre III:**  
**Agents texturants des**  
**produits laitiers**

## 1. Introduction

La texture est souvent l'une des caractéristiques premières de la qualité d'un produit alimentaire appréciée par le consommateur et une source d'innovation. L'usage des polymères offre à la formulation de multiples possibilités de construire et de gérer la structure des produits par la création des réseaux gélifiés qu'ils permettent de mettre en place en milieu aqueux. Cela ne va pas sans une maîtrise conjointe des conditions de mise en œuvre, que ce soit :

- de l'environnement constitué par les autres éléments de la formulation (solvant, éléments dispersés...).
- des paramètres de procédés mis en œuvre pour la fabrication.
- des conditions de conservation et d'usage (Michon *et al.*, 2012).

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

En industrie alimentaire, il est d'usage d'ajouter aux mélanges au yaourt des agents stabilisants. Ces derniers ont pour but d'améliorer et de maintenir les caractéristiques désirées du produit final telles qu'une certaine fermeté, viscosité ou consistance, une texture adéquate et une sensation en bouche agréable. Les stabilisants généralement employés sont : la pectine, la gélatine, les Carraghénanes, le Xanthane, les amidons modifiés ainsi que la gomme de caroube. Un des critères pour choisir le stabilisant et son effet sur le goût et l'arôme du yaourt (Gentès, 2007).

### 1.1. Définition de la texture

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

## 2. Phénomène de la gélification

Les propriétés des macromolécules gélifiantes notamment celles de nature glucidique ont été depuis plusieurs années beaucoup étudiées; de nombreux chercheurs se sont préoccupés du mécanisme de la gélification et des caractéristiques des gels obtenus (Colonna *et al.*, 1986). Chaque coagulant possède ces caractéristiques propres de sensibilité au pH, à la température, aux ions calcium (Germonville, 2008).

## 2.1. Définition du gel

Les gels sont souvent définis comme des liquides qui ne coulent pas à l'échelle de temps de leur utilisation. Ils présentent donc un comportement de solide élastique (viscoélastique) lorsqu'ils sont au repos. Ils se caractérisent non seulement par leur fermeté (mesurée dans des conditions non destructurant) mais également par leurs propriétés à la rupture. (Michon *et al.*, 2012).

Du point de vue physicochimique, un gel se définit par sa structure microscopique comme un système diphasique constitué par un réseau macromoléculaire tridimensionnel de matière retenant une grande quantité d'eau (jusqu'à plus de 95% en masse le plus souvent) (Michon *et al.*, 2012).

## 2.2. Classification des gels

Selon (Michon *et al.*, 2012), on distingue:

- **les gels de polymères à chaîne étendue:** connectées par des zones de jonction dont la nature dépend des espèces macromoléculaires mises en jeu.
- **les gels particuliers:** réseaux formés par agrégation ou entassement de particules (gel particulaire). Chaque particule elle-même peut être constituée de polymère plus ou moins organisé en structure complexe (cas des micelles de caséines du lait, d'agrégats de protéines globulaires...).

## 3. les agents végétaux de texture

**Tableau 10 :** Origines et sources des agents végétaux de texture (Colonna et Thibaut, 1985).

	Origine			
	Protéique	Polysaccharidique		
<b>Source</b>	Colza Soja Tournesol, etc.	<b>Extraits d'algues marines:</b> Agar —Agar, Alginates (Algues brunes, Carraghénanes, (Algues rouges)	<b>Extraits de plantes terrestres:</b> Amidon, Guar, Caroube, Tara, Pectines	<b>Obtenus par fermentation :</b> Xanthane

### 3.1. Les protéines végétales

Les protéines végétales sont préparées à partir de graines oléagineuses (soja, colza, tournesol) ou légumineuses (fève, féveroles). Elles se caractérisent par leur taux supérieur à 45% sur sec et elles se présentent notamment sous forme de farine, de semoule, de protéines structurées, concentrées (70% de protéines sec), isolées (95% de protéines sur sec).

Les protéines végétales concentrées, ou isolées, définies par les dispositions réglementaires, sous forme de poudre, possèdent un intérêt technologique en tant que liant, émulsifiant, gélifiant, etc., des produits alimentaires pâteux (Moll, 1998).

### 3.2. Les polysaccharides

Le terme « polysaccharide » s'appliquera aux macromolécules de nature glucidique composées essentiellement d'oses liés par des liaisons glycosidiques. Les polysaccharides sont des macromolécules qui se dissolvent plus ou moins aisément dans l'eau pour aboutir à une augmentation importante de la viscosité et, dans certains cas, un effet gélifiant (Doublier, 1986; Gentès, 2007). Les polysaccharides peuvent être enchaînés, dans les macromolécules, sous forme linéaire (extraits d'algues), linéaire substituée (Galactomannanes, gomme Xanthane) ou branchée (gommes) (Moll, 1998).

## 4. Les amidons

### 4.1. Amidon natif

L'amidon est un polysaccharide d'origine végétale composé d'unités glucose  $C_6H_{12}O_6$ . Il est la principale substance glucidique de réserve des plantes supérieures (Wertz, 2011).

L'amidon est, après la cellulose, la principale substance glucidique synthétisée par les végétaux supérieurs à partir de l'énergie solaire. Il constitue une source énergétique indispensable à l'alimentation des êtres vivants et de l'homme en particulier où la moitié de l'amidon produit industriellement est destinée à l'alimentation humaine (Wertz, 2011; Malumba *et al.*, 2011).

À l'état natif, l'amidon est insoluble dans l'eau froide est constitué de granules dont la taille, la composition et les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles dépendent de l'origine botanique (Malumba *et al.*, 2011).

## Agents texturants des produits laitiers

L'utilisation d'amidon confère au produit fini un goût de céréale (Gentès, 2007). Les dérivés d'amidon sont caractérisés en fonction de leurs groupements fonctionnels et des degrés de substitution moyens obtenus (Valeur DS) (Amadôr *et al.*, 1993).

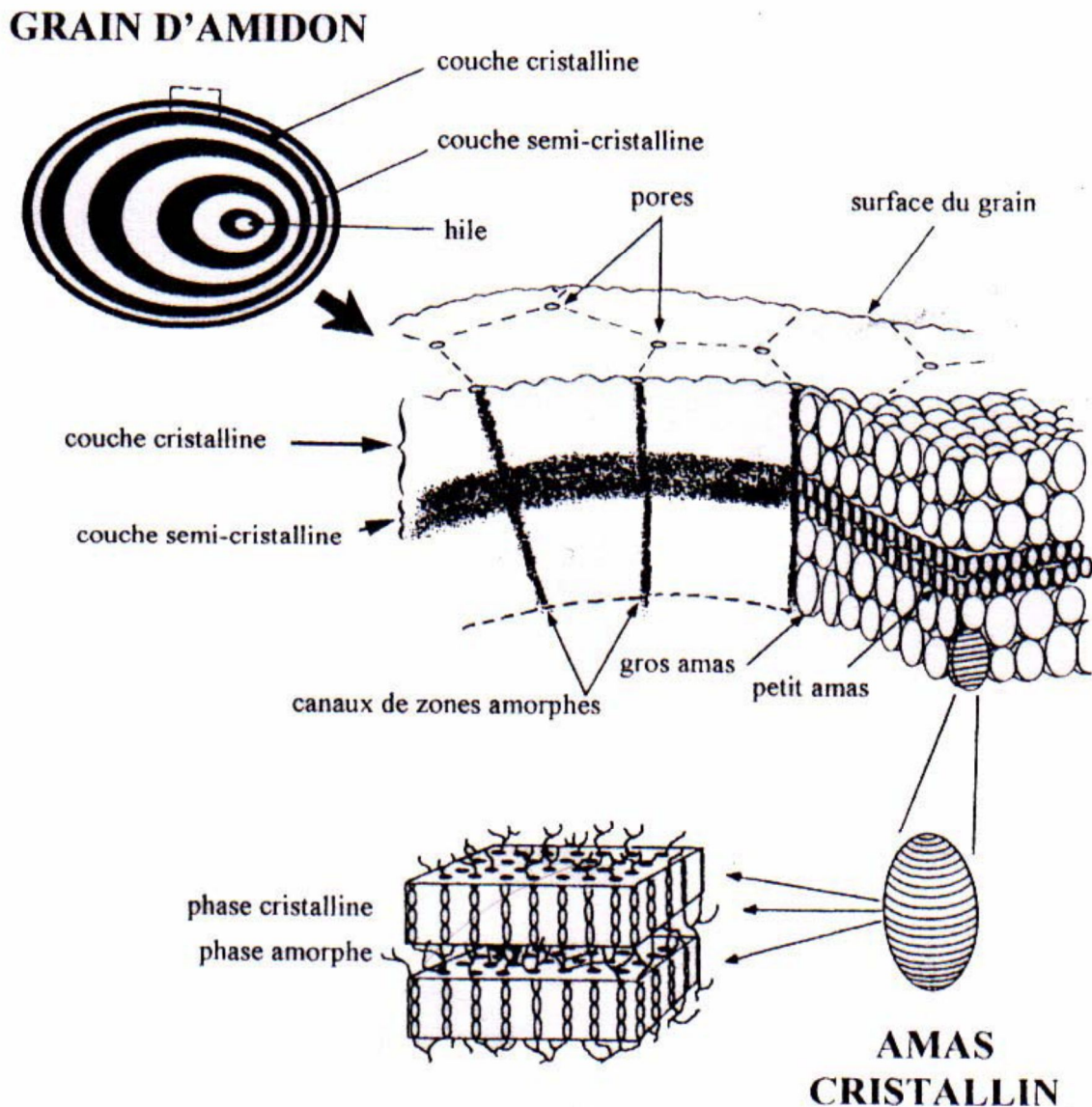
**Tableau 11** : Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques (Wertz, 2011).

Source botanique	Amylose (%)	Amylopectine (%)
Maïs	28	72
Pomme de terre	21	79
Blé	28	72
Maïs cireux *	0	100
Amylomaïs	50 – 80	50 – 20
Riz	17	83
Pois	35	65
Manioc	17	83

(\*) « cireux » s'applique aux variétés donnant un amidon exempt d'amylose

### 4.1.1. Structure physique et chimique

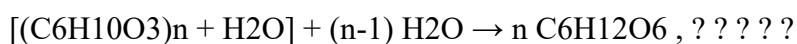
Il se présente sous la forme de grains formés de zones concentriques alternativement claires et sombres, entourant un centre plus foncé appelé « hile ». La grosseur, la forme et la structure des ces graines sont variables avec la plante dont provient l'amidon. Il n'existe donc pas un seul mais plusieurs amidons ayant des propriétés voisines, mais légèrement différentes selon leur origine (figure 04).



**Figure 04:** Structure et ultra structure d'un grain d'amidon

Source : (E.Leveque, B. Haye, A. Belarbi.2000) *l'amidon et ces dérivés*

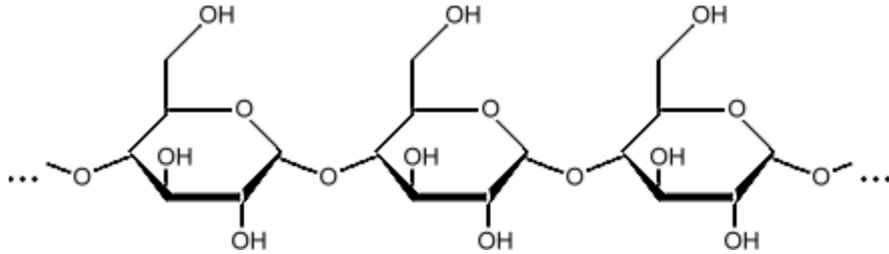
L'amidon est une molécule de poids moléculaire élevé. Son hydrolyse montre que celui ci est formé de molécules de glucose, liées entre elles par élimination de molécules d'eau. La formule brute est la suivante :  $(C_6H_{12}O_5)_n$ . La réaction d'hydrolyse peut alors se résumer par l'équation bilan suivante :



L'amidon est un polymère de glucose où les liaisons se font entre les fonctions alcools portées par les carbones 1, 4 et 6. En réalité les amidons sont constitués d'un mélange

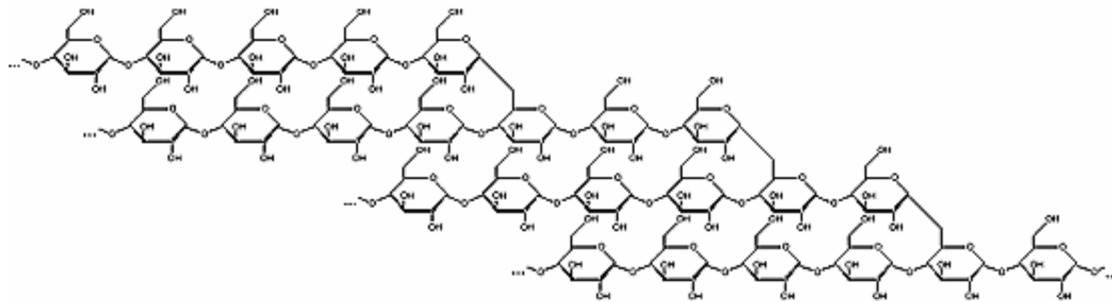
d'amylose (liaison 1-4) et d'amylopectine (liaison 1-6) qui permettent de réaliser des ramifications de l'arbre de l'amidon.

Les structures de l'amylose (figure N°05) et amylopectine (figure N°06) sont représentées dans les schémas ci dessous :



**Figure 05:** amylose

Source : <http://sci-toys.com/ingredients/starch.html>



**Figure 06:** amylopectine

Source : <http://sci-toys.com/ingredients/starch.html>

### 4.1.2. Propriétés physiques

L'amidon a, comme tout produit, des propriétés physiques qui lui sont propres (Regiant *et al.*, 1998).

Plusieurs facteurs entrent en jeu :

- Influence de la température : l'amidon est insoluble dans l'eau. Il forme, en revanche à chaud (70°C) une solution colloïdale qui épaisse en donnant un gel communément appelé empois.
- Température de gélification : la gélification commence graduellement à partir de 50°C mais est effective ensuite à une température dépendante de l'agitation moléculaire, de la grosseur des grains, de la nature de l'amidon, de l'eau employée et de la concentration en amidon.

- Effet stabilisant : l'épaississement ayant lieu à une température inférieure à celle de la coagulation du jaune d'œuf, les crèmes aux œufs contenant de l'amidon peuvent être portées à ébullition.

### 4.1.3. Propriétés chimiques

Les amidons sont influencés par trois types d'action : thermique, chimique et enzymatique.

- Action thermique : elle change la couleur et le goût de l'amidon par dextrinisation.
- Action chimique et enzymatique : les acides entraînent une hydrolyse partielle de l'amidon qui conduit à la formation de dextrans. Le gel formé est moins épais Cette hydrolyse est accélérée par une augmentation de température. L'amidon peut subir aussi l'action d'enzymes comme des enzymes végétales, ou animales (amylase) ou microbiennes.

On constate que les amidons natifs ont déjà beaucoup d'influence sur la texture cependant leur fragilité face à certains paramètres comme la température ont conduit à l'utilisation d'amidons modifiés.

Les traitements précédemment décrits mènent à la formation de corps plus simples comme des dextrans (D-glucose) et des maltoses. Les traitements de ces corps simples par ces mêmes traitements peuvent conduire à la formation d'amidons modifiés (Amani N.G., 2002).

### 4.1.4. Propriétés fonctionnelles de l'amidon

L'amidon est un matériau bon marché, et a beaucoup d'utilisations : comme épaississant, comme stabilisateur, comme agent gélifiant...etc.

La conformation spatiale de l'amidon contrôle ses propriétés physiques et chimiques.

En effet, on sait que la région amorphe est beaucoup plus accessible à l'attaque des réactifs que la région cristalline (Regiant *et al.*, 1998) .De ce fait, il est préférable de traiter préalablement l'amidon de manière à rompre les liaisons hydrogène intra et intermoléculaire et ainsi le modifier chimiquement. Ce traitement doit permettre de rompre les liaisons hydrogène de l'amidon de manière à ce que les hydroxyles soient libres et donc plus réactifs.

### 4.1.5. Interactions amidon-autres constituants du yaourt

Les protéines lactiques, les minéraux et les polysaccharides peuvent être en compétition avec l'amidon pour les molécules d'eau. Dans le yaourt, l'amidon, molécule neutre, ne semble pas

interagir avec la matrice caséique, mais plutôt se comporter comme une molécule active liant l'eau et piégée dans les pores du réseau caséique (Gentès, 2011).

### 4.2. Les amidons modifiés

Les premières modifications chimiques visant à réticuler l'amidon furent réalisées après 1940 : le but recherché était de modifier la texture du maïs cireux pour la rendre équivalente à celle du manioc.

Les modifications de l'amidon ont été ensuite développées pour « corriger » les défauts des amidons natifs, c'est-à-dire pour les adapter aux besoins des industriels de l'alimentation et aux exigences des consommateurs (Boursier, 2008).

Deux grands types de réaction peuvent être distingués :

- réactions qui modifient la masse moléculaire du polymère : réactions de dégradation et réactions de réticulation.
- réactions qui modifient les propriétés (sans modification majeure de leur masse moléculaire) : réactions de stabilisation et réactions de fonctionnalisation (Boursier, 2008).

Il existe différentes technologies qui permettent d'obtenir des amidons modifiés en changeant la structure de base d'une molécule d'amidon.

Les amidons modifiés sont des substances obtenues au moyen d'un ou plusieurs traitements chimiques d'amidon alimentaire. Ils peuvent avoir été soumis à un traitement physique ou enzymatique, et peuvent être blanchis ou fluidifiés par traitement acide ou alcalin.

#### 4.2.1. Action de la chaleur et traitement acide

L'action conjuguée de l'acidité et de la température ( $>100^{\circ}\text{C}$ ) permet une hydrolyse efficace. Les coupures des chaînes d'amidon se font au hasard, d'où une action liquéfiant entraînant une diminution brutale de la viscosité.

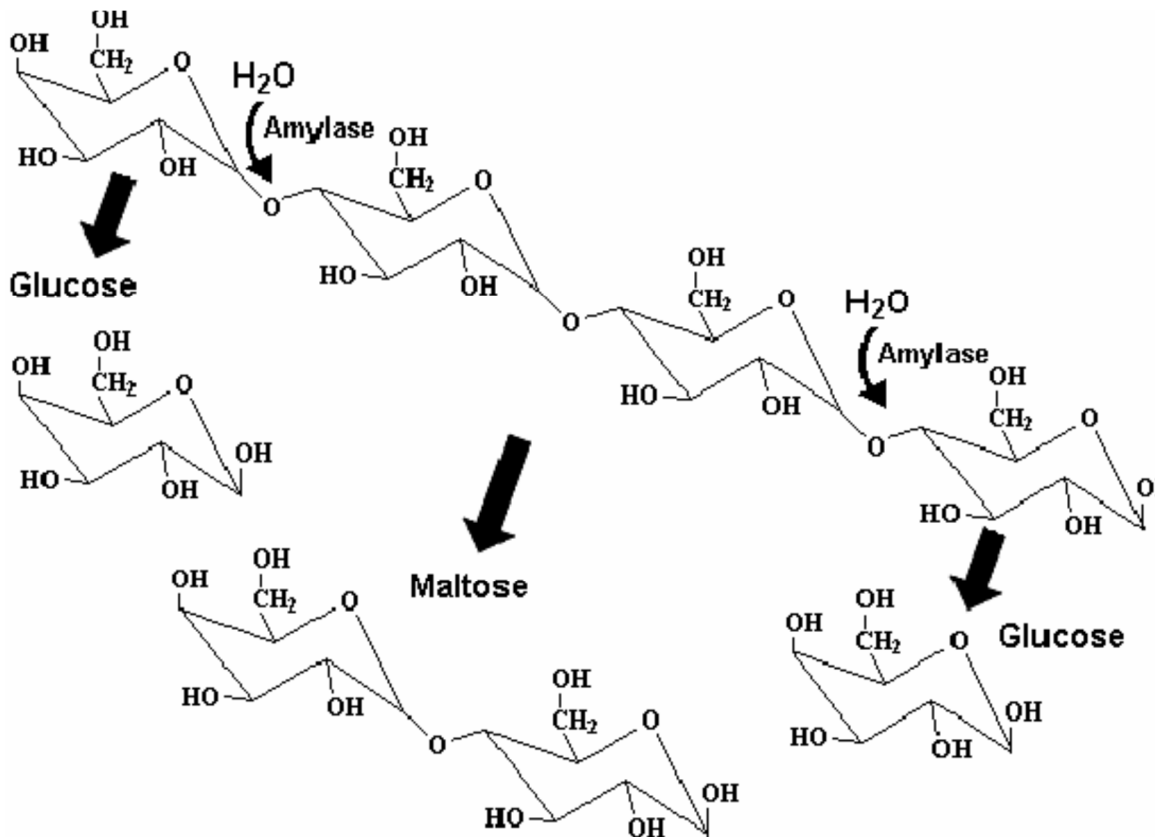
Ces deux technologies permettent aux amidons d'être solubles dans l'eau froide, et d'obtenir des préparations dont l'épaississement reste modéré (Multon.1992).

#### 4.2.2. Traitement enzymatique

Il permet une plus large diversité dans la composition glucidique. L'amidon est hydrolysé par différentes espèces d'amylase (figure 07) :

## Agents texturants des produits laitiers

- L'alpha amylase : elle coupe les liaisons 1-4 des amyloses, au hasard, c'est une enzyme liquéfiante.
- La bêta amylase : elle libère surtout du maltose par rupture des liaisons 1-4 : hydrolyse saccharifiante, son action est stoppée au niveau des ramifications (1-6) de l'amylopectine.
- L'amylo 1-4 glucuronidase : utilisé dans la fabrication du dextrose (J.L.MULTON.1992) : elle libère du glucose (dextrose) par rupture des liaisons (1-4)



**Figure 07:** digestion de l'amidon par l'amylase

Source : <http://www3.sympatico.ca/biologie534/objectif10.htm>

Nous pouvons classer les grains d'amidon en trois classes selon leur sensibilité aux attaques enzymatiques :

- ceux qui sont facilement attaqués (manioc),
- ceux qui résistent (maïs riche en amylose, pomme de terre)
- ceux dont la sensibilité est intermédiaire (maïs, orge et tapioca).

Les différences sont dues à la plus ou moins grande compaction des chaînes de l'amidon, qui détermine la capacité de diffusion des enzymes à l'intérieur du grain d'amidon. Cela est en

accord avec le fait que l'amidon solubilisé est toujours plus sensible aux enzymes que l'amidon natif. En effet, lorsque l'amidon est solubilisé, les molécules d'amylose et d'amylopectine sont dispersées dans le solvant et donc accessibles aux enzymes. En revanche, dans l'amidon natif, ces molécules sont "organisées", compactes et donc difficilement accessibles aux enzymes. (E.Leveque, B. Haye, A. Belarbi.2000)

### 4.2.3. Traitements chimiques

Les amidons natifs supportent mal les températures élevées, les cuissons prolongées, l'appertisation. Ils peuvent aussi à la longue, dans un milieu légèrement acide, perdre leur pouvoir de liaison. De plus, le phénomène de rétrogradation, traduisant l'expulsion d'une molécule d'eau, est d'autant plus rapide que la température est basse ; ce qui rend ces amidons peu aptes à la fabrication des produits surgelés. (E.Leveque, B. Haye, A. Belarbi.2000)

Afin de palier à ces inconvénients, on utilise les « amidons modifiés » qui peuvent se présenter : (<http://membres.lycos.fr/tomouche/fichiers/amidonnerie.htm>)

- sous la forme réticulée, par des ponts créés entre les molécules afin de renforcer les ponts hydrogènes déjà présents.

Ils sont très adaptés :

- aux aliments qui subissent des cuissons à température élevée car les liaisons chimiques sont plus stables que les liaisons hydrogènes,

- aux aliments qui subissent des forces de cisaillement car la réticulation diminue leur fragilité

- et aux aliments acides dans lesquels les amidons natifs ont une forte tendance à s'hydrolyser.

- sous la forme stabilisée, par réaction des groupes hydroxyles de l'amidon avec des agents monofonctionnels pour introduire des groupes de substitution.
- Le but de ce traitement est de stabiliser l'amylose contre la rétrogradation et d'éviter l'association intermoléculaire des fractions d'amylopectine.
- Il s'agit d'amidons tels que l'acétate d'amidon, les monophosphates, les éthers d'hydroxypropyle.
- Ils se trouvent dans les aliments subissant un long stockage à basse température car le greffage d'hydroxyle augmente les phénomènes de répulsion entre les chaînes et minimise le phénomène de rétrogradation décrit précédemment.
- sous la forme oxydée, comme les amidons blanchis. Ils sont traités avec de faible quantité d'agent oxydant. Ce traitement est directement dirigé vers le blanchiment des impuretés colorées associées à l'amidon. Il consiste en l'ajout d'hypochlorite de

sodium. Ces amidons offrent une large variété de fluidité: plus le taux d'hypochlorite augmente, plus la fluidité augmente.

- sous la forme spécifique, portant des charges ou non. Ces amidons sont fabriqués pour des usages bien précis, les plus importants sont: les amidons anioniques, cationiques, bipolaires et fluidifiés.
- Les deux premiers concernent le secteur de la papeterie ; en revanche, les deux derniers interviennent dans l'industrie agroalimentaire.
- Le bipolaire permet de jouer un rôle stabilisant d'émulsion, en diminuant dans les produits alimentaires le relargage des matières grasses. Les fluidifiés sont recherchés pour la fabrication de confiseries gélifiées.

Les traitements cités précédemment sont les plus utilisés, cependant, il existe d'autres techniques moins connues telles que la technique par irradiation.

### 4.2.4. Traitements par irradiation

Cette technique très récente (Multon.2002) permet la production d'amidons modifiés, par traitement aux rayons gamma. L'utilisation de cette méthode est couplée à l'action de peroxydes inorganiques. Ces deux éléments sont indissociables, l'absence d'un de ces deux éléments diminue la viscosité mais ne la stabilise pas. Par exemple, la combinaison d'ammonium et de rayons gamma a montré que la viscosité diminuait et était stabilisée.

Des tests ont été réalisés sur des amidons provenant de maïs.

## 4.3. Classification des amidons modifiés et propriétés

Les amidons modifiés font partie de la catégorie des agents de texture.

La texture est une caractéristique fondamentale d'un produit alimentaire. Dans les aliments "simples" (fruits, légumes, viande), elle contribue à leur spécificité au même titre que l'arôme et le goût. Dans les aliments complexes, elle peut être modifiée ou créée par un additif. C'est alors que des polyosides épaississants, gélifiants et stabilisants peuvent être utilisés.

### 4.3.1. Nature et origine

Il y a plus de 30 polyosides répertoriés à l'Union européenne avec un code E---- attribué de façon précise.

## Agents texturants des produits laitiers

**Tableau 12** : Principaux polyosides utilisés comme épaississants, gélifiants ou stabilisants (Colonna,2001.).

	Carraghénanes	Alginates	Pectines	Xanthane	Caroube	Amidons Modifiés
Code	E 407	E 401	E 440	E415	E 410	E 1400
Fonction	Gélifiant	Epaississant Et gélifiant	Gélifiant	Epaississant	Epaississant	Epaississant
Origine	Algues	Algues	Pomme / Citron	Fermentation	Graines	Graines et Tubercules

Comme nous pouvons le voir sur le tableau 3, parmi les polyosides, nous distinguons :

- Les polyosides naturels
- Les polyosides modifiés ou semi-synthétiques, dérivés chimiques des premiers (Amidons et cellulose modifiés)

Tous ces produits sont des polymères, avec généralement des poids moléculaires élevés.

Ils sont constitués d'enchaînement de sucres portant des substituant tels que les fonctions acides, carboxyliques, acétyles...etc. Ces molécules sont appelées également des hydrocolloïdes. Pour expliquer la fonction des amidons modifiés, nous avons choisi de décrire ces hydrocolloïdes d'une façon générale. Les hydrocolloïdes sont des molécules qui, à faible dose, sont capables de lier une quantité importante d'eau, et par la présence de la phase aqueuse du produit alimentaire de modifier son comportement. Cette modification rhéologique dépend également de la molécule : longueur, rigidité, possibilité d'association.

### 4.3.2. Les différents types d'amidon modifié

L'amidon modifié fait partie des épaississants ; il en existe actuellement 11 différents qui peuvent provenir entre autre du maïs, du blé, du riz, de la pomme de terre sont repris par le (Système international de numérotation des additifs alimentaires) :

- E 1404 : Amidon oxydé,
- E 1410 : Phosphate d'amidon,
- E 1412 : Phosphate de diamidon,
- E 1413 : Phosphate de diamidon phosphaté,
- E 1414 : Phosphate de diamidon acétylé,
- E 1420 : Amidon acéthylé,

## Agents texturants des produits laitiers

---

- E 1422 : Phosphate de diamidon acétylé,
- E 1440 : Amidon Hydroxypropylé,
- E 1442 : Phosphate de diamidon Hydroxypropylé,
- E 1450 : Octényle succinate d'amidon sodique,
- E 1440 : Amidon oxydé acétylé.

Même s'ils peuvent tous être utilisés, certains présentent des inconvénients. Ils peuvent faire obstacle à l'assimilation de calcium (E 1410 : Phosphate d'amidon, E 1412 : Phosphate de diamidon, E 1413 : Phosphate de diamidon phosphaté, E 1414 : Phosphate de diamidon acétylé, E 1442 : Phosphate de diamidon Hydroxypropylé). (AVIS ANSES,2011)

L'évolution des procédés alimentaires et des attentes des consommateurs a contribué au développement de l'utilisation des additifs en technologie alimentaire.

Afin d'en contrôler l'utilisation et de préserver la santé publique, le besoin d'une réglementation a émergé et les autorités nationales, européennes et internationales ont alors entrepris d'établir une réglementation spécifique aux additifs alimentaires.

Différents additifs alimentaires peuvent avoir la même fonction. En réalité, chacun d'eux présente des caractéristiques et des performances différentes. Par exemple, ils ne présentent pas tous la même stabilité à la température ou à l'acidité du milieu. Leur solubilité peut se faire de façon sélective dans l'huile ou dans l'eau. Certains sont utilisés en synergie pour améliorer leur efficacité.

Le choix d'un additif alimentaire est donc gouverné par les caractéristiques de l'additif alimentaire mais aussi par la nature et la fonction de la denrée alimentaire ainsi que pour son mode de fabrication.

L'existence d'une large gamme d'additifs alimentaires permet à l'industrie alimentaire de disposer de la flexibilité nécessaire en termes de formulations de produits, pour répondre aux attentes des consommateurs. La richesse de l'éventail des substances autorisées est un gage de sécurité supplémentaire dans la mesure où elle permet d'utiliser la substance la mieux adaptée au processus de fabrication concerné.

### 4.3.3. Conditions optimales d'utilisation d'un hydrocolloïde

#### a. Solubilisation et dispersion

La première étape d'une bonne utilisation des hydrocolloïdes consiste, à faire en sorte que chaque grain arrive individuellement au contact de la phase aqueuse, et réagisse sans risque de s'agglomérer aux autres grains pour former des grumeaux. C'est la dispersion.

Dans un second temps, il faut passer du grain à la molécule individualisée : c'est la solubilisation. Pour cela, il faut que chaque macromolécule s'hydrate et se sépare des autres.

La solubilisation est réalisée et totale, lorsque la dernière macromolécule du grain se retrouve seule.

La solubilisation passe donc par l'hydratation du grain. Au contact de l'eau, suivant l'état de surface du grain et la nature des macromolécules présentes, le grain s'hydrate et gonfle.

Il dépend alors de la composition chimique :

- Chaîne linéaire ou ramifiée : les chaînes linéaires ont tendance à s'associer tandis que les chaînes ramifiées sont plus favorables à la solubilisation.
- Possibilité de liaisons le long de la chaîne. Les charges de même type ont tendance à écarter les chaînes.

La présence de ces grains gonflés dans la phase aqueuse, modifie sa mobilité. Lorsque les macromolécules sont associées dans le grain, il est nécessaire, pour les dissocier, de casser les liaisons, en apportant de l'énergie par agitation mécanique et surtout thermique. Suivant la nature et le nombre de liaisons, la température d'hydratation et de solubilisation est différente.

Dans le cas particulier de l'amidon, la texture caractéristique apportée par l'amidon, est due aux grains gonflés, obtenus à la température d'empesage (Empesage : l'action d'empeser revient à « apprêter » du linge avec de l'empois (gel d'amidon) Celle-ci peut être retardée en créant des liaisons entre les macromolécules (réticulation).

Leur rupture nécessite un apport supplémentaire d'énergie et la température d'empesage sera plus élevée (Colonna (P.), 1998.).

#### b. Influence du traitement

Au cours du procédé de préparation du produit alimentaire, les hydrocolloïdes subissent un certain nombre d'agressions (mécaniques, thermiques, chimiques) liées au procédé choisi pour sa préparation. Ces agressions peuvent modifier leurs propriétés. En particulier, leurs

molécules peuvent subir une dépolymérisation qui entraîne, dans le cas des épaississants comme les amidons modifiés, une diminution de la viscosité.

- Actions mécaniques : si les molécules se trouvent à l'état gonflé comme les amidons, alors, la taille des grains les rend très fragiles aux actions mécaniques. La viscosité apportée par la gêne à la mobilité des grains gonflés, va être modifiée en conséquence. Ces ruptures mécaniques s'accompagnent souvent d'une solubilisation partielle des macromolécules d'amidon, entraînant une modification du système rhéologique.
- Actions thermiques et chimiques : la viscosité diminue lorsque la température augmente. Suivant leur nature, les macromolécules sont plus ou moins sensibles au milieu qui les entoure. L'acidité que l'on rencontre dans certaines préparations alimentaires provoque, par exemple, une dépolymérisation des macromolécules. Les réactions dépendent de la sensibilité vis-à-vis de la dépolymérisation, de l'agressivité du milieu, des températures atteintes au cours du traitement et du temps de maintien à cette température.

Une fois « traité » l'aliment est conditionné, c'est à ce moment qu'apparaît la texture.

Suivant le type de produit, le conditionnement se fait :

- A chaud, pour diminuer les risques de contamination au cours du conditionnement,
  - A froid, dans ce cas, le texturant est choisi parmi les épaississants non thixotropes.
- (DOUBLIER J.L., 1981)

### **Remarque :**

(thixotropes : gel qui se liquéfie lorsqu'il est agité et retrouve sa consistance initiale au repos.).

### **c. Conservation des propriétés jusqu'à la consommation**

Les macromolécules présentes dans la phase aqueuse, responsables de la tenue du produit, se trouvent, pendant toute la durée de vie du produit, dans un environnement physicochimique susceptible d'influencer leurs propriétés.

Pour les amidons riches en amylose, la linéarité des molécules leur permet de se rapprocher, entraînant le rétrécissement de la structure ; ce qui a pour conséquence :

- Une modification de la structure de la texture vers un durcissement

- Et l'évacuation d'une quantité plus ou moins importante de phase aqueuse initialement comprise entre les macromolécules.

Pour conclure, le choix d'un hydrocolloïde prend en compte la compatibilité avec le milieu, les traitements thermiques et mécaniques, les conditions de maintien, la propriété recherchée, mais aussi la législation en vigueur. Cependant avant de passer à la législation, nous allons nous intéresser aux aliments faisant appel aux amidons modifiés. (Mercier, C. 1968).

### 4.3.4. Les aliments contenant de l'amidon modifié

Les préparations alimentaires contenant des amidons modifiés sont très variées. Pour mieux comprendre la grande gamme d'utilisation de ces amidons, nous allons décrire quelques produits que fabrique l'un des leaders de la fabrication d'amidons modifiés : l'entreprise National Starch & Chemical (Doublier (J.L.) 1992.).

Les secteurs concernés par l'utilisation d'amidon modifié sont nombreux : boulangerie et pâtisserie, boissons, produits laitiers, infantiles, préparations à base de poisson ou de viande.

Les propriétés apportées par ces amidons modifiés sont de différents types : viscosité et stabilité (produits laitiers), influence sur la texture et la rhéologie, amélioration de la sensation en bouche (visée par exemple dans la nourriture pour enfant) et de l'aspect visuel (nappage). Ce secteur est en perpétuelle évolution et de nombreuses innovations arrivent régulièrement sur le marché.

Par exemple, l'entreprise Cerestar, qui fabrique des texturants alimentaires, a proposé récemment des amidons modifiés solubles à froid. Ces amidons ont la particularité d'avoir les mêmes propriétés que les amidons modifiés à cuire, comme, entre autre, la résistance aux forces de cisaillement. Ils peuvent être utilisés en biscuiterie, pâtisserie, ou nourriture infantile. Ces amidons sont également adaptés pour les produits épaissis destinés aux personnes souffrant de troubles de la déglutition (Doublier (J.L.) .2001.).

Unipex distribue, quant à lui, des amidons modifiés de pomme de terre pour les produits laitiers, conférant aux yaourts un aspect crémeux et appétissant (Doublier (J.L.) .2001.).

Récemment, National Starch a proposé, sur le marché, un amidon « spécial nouille » : cet amidon, à base de manioc, « promet une augmentation des rendements de cuisson, une meilleure processabilité et un contrôle plus efficace des paramètres du produit fini Il peut remplacer entre 10 et 15 % de la farine de blé... » (Duprat (F.) ,1980.). Même si cette

innovation prend un aspect tout à fait commercial, il faut reconnaître que l'utilisation de ces amidons modifiés apporte des avantages à la qualité nutritionnelle de certains aliments.

### 4.3.5. Amidons et OGM

L'optimisation des qualités des amidons, en vue de leur utilisation industrielle, est une autre perspective d'utilisation importante des OGM (Organismes Génétiquement Modifiés).

Les travaux dans cette direction, sont déjà avancés, en ce qui concerne notamment, le maïs.

En effet, l'amidon du grain de maïs « normal » contient 25 % d'amylose et 75 % d'amylopectine. Les modifications génétiques permettent de modifier ces proportions et donc de contrôler la qualité de l'amidon (taille des granules, viscosité...) et de l'adapter le plus rapidement possible, aux applications industrielles, diminuant d'autant les traitements intermédiaires, coûteux et polluants.

Les amidons modifiés susceptibles de provenir de « maïs génétiquement modifié » sont nombreux : amidon oxydé, phosphate d'amidon, amidon acétylé, hydroxypropylé, succinate d'amidon... (Fueres (P.), 1998.).

**ETUDE**  
**EXPERIMENTALE**

# **Chapitre I :**

## **Matériel et méthodes**

## 1. Méthodologie

Le travail est réalisé au niveau du Laboratoire des Sciences et Techniques de Production Animales LSTPA affilié à l'université de Mostaganem. Certaines analyses ont été effectuées au laboratoire de la Laiterie Errawda de Mostaganem et au laboratoire d'analyses AFAK Contrôle Oran.

La méthodologie de cette étude « effet de substitution de la poudre de lait par un système fonctionnel dans la fabrication d'un lait fermenté type yaourt brassé » est répartie en quatre étapes :

- Un contrôle de leur valeur marchande de la matière première destinée aux essais (MG et MP pour la poudre de lait) et (dosage de l'amidon total, amylose et amylopectine)
- Essais de fabrication et comparaison des essais avec le témoin
- Une caractérisation physico-chimique comparative à mettre en œuvre (tenant compte des doses à utiliser)

Etude sensorielle pour étudier l'impact de substitution de la poudre de lait par l'amidon : sur les propriétés rhéologiques et sensorielles des laits fermentés.

## 2. Matière première

### 2.1. Poudre de lait

Dans nos essais de fabrication du yaourt on a utilisé deux(02) types de poudre de lait : L'une à une teneur de matière grasse de 26% appelée la poudre de lait entière, L'autre appelée la poudre de lait écrémée dont la teneur en matière grasse ne dépasse pas 1,25% (elle est sous appellation la poudre de lait 0% matière grasse).

### 2.2. L'Eau de reconstitution

L'eau utilisée pour la reconstitution du lait est une eau traitée , qui a été contrôlé microbiologiquement.

### 2.3. Le Sucre

Le sucre en poudre utilisé est conditionné dans des sacs de 500 g et 1000 g.

### 2.4. Le ferment

On a utilisé un levain préparé dans le laboratoire à partir de ferments JOINTEC CSL ITALIE fournis par la SARL laitière Errawda Mostaganem.

### 2.5. L'amidon

On a utilisé deux types d'amidon :

-L'amidon natif correspond au produit brut, extrait sans modification de la molécule.

-L'amidon modifié(E1442) est traité avec de l'oxyde de phosphore et de l'oxyde de propylène. Cet ingrédient est inclu dans la norme internationale du Codex Alimentarius (FAO) en tant que stabilisant, épaississant, liant et émulsifiant, et est destiné à une vaste gamme de denrées alimentaires différentes, généralement sans limite de dosage autre que celles jugées nécessaires par le fabricant (Annexe E)

## 3. Préparation du yaourt

Pour préparer 1L de yaourt brassé (58g poudre du lait 26% ,117g poudre de lait 0% , 90g sucre et ajouter 735ml l'eau aux ingrédients jusqu'à l'obtention d'un mélange liquide)

- Mélangez les ingrédients motionnés précédemment dans une casserole et placez-le sur le feu, puis avec un mixeur, mélangez les ingrédients pour rendre le mélange homogène. Arrêtez le processus lorsque le niveau de pasteurisation atteint 95 °C
- On refroidit le mélange jusqu'à ce qu'il atteigne 45 °C et le laisse quelques secondes à température 45 °C étuve
- Après avoir ajouté les ferments lactiques et les arômes, bien mélanger, puis videz-le dans des pots spéciaux et laissez-le fermenter pendant 4 heures dans l'étuve, puis conservez-le au réfrigérateur.

### 3.1. Préparation du lait pour yaourt avec système fonctionnel à 1,5%.

**Tableaux 13 :** Essais de préparation (systèmes fonctionnels à 1,5%)

Préparation Yaourt brassé	Poudre de lait 26%kg/l	Poudre de lait 0%kg/l	Amidon natif kg/l	Amidon modifié kg/l	Sucre kg/l	Eau l
100%lait reconstitué	0,058	0,117	0	0	0,09	0,735
Avec amidon natif à 1.5%	0,058	0,1	0,015	0	0,09	0,735
Avec amidon modifié à 1.5%	0,058	0,1	0	0,015	0,09	0,735

### 3.2. Préparation du lait pour yaourt avec système fonctionnel à 1%.

**Tableau 14 :** Essais de préparation (systèmes fonctionnels à 1%)

Préparation Yaourt brassé	Poudre de lait 26%kg/l	Poudre de lait 0% kg/l	Amidon natif kg/l	Amidon modifié kg/l	Sucre kg/l	Eau l
100%lait reconstitué	0,058	0,117	0	0	0,09	0,74
Avec amidon natif à 1%	0,058	0,1	0,01	0	0,09	0,74
Avec amidon modifié à 1%	0,058	0,1	0	0,01	0,09	0,74

### 3.3. Préparation du lait pour yaourt avec système fonctionnel à 0,5%.

**Tableau 15 :** Essais de préparation (systèmes fonctionnels à 0,5%)

Préparation Yaourt brassé	Poudre de lait 26%kg/l	Poudre de lait 0% kg/l	Amidon natif kg/l	Amidon modifié kg/l	Sucre kg/l	Eau L
100%lait reconstitué	0,058	0,117	0	0	0,09	0,74
Avec amidon natif à 0.5%	0,058	0,1	0,005	0	0,09	0,74
Avec amidon modifié à 0.5%	0,058	0,1	0	0,005	0,09	0,74

### 4. Les analyses physico-chimiques

#### 4.1. Détermination du pH

Ce test nous renseigne sur l'état de fraîcheur du lait. Il est réalisé par trempage de la sonde du pH- mètre dans un bécher contenant 10 ml du lait. La lecture des résultats se fait directement à partir de l'affichage sur le cadran du pH-mètre.

#### 4.2. Détermination de la densité

##### Définition

La densité du lait est une grandeur sans dimension qui désigne le rapport entre la masse d'un volume donné de lait à 20°C et la masse du même volume d'eau (Pointurier, 2003).

##### Principe

La densité est déterminée à 20°C par lactodensimètre.

##### Mode opératoire

- Verser le lait dans l'éprouvette tenue inclinée afin d'éviter la formation de mousse ou de bulles d'air,
- Remplir l'éprouvette jusqu'à un niveau tel que le volume restant soit inférieur à celui de la carène de lactodensimètre (il est commode de repérer ce niveau par un trait de jauge sur l'éprouvette),
- L'introduction de lactodensimètre dans l'éprouvette pleine de lait provoque un débordement de liquide, ce débordement est nécessaire, il débarrasse la surface du lait des traces de mousse qui gêneraient la lecture,
- Placer l'éprouvette ainsi remplie en position verticale, il est recommandé de la plonger dans le bain à 20°C lorsque la température du laboratoire n'est pas comprise entre 18°C et 22°C,
- Plonger doucement le lactodensimètre dans le lait en le maintenant dans l'axe de l'éprouvette en le retournant dans sa descente jusqu'au voisinage de sa position d'équilibre,
- Attendre 30 secondes à une minute avant d'effectuer la lecture de la graduation

- Après stabilisation du thermo-lactodensimètre, lire la graduation apparente au niveau supérieur de la tige (D1)
- Tirer thermo-lactodensimètre et lire la température de liquide(T)
- Pour l'expression directe :  
La densité est calculé selon la formule suivante ;  $D = D1 + 0.2(T - 20)$   
D1=Densité mesurée.  
T=Température mesurée.

### Expression des résultats

En cas de différence de température les corrections suivantes sont à faire :

Si le lactodensimètre est lecture doit être faite de façon suivante

- Si la température du lait au moment de la mesure est supérieure à 20°C, augmenter la densité lue de 0.0002 par degré au-dessus de 20°C.
- Si la température du lait au moment de la mesure est inférieure à 20°C, diminuer la densité lue de 0.0002 par degré au-dessous de 20°C.

### 4.3. Détermination de l'Extrait Sec Total par dessiccateur Infra-Rouge

#### Principe

La détermination de l'Extrait Sec Total (EST) du produit se fait par évaporation pendant 10 min pour le produit fini et 15min pour le produit semi fini. L'EST représente la perte de masse du produit lors d'une dessiccation à une température de 105 °C.

#### Mode opératoire

- Mettre le dessiccateur en marche.
- faire la tare pour que l'écran indique exactement zéro.
- Peser environ 3,0 gramme avec étalement de produit dans la coupelle.
- baisser le couvercle et la dessiccation commence automatiquement.
- Le résultat de la dessiccation s'affiche en pourcentage massique (m/m)



**Figure 08** : Dessiccateur(KERN)

### 4.4. Détermination de l'acidité titrable

#### Définition

L'acidité titrable du lait est exprimée en gramme d'acide lactique par litre de lait (AFNOR, 1985).

#### Principe

Titration de l'acidité par l'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur.

- A l'aide d'une pipette graduée introduire 10ml du lait dans un bécher
- Ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine
- Titrer par une solution de NaOH (0.1N) jusqu'à apparition de la coloration rose

Le calcul de l'acidité Dornic se fait de la formule suivante :

$1^{\circ}D = 0.1 \text{ g d'acide lactique dans } 1\text{L de lait.}$

### 4.5. Détermination de matière grasse (MG) par méthode GERBER

#### Principe

Les protéines sont dégradées par l'acide sulfurique ( $d=1.82$ ), et la chaleur produite fait fondre la matière grasse. L'alcool iso-amylique ( $d=0.81$ ) aide à la séparation de la matière grasse. La centrifugation permet la séparation des phases grasse et aqueuses.

### 4.6. Détermination de la viscosité

#### Principe

La mesure de la viscosité nous renseigne sur la consistance du yaourt. Elle est mesurée par un viscosimètre Brookfield pour les yaourts en utilisant l'aiguille pénétrante. La mesure de la viscosité se fait à 24 heures +/- 6 heures après la production et après refroidissement du produit à 10°C. L'analyse se fait également à 10°C.



Figure 09: viscosimètre Brookfield

#### Mode opératoire :

- Mettre en route le viscosimètre et vérifier l'horizontalité à l'aide de la bulle du niveau.
- Remettre à zéro, et régler la vitesse : pour le yaourt ferme on utilise la vitesse 2.5 tours/minute et on allume la lumière qui indique l'enfoncement de l'aiguille au cours de l'analyse.
- Faire descendre l'aiguille vers la surface du produit ou l'enfoncer dans le produit jusqu'au repère indiqué au dessus du disque.
- Démarrer l'analyse et laisser tourner pendant 45 secondes.
- Lire le résultat et multiplier avec le coefficient multiplicateur 4000.
- La viscosité est exprimée en centipoises.

### 5. Les analyses microbiologiques

#### 5.1. Préparation des dilutions

Dans un flacon de 250ml stérile, on verse aseptiquement 25 ml de yaourt et 225ml de diluant TSE.

A l'aide d'une pipette graduée, on prélève 1 ml de produit à analyser qu'on met dans un tube de 9 ml d'eau physiologique. On obtient ainsi la dilution  $10^{-1}$  ou 1/10 et à partir de cette dernière on prend 1 ml qu'on mélange avec 9 ml d'eau physiologique. Pour obtenir la dilution  $10^{-2}$  et ainsi de suite jusqu'à la dilution  $10^{-4}$

Ainsi l'opération est répétée pour les trois expériences su-citées.

**Tableau 16 :** analyses microbiologique de yaourt

Germes recherchés	Milieu utilisé	T° d'incubation	Durée d'incubation
Coliformes totaux	Désoxycholate	37 °C	24 à 48h
Coliformes fécaux	Désoxycholate	44 °C	24h
Levures et Moisissures	OGA	25 °C	5 jours
Germes totaux	PCA	30 °C	3 jours
Flore lactique : <i>Streptococcus</i> <i>thermophilus</i>	M17	37 °C	24h

#### 5.2. Recherche et dénombrement des germes

##### 5.2.1. Recherche et dénombrement de la flore mésophile totale (FMAR)

C'est l'ensemble des microorganismes aptes à se multiplier à l'air libre avec une croissance optimale située entre 25 et 45 °C. Cette flore est un indicateur de la qualité générale du produit à analyser (Guiraud, 1998).

A partir des dilutions décimales allant de  $10^{-1}$  à  $10^{-3}$  mettre aseptiquement 1 ml dans une boîte de Pétri vide et stérile. Compléter ensuite avec environ 15 ml de gélose PCA (plate count agar), faire ensuite des mouvements circulaire en forme 8 pour homogénéiser le mélange. Laisser se solidifier sur la paillasse puis incuber les boîtes à 30 °C pendant 72 h.

Retenir les boîtes contenant un nombre de colonies compris entre 30 à 300, les résultats sont exprimés en UFC (unité formant colonie) par ml :

$$X=N.1/D. 1/V$$

Où :

X : nombres des bactéries /ml de produit.

N : nombre de colonie.

D : la dilution considérée est de 10<sup>-1</sup>

V : volumeensemencé (1 ml)

### 5.2.2. Coliformes fécaux

Le dénombrement est réalisé par culture d'une prise de dilution d'échantillon sur le milieu de gélose Désoxycholate VRBL incubé à une température de 44°C pendant 24 heures.

### 5.2.3. Recherche et dénombrement de *Staphylococcus aureus*

Les staphylocoques sont les bactéries aérobies-anaérobies facultatives, en forme de Cocci, à gram positif, immobiles et asporulés. Leur recherche est basée sur l'utilisation du milieu d'isolement et de dénombrement qui est la gélose de Baird Parker (BP) (Debuysers, 1996).

0,1 ml de solution mère étalé à l'aide d'une pipette pasteur transformée en râteau à la surface du milieu BP coulé préalablement dans une boîte de Pétri. L'incubation a eu lieu à 37 °C pendant 48h.

L'apparition de colonies noires, brillantes, convexes et entourées d'une zone transparente indique la présence de *S. aureus*.

### 5.2.4. Recherche et dénombrement de clostridium sulfito-réducteur

Les clostridies sont des bactéries sulfito-réductrice, anaérobies strictes, à gram positif, immobiles, sporulées, thermo- résistantes et fermentent le lactose avec production de gaz. Leur recherche est réalisée sur gélose VF (viande et foie) additionnée de sulfite de sodium et d'alun de fer. La présence de ces germes se manifeste par la réduction du sulfite de sodium en présence d'alun de fer en sulfure en donnant des colonies noires.

Leur recherche consiste à :

- Introduire 5 ml de la solution mer dans deux tubes à essai vide et stériles ;
- Ensemencé 1 ml dans un troisième tube contenant 4 ml d'eau physiologique ;
- Les trois tubes sont incubés dans un bain-marie réglé à 80 °C pendant 10 min ;

- Après un refroidissement immédiat sous l'eau de robinet (l'intérêt du choc thermique est de détruire les formes végétatives) ;
- Incuber à (37 °C) pendant 72 h.
- La première lecture est faite après 24 h d'incubation pour éviter les erreurs qui pourraient avoir lieu après 48 et 72 h.
- Les colonies de clostridium sulfito-réducteur apparaissent entourer d'un halo noire et les résultats sont exprimés en nombre de spores dans 1 ml de produit.

### 5.2.5. Salmonelles

La recherche de ce micro-organisme débute par un pré-enrichissement d'une prise de la culture dans l'eau peptonée tamponnée (EPT), incubée à 37°C pendant 24 heures, suivi d'un enrichissement, on prend 9 ml de la dilution qu'on mélange avec 1 ml de bouillon sélénite dans un tube, puis incube à 37°C pendant 24 heures.

Ensuite à l'aide d'une anse de platine on ensemence par stries une gélose Hecktoen à partir du bouillon au sélénite.

On incube à 37°C pendant 24 heures, Salmonella apparaît sous forme de colonies bleu vert.

Les analyses microbiologiques ont pour but d'assurer que le yaourt préparé présente une qualité hygiénique et commerciale supérieure.

### 5.2.6. Recherche et dénombrement des levures et moisissures

Les champignons inférieurs (levures et moisissures) prolifèrent sur les produits acides et causent des défauts de fabrication se traduisant par des altérations qui touchent à la qualité de produit (qualité nutritionnelle et organoleptique). L'intérêt de recherche et dénombrement de cette flore est de savoir si le traitement thermique appliqué et les conditions de conservation de l'aliment sont rigoureuses et répondent aux normes.

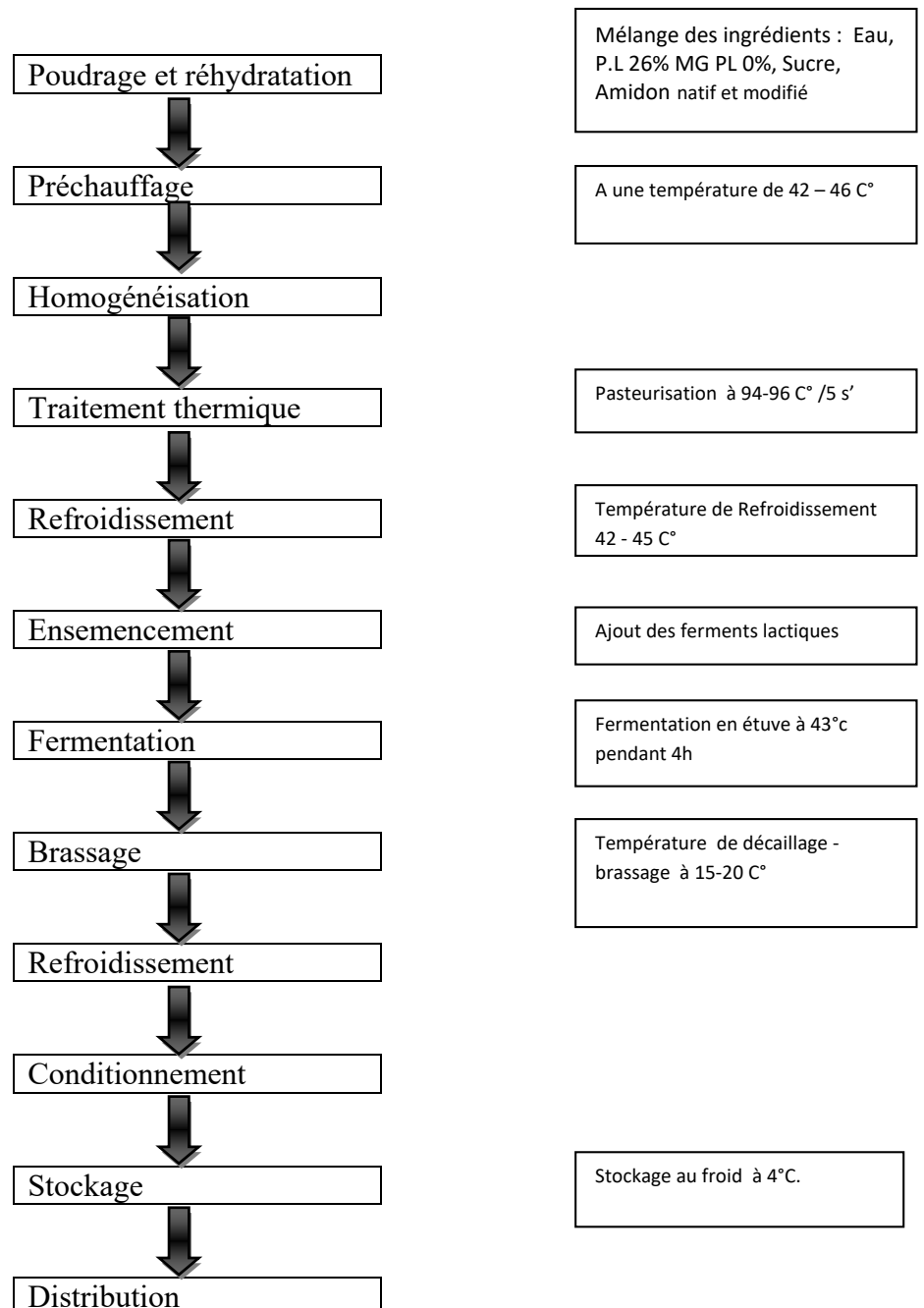
0,1 ml de la solution mère est étalé à la surface d'une boîte de Pétrie contenant le milieu la gélose OGA. L'incubation a eu lieu à 25 °C pendant 5 jours.

Les levures forment des colonies rondes, lisses, légèrement bombées, opaques et parfois pigmentées, mais plus volumineuses que celle des bactéries. Par contre, les colonies des moisissures sont veloutées et plus grandes. Les résultats sont exprimés en nombre de germe par ml du produit.

### 6. Aptitude du lait à la transformation en yaourt

#### 6.1. Préparation des yaourts

La préparation de yaourts est réalisée à l'échelle de laboratoire en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt brassé.



**Figure 10:** Diagramme expérimental de fabrication du yaourt brassé

### 6.2. Analyses physico-chimiques des yaourts

Les analyses physico-chimiques des yaourts (pH, acidité, extrait sec total, matière grasse, protéines et lactose) ont été réalisées en utilisant les mêmes protocoles utilisés pour les analyses physico-chimiques du lait.

### 7. L'évaluation sensorielle

D'après Roudaut et Lefrancq (2005), l'analyse sensorielle est un passage obligatoire pour les industriels du marché agroalimentaire. En effet, cette technique vise la satisfaction des besoins du consommateur tout en réduisant les pertes aussi bien pour le fabricant que pour le revendeur. Ainsi, selon le type, l'évaluation sensorielle peut avoir comme objectifs:

- La description objective d'un produit pour établir un profil sensoriel.
- L'étude de la satisfaction des consommateurs et/ou de leurs préférences.
- La conception de nouveaux produits ou l'optimisation de ceux qui existent déjà.
- L'imitation de certains produits.
- L'étude de l'évolution du produit dans le temps (au cours du stockage) pour assurer sa qualité.
- La comparaison entre trois échantillons pour étudier l'influence de certains procédés sur les qualités organoleptiques.

Selon LAS (2011), l'analyse sensorielle consiste à analyser les propriétés organoleptiques des produits par les organes des sens (définition de la norme AFNOR) la vue, le toucher, l'ouïe, l'odorat, et le goût.

Elle constitue un véritable outil de mesure fiable et indépendant qui permet d'évaluer:

- D'une part les préférences des consommateurs et prévoir ce qui motive leurs choix.
  - D'autre part les caractéristiques organoleptiques des produits:
- L'apparence** : aspect général, la couleur, la forme.
  - La flaveur**: odeur, saveur (sucrée, salée, amère, acide) l'arôme (piquant, fruité, boisé).
  - La texture** : dureté, collant, cohésion, croquant, friabilité.

L'objectif de l'évaluation sensorielle c'est de connaître le yaourt présentant les meilleurs caractéristiques organoleptiques (couleur, flaveur, saveur et viscosité) par un jury de dégustation.

Nous avons appliqué le test de classement qui fournit une information relative sur la préférence ou l'acceptabilité des produits. Il permet d'enregistrer les préférences des consommateurs entre différents lots et de classer ces derniers les un par rapport aux autres.

### 7.1. Sélection du jury

La littérature répertorie quatre critères sur lesquels doit porter la sélection (Lesschaeve, 1997)

- Les aptitudes sensorielles: sensibilité normale, capacité discriminative, aptitude à décrire les sensations perçues, capacité à analyser des aliments complexe, aptitude à mémoriser et à reconnaître les arômes

- La personnalité du sujet, sa motivation à participer à l'étude:

L'état de santé du sujet, le suivi d'un régime alimentaire spécifique ou l'existence d'allergies particulières

- Enfin la disponibilité du sujet.

### 7.2. L'entraînement des sujets et le contrôle des performances

Après avoir choisi les descripteurs et l'échelle de notation, les sujets sont entraînés à leur utilisation. L'entraînement consiste à homogénéiser la valeur sémantique des termes utilisés par le jury et à déterminer les protocoles de dégustation. Il est également utile d'élaborer un lexique définissant chacun des termes employés. Des références externes concrètes représentant le descripteur peuvent être fournies aux sujets afin de les aider à créer les concepts sensoriels associés (Murray *et al.*, 2001). Les références proposées au Panel lors de la présente étude sont présentés dans la partie : Matériels et méthodes.

### 7.3. Organisation de la séance

La séance de dégustation a été organisée au laboratoire LSTPA avec un jury composé d'enseignants chercheurs, de doctorants et des étudiants en master.

**Chapitre II :**  
**RESULTATS ET**  
**DISCUSSION**

### 1. Aptitudes à la transformation de la matière première et des systèmes fonctionnels et valeur marchande

**Tableau 17 :** Caractéristiques de la matière première: poudre du lait 26% et 0%

Poudre de lait 0%	
<b>Solubilité et dispersibilité%</b>	<b>98</b>
Matière protéique%	34
Matière grasse %	0,15%
Humidité%	2
Poudre de lait 26%	
<b>Solubilité et dispersibilité%</b>	<b>99</b>
Matière protéique %	32
Matière grasse %	26
Humidité %	3

**Tableau 18:** Caractéristiques des systèmes fonctionnels: l'amidon natif et de l'amidon modifié (E1442) utilisé.

	<b>Amidon natif</b>	<b>Amidon modifié SIN 1442</b>
<b>Solubilité et dispersibilité %</b>	82	97
<b>Humidité %</b>	12	8
<b>Amylose %</b>	25	3
<b>Amylopectine %</b>	75	97
<b>Température de solubilisation</b>	>70°C et maxi 95°C	> 85°C et maxi 105°C

Les aptitudes des poudres de lait à la transformation ou les propriétés dites fonctionnelles et d'usage des poudres de lait dépendent de leur aptitude à l'hydratation et plus principalement à leur solubilité (capacité qu'à une substance à se dissoudre dans un liquide) et de leur dispersibilité (faculté qu'ont des agrégats à se distribuer uniformément au contact de l'eau lorsqu'ils sont hydratés. Dans le cas d'une poudre, on recherche le caractère instantané de sa dispersibilité-mouillabilité (aptitude d'une poudre à s'hydrater en fonction de son affinité pour l'eau)

Dans notre cas et tenant compte du codex alimentarius (codex STAN 207-1999, actualisé en mars 2011), les poudres de lait sont conformes aux normes et sont aptes à la transformation avec une solubilité-dispersibilité respectivement de l'ordre de 98 et 99% (normes entre 97 et 99,9%) avec un taux d'humidité inférieure à 5% évitant la prolifération des germes indésirables et d'altération.

La valeur marchande toujours selon le codex alimentarius représentée en premier lieu pour les poudres de lait destinées à la fabrication des produits laitiers par leur richesse en protéines, nos poudres de lait sont conformes aux normes avec un taux protéique respectif de 32 à 34% (Normes de 30 à 35%)

L'aptitude à la transformation des systèmes fonctionnels et plus principalement des amidons dépend de deux principaux facteurs :

- Leur dispersibilité et solubilité
- Leur résistance aux traitements mécaniques et thermiques

Les normes ISO 10504 (2013) et ISO 10520 (1997) confirment que nos amidons sont conformes avec une dispersibilité –solubilité supérieure à 80%

La valeur marchande selon le codex alimentarius (codex STAN 207-1999, actualisée en mars 2011) est exprimée pour les amidons destinés à la transformation laitière selon leur richesse en amylose et en amylopectine

Dans les industries agro-alimentaires, les amidons modifiés et les amidons natifs font partie de la catégorie d'additifs agents améliorants des extraits secs et d'agents de texture. L'extrait sec est une caractéristique fondamentale d'un produit alimentaire et plus précisément laitier. Dans les produits laitiers, les amidons contribuent à leur spécificité au même titre que l'arôme et le goût (Boursier, 1994)

### 2. suivi des essais de fabrication de nos yaourts

#### 2.1. Evolution physico-chimique

Les tableaux ci-dessous (19-20-21-22-23-24 et 25) représentent l'évolution de la qualité physico-chimique de nos essais de yaourt

**Tableau 19** : Evolution physico-chimique du yaourt témoin fabriqué à 100% avec du lait reconstitué

Désignation	EST%	MG%	Protéines%	Lactose%	PH	Cryoscopie	Acidité °D	viscosité Cp
Avant maturation	16	1,5	3,6	4,8	6,48	-0,62	20	670
Après maturation	15,4	1,5	3,4	2,1	4,65		96	4600

**Tableau 20** : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5% d'amidon natif

Désignation	EST%	MG%	Protéines%	Lactose%	PH	Cryoscopie	Acidité °D	viscosité Cp
Avant maturation	17	1,5	3,2	4,6	6,42	-0,645	18	638
Après maturation	17,8	1,5	3	2,1	4,62		96	6600

**Tableau 21** : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1% d'amidon natif

Désignation	EST%	MG%	Protéines%	Lactose%	PH	Cryoscopie	Acidité °D	viscosité Cp
Avant maturation	17,2	1,5	3,2	4,6	6,4	-0,646	19	642
Après maturation	18	1,5	3	2,2	4,6		98	6900

**Tableau 22** : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5 % d'amidon natif

Désignation	EST%	MG%	Protéines%	Lactose%	PH	Cryoscopie	Acidité °D	viscosité Cp
Avant maturation	17,5	1,5	3,2	4,6	6,4	-0,648	19	650
Après maturation	18,2	1,5	3,1	2,4	4,58		102	7500

**Tableau 23** : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5 % d'amidon modifié

Désignation	EST%	MG%	Protéines%	Lactose%	PH	Cryoscopie	Acidité °D	viscosité Cp
Avant maturation	18,1	1,5	2,98	4,45	6,46	-0,649	19	652
Après maturation	19,2	1,5	2,92	2,15	4,65		97	8050

**Tableau 24** : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1 % d'amidon modifié

Désignation	EST%	MG%	Protéines%	Lactose%	PH	Cryoscopie	Acidité °D	viscosité Cp
Avant maturation	18,3	1,5	3,05	4,5	6,44	-0,65	19	655
Après maturation	19,6	1,5	2,97	2,2	4,61		103	8180

**Tableau 25** : Evolution physico-chimique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5 % d'amidon modifié

Désignation	EST%	MG%	Protéines%	Lactose%	PH	Cryoscopie	Acidité °D	viscosité Cp
Avant maturation	18,7	1,5	3,2	4,6	6,42	-0,652	20	660
Après maturation	20,1	1,5	3,05	2,3	4,56		106	8600

Les essais menés au laboratoire de la Sarl laiterie Errawda selon les préparations définies au niveau des tableaux 11-12 et 13 et selon le diagramme de fabrication défini ont donné les résultats suivants après plus de 04H00 d'incubation à 43°C allant d'un yaourt fabriqué à 100% avec du lait reconstitué, à un yaourt fabriqué avec du lait substitué avec de l'amidon natif et à un yaourt fabriqué avec du lait substitué avec de l'amidon modifié.

L'appréciation de nos résultats doivent se faire en les comparant à ceux élaborés par la fédération internationale du lait F.I.L ; notamment la norme destinée aux yaourts brassés F.I.L ISO 19344 :2015 et aux diverses études faites par BEAL *et al*, 2003 sur le même produit

Les critères retenus pour cette appréciation sont ceux physico-chimiques sur le produit fini obtenu :

- De l'extrait sec final du produit fini obtenu qui doit varier pour un yaourt partiellement écrémé entre 15 et 20%
- De l'évolution du taux protéique qui doit être compris entre 3 et 3,5%
- De l'évolution du taux du lactose qui doit se situer après fermentation entre 2 et 2,5% pour éviter une post-acidification se répercutant sur la qualité organoleptique du produit « yaourt brassé »
- Du pH final pas en dessous de 4,5 pour éviter une post-acidification
- De la viscosité du produit final en centipoises qui doit être supérieure à 7250 centipoises et inférieure à 9000 centipoises

Selon cette nomenclature, les essais qui peuvent répondre aux critères sont :

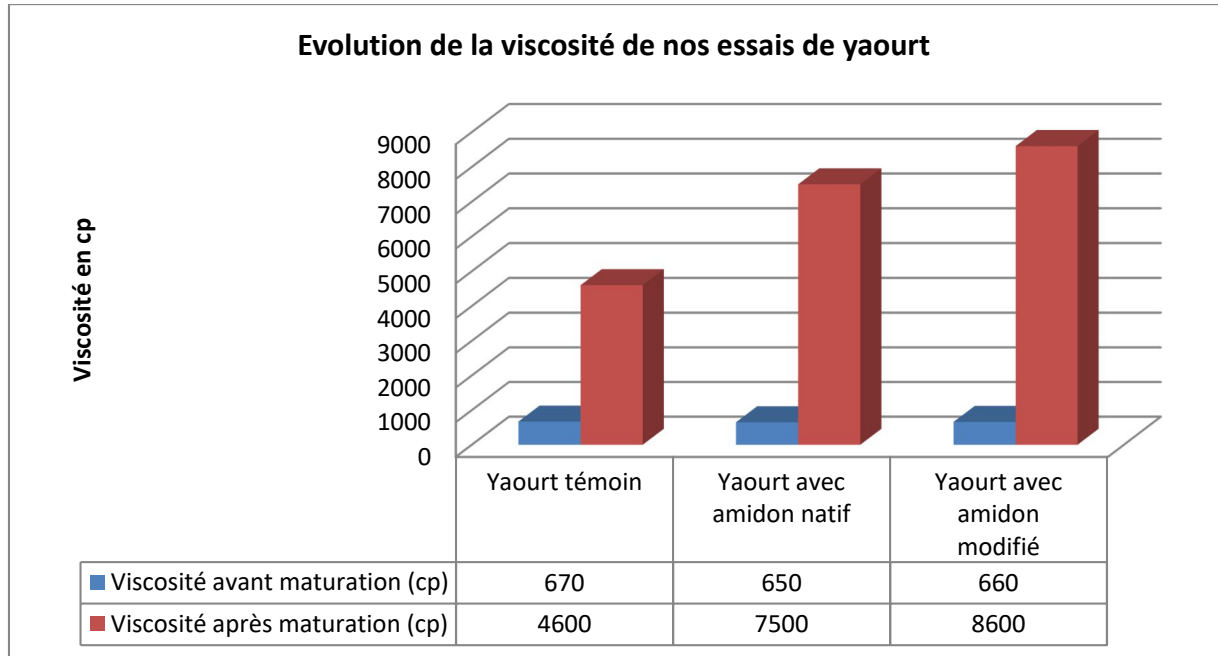
- 1- Le yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5 % d'amidon natif
- 2- Le yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5 % d'amidon modifié
- 3- Le yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1 % d'amidon modifié
- 4- Le yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5 % d'amidon modifié

Il est à noter que même avec un taux protéique de 3,6% pour notre témoin la viscosité de notre essai de notre brassé n'a pas dépassé les 4600 cp

Avec une substitution de 0,5 et de 1% en amidon natif pour atteindre des extraits secs de 17% ; la viscosité finale du produit n'a pas dépassé les 6900 cp

Il fallait atteindre les 17,5% en extrait sec et une substitution de 1,5% du lait en amidon natif pour atteindre le seuil de 7500 cp

L'utilisation du système fonctionnel E 1442 (Phosphate de diamidon Hydroxypropylé) ; l'amidon modifié à des doses de substitution du lait allant de l'ordre de 0,5 -1 et 1,5% a donné les résultats escomptés soit un produit fini avec les critères souhaités en viscosité (voir figure 18).



**Figure 11** : Evolution de la viscosité de nos essais de yaourt (avant et après maturation).

Cela confirme l'approche scientifique de PACI KORA , 2013 et PATEL *et al.* , 2016 en confirmant que la transformation modifie la structure des protéines du lait, menant à leur ,

dénaturation, agrégation et interaction. Le type et le degré des interactions protéiques varient selon plusieurs facteurs tels que les conditions de transformation (ex. combinaison durée-température), la force ionique, la concentration en protéine, le pH et la composition du produit. Ces changements protéiques peuvent aussi affecter les propriétés fonctionnelles de nos yaourts finis et produits laitiers, telles que la solubilité, la gélification, la stabilité thermique et l'émulsification, la viscosité qui affectent finalement leurs qualité physico-chimique et organoleptique.

Cela nécessite l'amendement de nos laits reconstitués en systèmes fonctionnels alimentaires résistant aux traitements mécaniques et thermiques

Nos essais avec les systèmes fonctionnels ont permis d'améliorer la qualité physico-chimique de nos yaourts par rapport au témoin réalisé avec des poudres de laits non résistantes et non stables aux températures élevées de traitement thermique par une pasteurisation HTST à 92°C

Ces systèmes fonctionnels visent d'une part à améliorer les extraits secs et d'autre part à conserver la stabilité des protéines laitières vis-à-vis des températures, en milieu acide et au cours des traitements mécaniques par homogénéisation et par différence de pression au pompage volumétrique par leurs propriétés texturantes et épaississantes

Ces systèmes fonctionnels « amidons » sont des hydrocolloïdes ; des molécules qui, à faibles doses sont capables de se lier à une quantité importante d'eau, et par la présence de la phase aqueuse du lait, de modifier son comportement suivant le produit laitier préparé

Les amidons modifiés par rapport aux amidons natifs ont un taux d'amylopectine élevé soit une macromolécule qui résiste à un certain nombre d'agressions (mécaniques, thermiques, chimiques) et confère au produit fini « yaourt brassé » les propriétés fonctionnelles et rhéologiques escomptées (viscosité et extrait final). Nos résultats concordent avec ceux de PACI KORA, 2004, BEAL *et al.*, 2003 et PATEL *et al.*, 2016

## Résultats et discussion

### 2.2. Evolution microbiologique

Les tableaux ci-dessous (26-27-28-29-30-31 et 32) représentent l'évolution de la qualité microbiologique de nos essais de yaourt

**Tableau 26 :** Evolution microbiologique du yaourt témoin fabriqué à 100% avec lait reconstitué

Désignation	flore totale UFC/ml	Coliformes g/ml	Coliformes fécaux g/ml	Staphylocoques g /ml	C.S.R g/ml	L et M g/ml	F. lactique sur MRS UFC/ml	F. lactique Sur M17 UFC/ml
Avant maturation	80000	0	0	0	0	0	4000	72000
Après maturation	1850000	0	0	0	0	0	750000	1050000

**Tableau 27 :** Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5% d'amidon natif

Désignation	flore totale UFC/ml	Coliformes g/ml	Coliformes fécaux g/ml	Staphylocoques g /ml	C.S.R g/ml	L et M g/ml	F. lactique sur MRS UFC/ml	F. lactique sur M17 UFC/ml
Avant maturation	98000	0	0	0	0	0	6500	80000
Après maturation	1980000	0	0	0	0	0	810000	1150000

**Tableau 28 :** Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1% d'amidon natif

Désignation	flore totale UFC/ml	Coliformes g/ml	Coliformes fécaux g/ml	Staphylocoques g /ml	C.S.R g/ml	L et M g/ml	F. lactique sur MRS UFC/ml	F. lactique sur M17 UFC/ml
Avant maturation	102000	0	0	0	0	0	7200	95000
Après maturation	2120000	0	0	0	0	0	775000	1350000

**Tableau 29 :** Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5% d'amidon natif

Désignation	flore totale UFC/ml	Coliformes g/ml	Coliformes fécaux g/ml	Staphylocoques g /ml	C.S.R g/ml	L et M g/ml	F. lactique Sur MRS UFC/ml	F. lactique sur M17 UFC/ml
Avant maturation	110000	0	0	0	0	0	7000	92000
Après maturation	2150000	0	0	0	0	0	860000	1520000

## Résultats et discussion

**Tableau 30** : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 0,5% d'amidon modifié

Désignation	flore totale UFC/ml	Coliformes g/ml	Coliformes fécaux g/ml	Staphylocoques g /ml	C.S.R g/ml	L et M g/ml	F. lactique sur MRS UFC/ml	F. lactique sur M17 UFC/ml
Avant maturation	78000	0	0	0	0	0	8100	88000
Après maturation	2180000	0	0	0	0	0	912000	1275000

**Tableau 31** : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1% d'amidon modifié

Désignation	flore totale UFC/ml	Coliformes g/ml	Coliformes fécaux g/ml	Staphylocoques g /ml	C.S.R g/ml	L et M g/ml	F. lactique sur MRS UFC/ml	F. lactique sur M17 UFC/ml
Avant maturation	76000	0	0	0	0	0	7700	85000
Après maturation	2275000	0	0	0	0	0	885000	1450000

**Tableau 32** : Evolution microbiologique du yaourt fabriqué avec du lait substitué avec 1,5% d'amidon modifié

Désignation	flore totale UFC/ml	Coliformes g/ml	Coliformes fécaux g/ml	Staphylocoques g /ml	C.S.R g/ml	L et M g/ml	F. lactique sur MRS UFC/ml	F. lactique sur M17 UFC/ml
Avant maturation	85000	0	0	0	0	0	8180	91500
Après maturation	2400000	0	0	0	0	0	870000	1560000

**Legende:**

CSR : clostridium sulfito-réducteur

L et M : Levures et moisissures

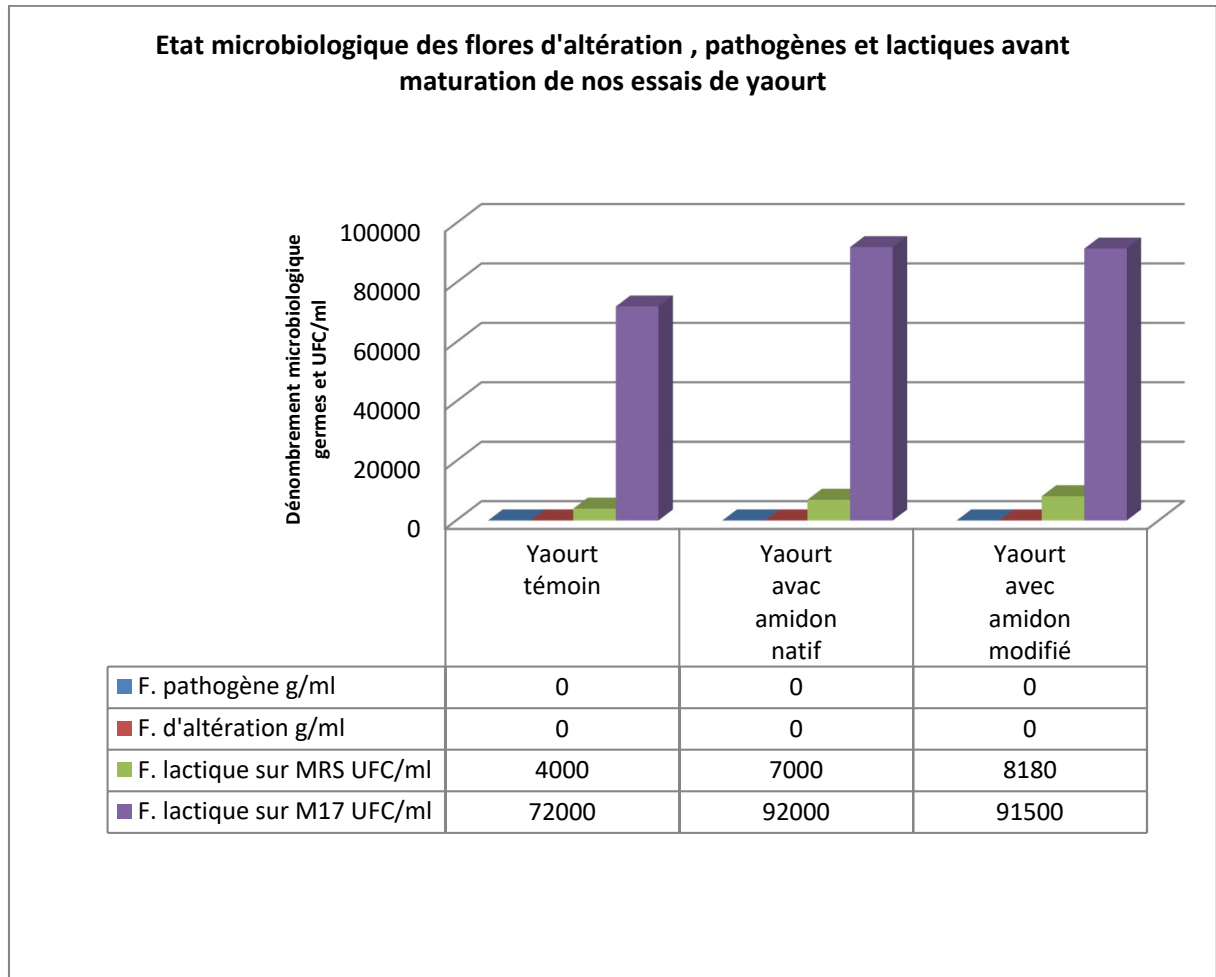
g/ml : Germes par ml

L'évaluation microbiologique de nos essais de yaourts expérimentaux vise à apprécier la performance des traitements thermiques appliqués au niveau de la Sarl laiterie Errawda et l'excellente aptitude technologique des ferments lactiques utilisés

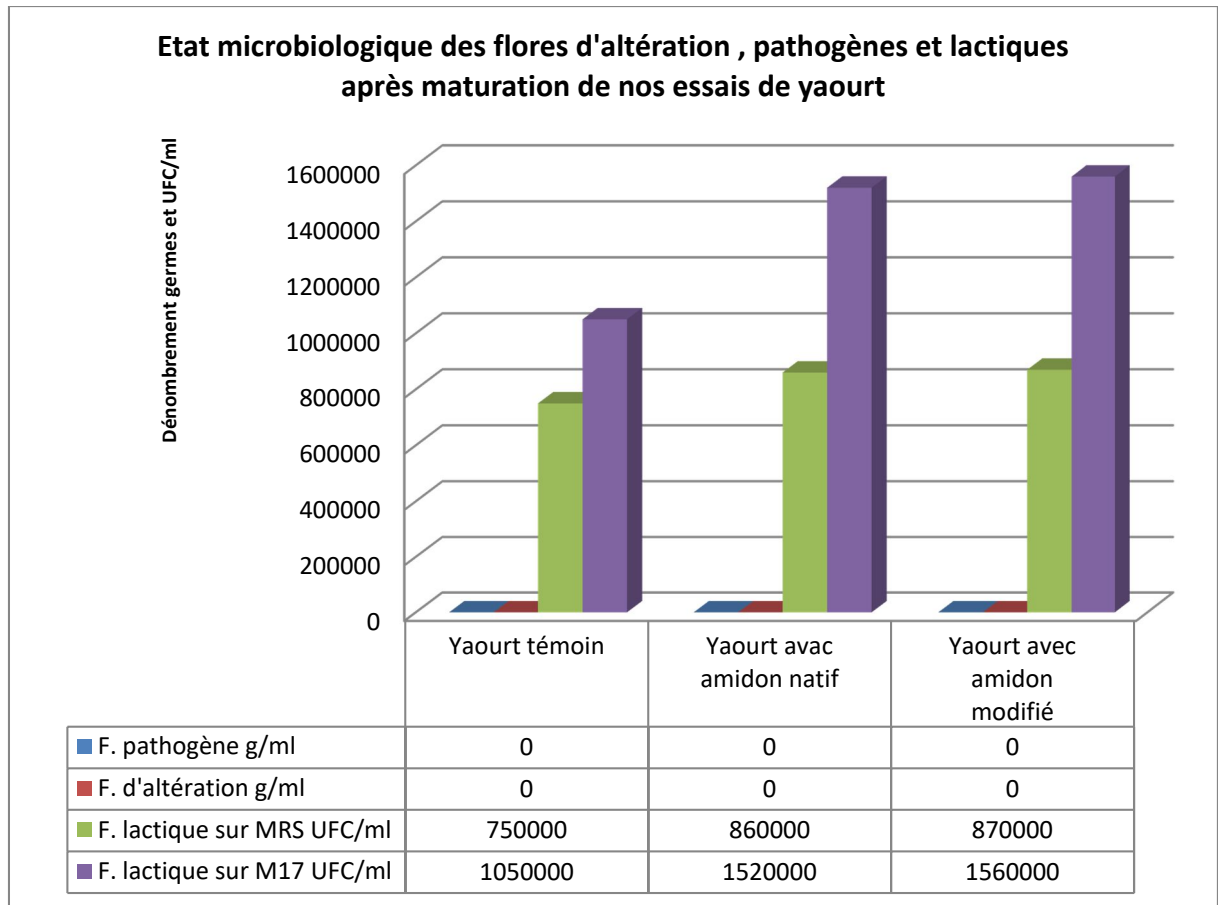
Aucune contamination n'a été observée que ce soit pathogène représentée par les coliformes, coliformes fécaux et Staphylocoques ou bien celle d'altération représentée par les levures et moisissures (voir figures 19 et 20). Cette absence de contamination est due aux traitements physiques et thermiques effectués préalablement par la laiterie Errawda (traitement de bactofugation et de pasteurisation H.T.S.T) qui éliminent les flores d'altération et pathogènes.

## Résultats et discussion

Le nombre de bactéries lactiques thermophiles spécifiques : *Lactobacillus bulgaricus* sur milieu MRS et *Streptococcus thermophilus* sur milieu M17 ensemencées simultanément dans les produits sont retrouvées à l'état vivant à un taux de normal de  $8 \cdot 10^5$  à  $10^6$  UFC/ml (Libnor, 1999)

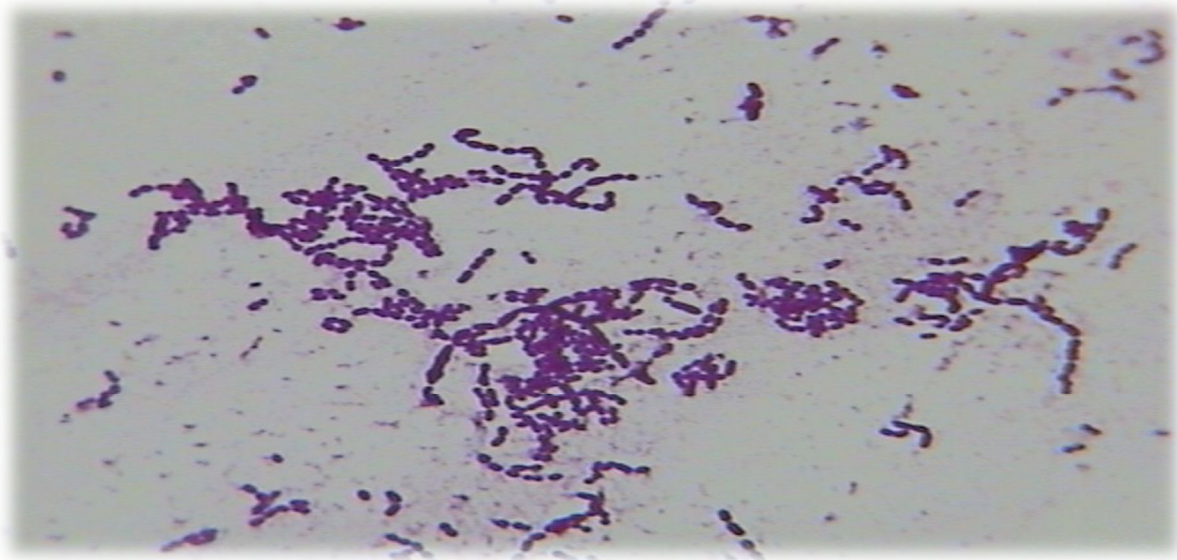


**Figure 12 :** Etat microbiologique des flores d'altération, pathogènes et lactiques avant maturation de nos essais de yaourt.

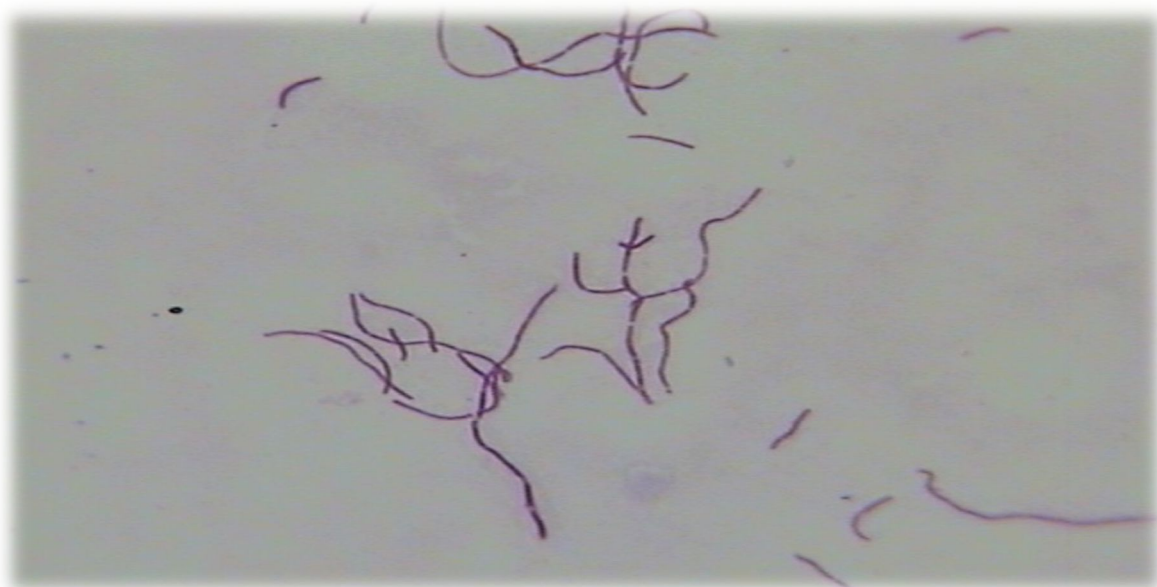


**Figure 13 :** Etat microbiologique des flores d'altération, pathogènes et lactiques après maturation de nos essais de yaourt.

L'observation microscopique après un frotti du yaourt coloré au bleu de méthylène a donné des *Streptococcus thermophilus* Gram positifs ; des bactéries en forme de coques en chaînettes et des *Lactobacillus bulgaricus* ; des bactéries bacilles Gram positifs



**Figure 14:** observation du *Streptococcus thermophilus* après coloration de Gram (grossissement x100)



**Figure 15:** observation du *Lactobacillus bulgaricus* après coloration de Gram (grossissement x100)

Le nombre élevé de *Streptococcus thermophilus* à la fin de fabrication de nos préparations brassées est lié au fait qu'ils sont responsables du démarrage de la fermentation lactique du yaourt, leur croissance est stimulée par les acides aminés libérés suite à l'activité protéolytique des *Lactobacillus*. Durant la phase de post-acidification lorsque le milieu devient plus ou moins acide la croissance des germes *Streptococcus thermophilus* sont relativement freinée ; alors que les *Lactobacillus bulgaricus* peuvent s'adapter avec le milieu acide (Guyot, 1992).

Ceci explique leur nette augmentation durant la post-acidification.

La fédération internationale du lait avec la norme ISO 19344/F.I.L 232 (2015) définit la quantification et viabilité des bactéries lactiques sur les produits laitiers finis fermentés type yaourt brassé avec une présence du *Streptococcus thermophilus* avec un taux de 60 à 65% et *Lactobacillus bulgaricus* avec un taux de 35 à 40 %

Dans notre cas pour nos deux produits retenus « la préparation avec une substitution à 1,5% en amidon natif et l'autre avec une substitution de l'ordre 1,5% en amidon modifié ; les taux en ces 02 bactéries lactiques sont respectés à 64% pour les *Streptococcus thermophilus* et à 36% pour les *Lactobacillus bulgaricus*

### 3. Analyse sensorielle de nos essais de yaourts

**Tableau 33 : Résultats de l'analyse sensorielle**

Examen du jury de dégustation	Moyenne note du jury yaourt brassé témoin	Moyenne note du jury yaourt brassé 1.5% Amidon natif	Moyenne note du jury yaourt brassé 1.5% Amidon modifié
1/ Examen visuel	3.25	5.75	7.35
Aspect de la surface	2.8	5.4	7.1
Aspect du yaourt			
2/Examen visuel	4.25	5.5	7.85
Arome	4.15	5.35	8.1
Intensité			
3/ Examen gustatif	3.45	4.75	8.25
Saveur	3.1	5.05	7.85
Sensation			
Appréciation générale sur 10	3.50	5.20	7.75

La qualité organoleptique de la préparation yaourt brassé à 1,5% d'amidon modifié E1442, testée par le jury de dégustation sur un ensemble de caractères, est cotée bonne. Les résultats indiquent une différence significative par rapport au témoin. Des notes de 7,75 sont données à cet essai contre 5,20 au yaourt brassé préparé avec 1,5% d'amidon natif et 3,5 au témoin préparé avec 100% du lait reconstitué.

### 3.1. L'examen visuel

Une note de 7,35 pour l'aspect de la surface du yaourt à 1,5% d'amidon modifié par rapport au témoin 3,25

Une note de 7,1 pour l'aspect du yaourt fabriqué avec 1,5 % d'amidon modifié (couleur-texture et homogénéité) par rapport au témoin 2,8

### 3.2. L'examen olfactif

Une note de 7,85 pour les arômes développés dans le yaourt fabriqué avec 1,5% d'amidon modifié par rapport au témoin 4,25

Une note de 8,1 pour l'intensité aromatique du yaourt préparé avec 1,5 % d'amidon modifié par rapport au témoin 4,15

### 3.3. L'examen gustatif

Une note de 8,25 pour la saveur apportée par le yaourt préparé avec 1,5% d'amidon modifié par rapport au témoin 3,45

Enfin une note de 7,85 pour la sensation à la bouche pour le yaourt à 1,5% d'amidon modifié contre 3,1 pour le témoin

**N.B :** Voir fiche d'analyse sensorielle comparative des yaourts en annexe D.

D'après ces contrôles (microbiologique, physicochimique et organoleptique), il apparaît que le yaourt préparé avec 1,5% d'amidon modifié E1442 à partir de souches lactiques sélectionnées présente des qualités supérieures au yaourt fait à base d'amidon natif et au témoin fait à 100 % avec du lait reconstitué. Cela indique que les systèmes fonctionnels ont un rôle majeur dans l'amélioration de la qualité physico-chimique et organoleptique des yaourts brassés préparés à base des laits reconstitués.

# **Conclusion et perspectives**

## Conclusion et Perspectives

---

La recherche de nouveaux produits alimentaires concurrentiels de point de vue qualité et prix est le souci majeur des industriels. Notre travail s'est articulé dans ce sens ; apporter une richesse alimentaire à un produit laitier de large consommation « le yaourt brassé » très prisé par le consommateur Algérien mais qui n'est pas à la portée de tous ; en essayant de substituer la poudre de lait, totalement importée avec une hausse des prix incontrôlée sur le marché mondial, par des systèmes fonctionnels qui apportent des solutions aux transformateurs laitiers avec des performances fonctionnelles à la transformation et un rapport qualité-prix exceptionnel.

En industrie laitière, il est d'usage d'ajouter aux laits fermentés des agents stabilisants et des additifs de qualité nutritionnelle et notamment sensorielle « des systèmes fonctionnels ».

Ces derniers ont pour but de maintenir et d'améliorer les caractéristiques désirées du produit final telles que la fermeté, la viscosité ou consistance, une texture adéquate et une sensation en bouche agréable. Les systèmes fonctionnels généralement employés sont : la pectine, la gélatine, les amidons, la gomme de caroube et les protéines végétales des légumineuses.

Au terme de notre étude expérimentale et à la lumière des résultats obtenus durant la période de fermentation et de post acidification sur les yaourts préparés, il apparaît que la qualité physico-chimique de nos essais est d'une part en relation proportionnelle avec les variations des doses des systèmes fonctionnels, de l'amidon modifié et natif, incorporés dans la préparation de nos laits fermentés « spécialités fermentés type yaourts brassés » à des doses normalisées allant de 0,5- 1 et 1,5% et que d'autre part la viscosité a été plus appréciée chez le produit fabriqué avec de l'amidon modifié riche en amylopectine qui améliore davantage la texture du produit, sa stabilité à la conservation et sa qualité sensorielle.

Il est à noter aussi que nos produits finis n'ont pas développé une post-acidification critère très exigé dans la fabrication des laits fermentés avec un taux d'acide lactique ne dépassant pas les 10,6 grammes / litre et une viscosité stable de l'ordre de 8600 cp.

D'autre part l'étude sensorielle réalisée au prêt d'un jury de dégustation ; désigner dans un sens à qualifier les meilleurs critères sensoriels (goût, flaveur, texture, couleur, et sucre) au yaourt additionné d'amidon modifié E1442 en comparaison aux autres produits soit additionnés d'amidon natif soit faits à 100% avec du lait reconstitué.

Avec ces effets favorables, la dose de 1,5% d'amidon modifié, a donné les résultats escomptés notamment sur la texture et la valeur nutritionnelle du produit fini; l'ajout de

## Conclusion et Perspectives

---

l'amidon modifié comme système fonctionnel amendant la pauvreté protéique de nos laits reconstitués est une piste intéressante à explorer au niveau industriel et dans le domaine agroalimentaire.

### Comme perspectives

Réaliser ces essais à une échelle industrielle

Réaliser une étude sur l'effet des systèmes fonctionnels sur les bactéries lactiques des laits fermentés.

# **Annexes**

**Annexe A : Composition des solutions de titrage**

• **Solution de NaOH 0,1N :**

Eau distillé .....1000ml  
NaOH .....40g

• **Solution de HCL 1n**

Eau distilé .....100ml  
HCL.....4ml

**Annexe B : Composition des diluants (g/l)**

• **Eau physiologie 9 /ml:**

NaCl ..... 9g  
Eau distillée .....1000 ml

---

**Annexe C : Composition des milieux de cultures (g/l)**

- Milieux solides

- Gélose nutritive standard Plate Count Agar (P.C.A)

Hydrolysate tryptique de caséine .....	2,5g
Extrait de viande .....	5g
Glucose .....	1g
Extrait de la levure .....	2,5g
Agar .....	15g
Eau distillé q.s.p .....	1000 ml
pH=7±0.2 à 37°C	

- Milieu MRS ( Man Rogosa et Sharpe, 1960)

Extrait de levure .....	5g
Extrait de viande .....	5g
Peptone .....	10g
Acétate de sodium.....	5g
Citrate de sodium .....	2g
Glucose .....	20g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> .....	2g
MgSO <sub>4</sub> .....	0.1 g
MnSO <sub>4</sub> .....	0.05 g
Agar .....	12g
Tween80 .....	1ml
Eau distillée q.s.p .....	1000 ml
pH=6.5±0.2 à 37°C	

Autoclavage : 121°C /15min.

- Milieu M-17

Extrait de levure .....	2,5g
Extrait de viande.....	5g

Peptone de caséine .....	2,5g
Peptone de viande .....	2,5g
Peptone de soja .....	5g
Peptone de soja .....	5g
Acide ascorbique .....	0,5g
B-glycérophosphate de sodium .....	19g
Agar .....	12,75g
Sulfate de magnésium .....	0.25g
Eau distillée q.s.p .....	1000ml

pH=7.1±0.2 à 37°C

Autoclavage : 121°C pendant 15min.

- **Milieu de culture Baird Parker**

Bio-Trypcase.....	10g
Extrait de viande de boeuf.....	5g
Extrait de levure.....	2g
Chlorure de lithium.....	5g
Pyruvate de sodium.....	10g
Glycocolle.....	12g

Ajouter en conditions stériles juste avant l'ensemencement :

Emulsion de jaune d'oeuf à 10 %.....	1ml
Tellurite de potassium .....	1ml
Agar.....	15g

pH 7,2

- **Eau peptonée tomponnée :**

Peptone .....	10g
NaCl.....	5g
Na <sub>2</sub> HP .....	3.5g
NaHPo <sub>4</sub> .....	1.5g

pH 7.2

- **Bouillons sélénite (L cystine) :**

Tryptone .....	5g
Lactose.....	4g
Phosphate dissodique.....	10g
Hydrogeno sélénite de sodium.....	4g
L-cystine .....	10mg
pH 7.2	

- **milieu VRBL**

Peptone.....	7 g
Extrait de levure .....	3 g
Lactose.....	10 g
Chlorure de sodium .....	5 g
Mélange sel biliaire .....	1,5 g
Cristal violet .....	0,002 g
Rouge neutre .....	0,03 g
Agar-agar .....	15 g
Eau distillée .....	1 000 ml
pH 7,4.	

- **Milieu viande foie**

Base viande foie .....	30,0 g
glucose .....	2,0 g
Agar .....	6,0 g
pH 7,4	

- **gélose Hektoen**

Protéose-peptone:.....	12,0 g
Extrait de levure : facteur de croissance.....	3,0 g
Lactose : critère de differenciation.....	12,0 g
Saccharose : critere de differenciation.....	12,0 g

Salicine : critere de differenciation.....	2,0 g
Citrate de fer iii et d'ammonium revelateur d'h2s.....	1,5 g
Sels biliaries : inhibiteur.....	9,0 g
Fuchsine acide : inhibiteur.....	0,1 g
Bleu de bromothymol : indicateur de ph.....	0,065 g
Chlorure de sodium : maintien de la pression osmotique.....	5,0 g
Thiosulfate de sodium : précurseur d'h2s.....	5,0 g
Agar.....	14,0 g

pH 7,6

- **OGA : Milieu sélectif**

Extrait autolytique de levure.....	5.0g
Glucose.....	20.0g
Oxytétracycline .....	0,1 g

Agar agar : 15.0g (Biokar) 1.0g (Himedia).

pH du milieu prêt à l'emploi à 25°C : 6,6 ± 0,2 (Biokar) - 7,0 ± 0,2 (Himedia)

**Annexe D : fiche d'analyse sensorielle comparative des yaourts (F.I.L 2018)**

**Date :**

**Nom de dégustateur :**

**Fonction :**

**lieu :**

**Type de yaourt :**

Examen	Nom du produit	Points à examiner	Vocabulaire
1/ Visuel		Etat du yaourt	Surface : lisse, exsudée, fluide Etat : fine, épaisse, brillant
		Produit	Texture : ferme, cassante, sableuse
2/ Olfactif		Arômes	Lactique : lait frais, naturel, Autres : Diacétyl, fermenté, synthétique
		Intensité	Forte, fade, typée,
3/ 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

Note d'appréciation sur 10 points : à noter sur la base des résultats formulés par les dégustateurs

Etat du yaourt :

Surface : lisse 1 pts, exsudée : 0pts , fluide : 0pts

Etat : fine 1 pts, épaisse 0,5 pts, brillant : 0,5 pts

Produit :

Texture Ferme : 1 pts , cassante : 0pt, sableuse : 0pt

Arômes : lactique 0,5pts , autres : 0pts

Intensité : typée 0,5 pts autres : 0pts

Description de la saveur : sucrée :0,5 pts , acide : 0,5 pts , amer : 0pts

Description des sensations :Douceur : crémeux : 0,5 pts, fondant 0,5 pts , onctueux : 1 pts

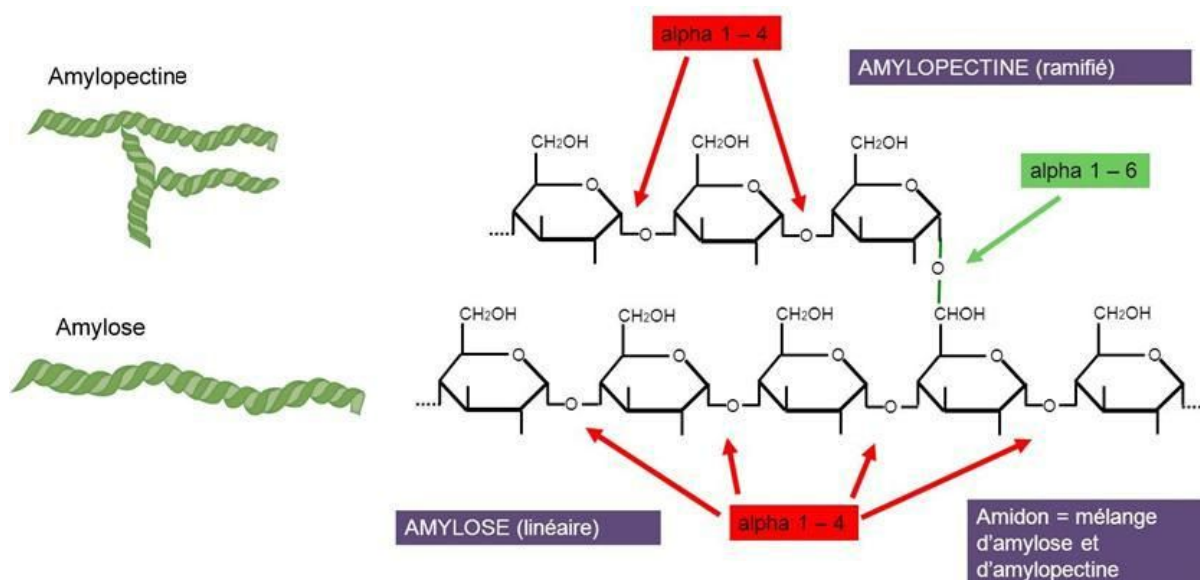
Description de la finale bouche : Agréable : 1pts, très typique :0,5pts , riche en arôme :0,5 pts, autres : 0pts

## Annexe E : Dosage de l'amidon total de l'amylose et de l'amylopectine

### Généralités

L'amidon est un polysaccharide de réserve chez les végétaux. C'est une macromolécule constituée, en pourcentage variable, de deux polymères du D-Glucose : L'amylose et l'amylopectine.

L'amylose est constitué essentiellement d'unités de D-glucoses unies entre elles par des liaisons de type  $\alpha(1\rightarrow4)$ . L'amylopectine consiste essentiellement en unités  $\alpha(1\rightarrow4)$ -D-glucosidiques linéaires mais branchée, par des liaisons de type  $\alpha(1\rightarrow6)$ -D-glucosidiques à tous les 24-30 unités de glucose (Figure 1). L'amylopectine contient plus de 106 résidus de D-glucose, la rendant ainsi la macromolécule biologique la plus volumineuse qui existe. La structure primaire de l'amylopectine est semblable à celle du glycogène (polysaccharide de réserve chez les animaux) mais le nombre de résidus de D-glucose dans les ramifications est de l'ordre de 8 à 12 dans le glycogène. En d'autres termes le glycogène est plus ramifié que l'amylopectine.



**Figure 16 :** Structures de l'amylose et de l'amylopectine

## Principe

L'iode ( $I_2$ ) interagit avec l'amylose et l'amylopectine pour donner une coloration respectivement bleue et brune. Les spectres des complexes  $I_2$ -amylose et  $I_2$ -amylopectine sont différents. De ce fait ces complexes ont des longueurs d'ondes maximales pour l'amylose ( $\lambda_{\max} = 630 \text{ nm}$ ) et l'amylopectine ( $\lambda_{\max} = 548 \text{ nm}$ ) qui sont différentes. En plus l'amylose absorbe dans le proche visible tandis que l'amylopectine n'y absorbe pas (Figure 09). On peut donc utiliser cette différence spectrale pour doser simultanément l'amidon total, l'amylose et l'amylopectine dans un matériel biologique. Dans cette manipulation on considérera que l'absorbance à 580 nm est liée à la fois à l'amylose et à l'amylopectine, par contre l'absorbance à 720 nm est liée essentiellement à l'amylose.

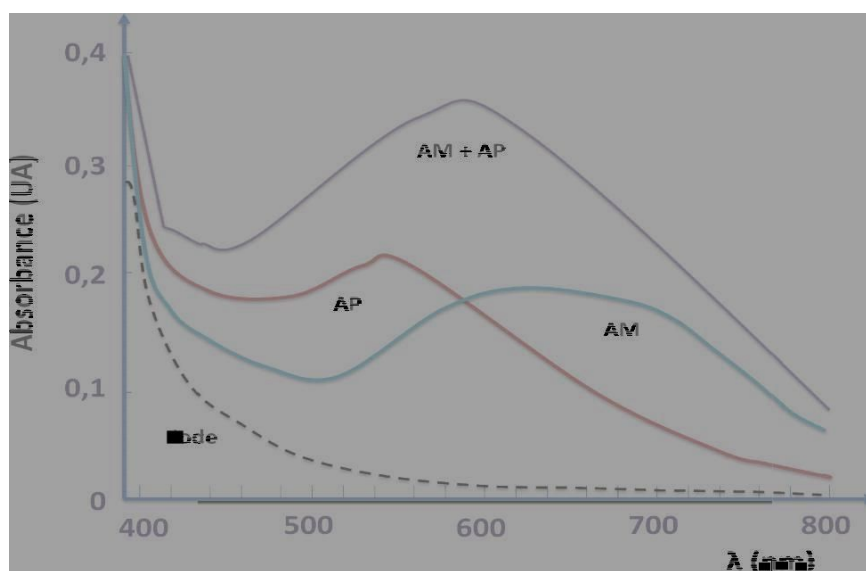


Figure 17 : Absorbances de l'amidon, de l'amylose et de l'amylopectine

# **Références Bibliographiques**

- **Abdenouri N., Idlimam A et. Kouhila M:** Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger (2008) 35 – 44 35 Etude hygroskopique du lait en poudre
- **Alais C.,** *Science du Lait : Principe des techniques laitières*, 4ème édition, Editions SEPAIC, Paris, France, (1984).
- **Regiant, E Forllini, G A Marson, OA El Seoud,** Second International Symposium on Natural Polymers and composites, 235-239. **1998.**
- **Amadòr, Battler B., Buxtorf, Feldmann G., Jaisli, Jud B., Kessel H., Müller, H. Schudel, W. Wielinga (1993) :** Gélifiants et épaississants : 21
- **Amani N.G., 2002, Propriétés physico-chimiques et moléculaires des amidons d'ignames (*Dioscorea* spp.) cultivées en Côte d'Ivoire. Relation avec la stabilité des gels aux traitements technologiques. Thèse d'état, Université d'Abobo-Adjamé, 203 pp**
- **Norme internationale ISO 5492.** Analyse sensorielle. Contrôle de la qualité des produits alimentaires AFNOR.
- **ARIE. F, SriKumalaningsh et Ariesta .W (2012)**Process engineering of drying milk powder withFoam mat drying method.journal of basic and appliedscientificresearch 2(4) :3588-3592
- **Avis du 15 novembre 2011 Avis de l'Anses** relatif à l'évaluation du rapport d'évaluation initiale des autorités britanniques concernant la mise sur le marché d'un nouvel ingrédient alimentaire : phosphate de diamidon phosphaté, **Avis du 16 novembre 2011** [archive]
- **AZZA.M.M.Deeb.Al Hawary. Aman et Doaa M H Shahine(2010)**Bacteriological investigation on milkpowder in the Egyptien mark et with emphasis on its safety.journal Global veterinaria .4(5) :424-433.
- **Banks W., Greenwood C.T. Strach and its components,** Edinbugh University Press. .1975.
- **Barthélémy J. (1998).** Evolution d'une grandeur sensorielle complexe: description quantifiée. In : «Evolution Sensorielle» 2eme éd Tec et Doc. Lavoisier. Paris. p. 149-169.
- **BEAL et SODINI ,2003 .** Fabrication des yaourts et des laits fermentés , Techniques de l'ingénieur ,158 pages
- **Bourgeois,C.M.,Mescle,J.F.,Zucca,J.,1996,**microbiologie alimentaire. Tom 1 : Aspect microbiologie de la sécurité et de la qualité des aliments. Ed Tec et Doc-Lavoisier,Paris,650p
- **Bourlioux, P., V. Braesco and D. D. G. Mater, 2011:** Yaourts et autres laits fermentés. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 46, 305-314.
- **Bourssier B. (2008) :** Amidon natifs et amidons modifiés alimentaires. France : 11
- **Bylund G., 1995.** Manuel de traitement des produits laitiers - Systèmes de traitement Tetra Pak AB S-221 86 ,Lund ,Sweden, 18 pp23-381.
- **Castro-MOREL M ,HARPER WJ.(2003).**Effect of retentateheattreatment and spray dryerinlet temperature on the properties of milk protein concentrates (MPC'S) Milch wissen schaft 58 :13-15.

- **Chandan Ramesh Ramesh C., White Charles II., Kilara Arun., Hui YH. (2006).** Manufacturing yogurt and fermented milks. USA: Blackweel publishing. 359 p.
- **Codex Alimentarius (1989)** Noms de catégorie et système international de numérotation des additifs alimentaires [archive]. CAC/GL 36-1989, p. 1-35.
- **Codex STAN 07-1999** actualisé au mois de mai 2011
- **Codex STAN 207-1999** actualisé au mois de mai 2011
- **Colonna (P.) 2001-** Amidons modifiés physiquement - . Formation Adria des 21 et 22 mars à Nantes.
- **Colonna (P.) (1998)** - Propriétés fonctionnelles des amidons - . Formation Adria des 3 et 4 juin 1998 à Paris.
- **Colonna M., Thibault M. (1985)** : Propriétés fonctionnelles des polysaccharides. Edition APRIA, Paris : 78-79-81.
- **Combo M., Agnan M., Mario A., Michel P.(2010).** Les oligosaccharides pectines: production et application possible. Support program journal of general internal medicine. Vol 25. Issue 12. P. 1315-1322.
- **Cottonna P et Thibault JF. (1986).** Propriété sensorielle de polysaccharides. Apria. Paris. p. 19-46.
- **CROSSLEY, EL.** "Science laitière moderne." *Journal de la Royal Society of Arts* (1970): 402-413.
- **Dave, R. I., Shah, N.P.:** Ingredient Supplementation Effects on Viability of Probiotic Bacteria in Yogurt, *Journal of Dairy Science*, 1998, **81**, 2804-2816.
- **Dewettinck, Koen, H DEMOOR, et André Huyghebaert. 1996.** “ La teneur en matière grasse libre des produits laitiers séchés et les propriétés d'écoulement du chocolat au lait.” *Milchwissenschaft-milk Science International* 51 (1): 25–28.
- **Doublier (J.L.)** - Caractérisation des empois, gels d'amidon et milieux complexes - . Formation Adria des 21 et 22 mars 2001 à Nantes .2001.
- **Doublier (J.L.) - Coté (I.) - Llamas (G.) - Charlet (G.) - \* -** Progress in Colloid & Polymer Science 90, 61-65. 1992.
- **DOUBLIER J.L. (1981)**, Etudes rhéologiques sur l'amidon - Comportement à l'écoulement des pâtes d'amidon de blé, *Amidon*,33, 12, 415-420
- **Doublier Z. (1986).** Interactif protéine. Polysaccharide. Které se tvoří y multifázovém to polyphosphates. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol: 52. 842 p.
- **Dupra T F., Gallant D., Guilbot A., Mercier C., Robin J.P. (1980)**, l'amidon, in : les polymères végétaux., Ed Bernard Monties, 176-231.
- **Duprat (F.) – Gallant (D.) - Guilbot (A.) - Mercier (A.) - Robin (J.P.) (1980)** - L'amidon, dans les « Les polymères végétaux » - pp 176-231, Éd. Monties Gautier-Villars, Bordas.
- **E.LEVEQUE, B. HAYE, A. BELARBI. (2000)**, *L'amidon et ses dérivés, applications industrielles*, Collection Bio Campus, Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS, P 14.
- **Fredot É., 2005.** Connaissance des aliments, bases alimentaires et nutritionnelles de l'alimentation, Lavoisier, 31-70pp
- **Fueres (P.)** - Les amidons modifiés chimiquement - . Formation ADRIA des 3 et 4 juin à Paris, 1998.

- **Gentès M. (2007)** : Utilisation de complex formés de pectine et d'isolat de protéines sériques dans la formulation de yaourt brassés Mémoire présenté pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.). La Faculté des études supérieures de l'Université Laval : 8-9
- **Germonville A. 2008** : Agents coagulants. France : 1
- **Hayloch S 1995**. Ingrédients laitiers séchés pour la confiserie. *Manuf Confect* 75:65–73
- **J.L.MULTON**. *Le sucre, les sucres, les édulcorants et les glucides de charge dans les IAA*, Collection sciences et techniques agro-alimentaires, Edition Tec&doc. Lavoisier,1992. p 286-287.
- **J.O.R.A.** N°86 du 18 Novembre 1998 (Article 2 Page 22) Arrêté interministériel du 16 jourmada-ethania 1419 correspondant au 7 octobre 1998 relatif aux spécifications techniques des yaourts et aux modalités de leurs mises à la consommation.
- **Jeantet R, Schuck P, Six T, Andre C, Delaplace G., 2010**. La vitesse d'agitation, la température et la concentration en solides influencent le temps de réhydratation de la poudre de caséine micellaire. *Science et technologie laitière* 90, 225-236.
- **JEANTET R., CROGUENNEC T., MAHAUT M., SCHUCK P. et BRULE G., (2008)** Les produits laitiers ,2ème édition, Tec et Doc, Lavoisier:
- **Journal of Animal & Plant Sciences, 2011**. Vol. 10, Issue 1: 1232- 1238
- **Smith K, (2008)** . Dried Dairy Ingredients. 60p
- **Kim, H. J., Feng, H., Kushad, M. M., & Fan, X. (2006)**. Effets des ultrasons, de l'irradiation et de l'eau électrolysée acide sur la germination des graines de luzerne et de brocoli et d'*Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Food Science*, 71(6), m168em173.
- **KURMANN(A.)**. - Etudes biotechniques sur la fermentation du yoghourt doux et aromatique. *Le Lait*, **47 (1967)**, 267, p. 415.
- **Loones, A. 1994**.Laitsfermentés Par Lesbactéries Lactique. In *Bactéries Lactiques : Aspect Fondamentaux Et Technologiques*. Vol 2. De Roissart,H.& Luquet.F.M.(Ed),Lonca, Unage, 135-154
- **Luquet F. M., Carrieu G. ( 2005)** Bactéries lactiques et probiotiques. Collection sciences et techniques agroalimentaires, *Ed Lavoisier Tec et Doc*, Paris. 307.
- **Luquet F.M. (1985)**. Laits et produits laitiers : vache, brebis, chèvre. Les laits de mamelle à la laiterie. Edition : Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, France
- **Malumba P., Jeantel. S., Deroanne C., Masimango T., Béra F. (2011)** : Structure de l'amidon de maïs et principaux phénomènes impliqués dans sa modification thermique : 315
- **Mercier, C. (1968)**. Contribution à l'étude de la structure du grain d'amidon au moyen de méthodes physiques et enzymatiques. Thèse Doctorat ès-Sciences, Paris. CNRS No A. O. 2413
- **Michon C., Cuvelier G., et Bose V. (2012)** : **Gels de biopolymères naturels pour formulation agroalimentaire** : 1-2-4-11-12
- **Moll M., Moll N. (1998)** : **Additifs Alimentaire et auxiliaires technologiques et technologie chimie et santé. Paris** : 102-103-118-119-121-128
- **Moller S. (2000)**. La reconstitution du lait. Edition: INA. Paris. P: 36.

- **Nagai, T., Makino, S., Ikegami, S., Itoh, H., Yamada, H. (2011).** Effects of oral administration of yogurt fermented with *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus* OLL1073R-1 and its exopolysaccharides against influenza virus infection in mice. *International Immunopharmacology* 11, 2246-2250.
- **Nakasaki, K., Yanagisawa, M., Kobayashi, K. (2008).** Microbiological quality of fermented milk produced by repeated-batch culture. *Journal of Bioscience and bioengineering*, 105(1): 73, 76.
- **Niro Atomizer,** Méthodes d'analyse des produits laitiers déshydratés, 4 edn, Copenhague, (1978).pp 40, 45.
- **Noznick. P.P (1982).** Ingrédients laitiers dans les aliments. Bulletin de la Fédération Internationale de Laiterie 60-66.
- **PACI KORA Enkeljda ,2004 .**Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé (janvier 2004) ,259 pages INRA PARIS GRIGNON
- **PATEL Hasmukh et PATEL Sonia ,2016.** Rapport technique « comprendre le rôle des productions laitières » Université d'état du Dakota du Sud « National Dairy Council ,2016, 16 pages
- **Rohman, A., Riyanto, S., Yuniarti, N., Saputra, W.R., Utami, R et Mulatsih, W. (2010).** Antioxidant activity, total phenolic, and total flavonoid of extracts and fractions of red fruit (*Pandanusconoides* Lam). *International Food Research Journal*, 17, 97-106.
- **Sodini I. et Beal C. (2012).** Fabrication des yaourts et laits fermentés. Ed. Technique de l'ingénieur. F6315. Pp : 02-16.
- **Sydirfrais.1997.**Yaourts, laits fermentés in « Lait ». 77 : 321-358.
- **Tamime A.Y. et Robinson R.K. (2000):** Yaourt Science and Technology, deuxième édition. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England. pp 4, 58
- **THIBAUT (J.F.) et COLONNA (P.). 1986 -** Bases moléculaires des phénomènes de gélification des polysaccharides. Dans: Propriétés fonctionnelles des polysaccharides, APRIA. Paris pp18, 30.
- **Vignola,C,I.,2002.**Science et technologie du lait transformation du lait ,ED Lvoissier,Paris ,600p.
- **Wertz J.L (2011) :** L'amidon et le PLA : deux biopolymères sur le marché : 4-5
- **Whistler R.L., Daniel J. R.** Molecular structure of starch, starch: chemistry and Technology, R.L. Whistler, J.N. Bemiller and E.F. Paschall, 153-182. 1984.

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicaces</b>	
<b>Résumé</b> .....	02
<b>Abstract</b> .....	03
<b>ملخص</b> .....	04
<b>Liste des abréviations-acronymes et sigles</b> .....	06
<b>Liste des tableaux</b> .....	07
<b>Liste des figures</b> .....	09
<b>Liste des annexes</b> .....	10
<b>Introduction</b> .....	12

### SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

#### **Chapitre I: La poudre de lait**

1. Introduction .....	16
1.1. Définition de la poudre de lait .....	16
2. Différents types de poudre de lait .....	16
2.1. La poudre de lait entier .....	17
2.2. Le lait en poudre partiellement écrémé.....	17
2.3. Le lait en poudre écrémé.....	18
3. Différents classes de poudre de lait commercialisé .....	18
4. Propriétés chimiques et physiques du lait en poudre .....	19
5. Technologie de la poudre de lait.....	20
5.1. Séchage sur cylindre .....	21
5.2. Séchage par atomisation.....	21
5.3. Processus de lyophilisation .....	22

#### **Chapitre II: Les laits fermentés type yaourt**

1. Introduction.....	24
2. La valeur nutritionnelle du yaourt.....	25
3. Classification des différents types de yaourts.....	26
3.1. Selon leur teneur en matières grasses .....	26
3.2. Selon leurs goûts.....	26
3.3. Selon leur texture.....	26
4. Les étapes de fabrication des yaourts.....	27
4.1. Réception du lait .....	28
4.2. Standardisation du mélange .....	29
4.3. Homogénéisation .....	29
4.4. Traitement thermique .....	30
4.5. Fermentation lactique .....	30

4.5.1. Ensemencement.....	30
4.5.2. Fermentation du yaourt ferme (Etuve) . .....	31
4.5.3. Fermentation du yaourt brassé .....	31
4.6. Conservation des yaourts.....	32
5. Accidents de fabrication.....	33
6. Yaourt et nutrition.....	35

### **Chapitre III: Agents texturants des produits laitiers**

1. Introduction .....	37
1.1. Définition de la texture .....	37
2. Phénomène de la gélification .....	37
2.1. Définition du gel.....	38
2.2. Classification des gels.....	38
3. Les agents végétaux de texture.....	38
3.1. Les protéines végétales.....	39
3.2. Les polysaccharides.....	39
4. Amidon.....	39
4.1. Amidon natif.....	39
4.1.1. Structure physique et chimique.....	40
4.1.2. Propriétés physiques.....	42
4.1.3. Propriétés chimiques.....	43
4.1.4. Propriétés fonctionnelles de l'amidon.....	43
4.1.5. Interactions amidon-autres constituants du yaourt.....	43
4.2. Les amidons modifiés.....	44
4.2.1. Action de la chaleur et traitement acide.....	44
4.2.2. Traitement enzymatique.....	44
4.2.3. Traitements chimiques.....	46
4.2.4. Traitements par irradiation.....	47
4.3. Classification des amidons modifiés et propriétés.....	47
4.3.1. Nature et origine.....	47
4.3.2. Les différents types d'amidon modifié.....	48
4.3.3. Conditions optimales d'utilisation d'un hydrocolloïde.....	50
a. Solubilisation et dispersion.....	50
b. Influence du traitement.....	50
c. Conservation des propriétés jusqu'à la consommation.....	51
4.3.4. Les aliments contenant de l'amidon modifié.....	52
4.3.5. Amidons et OGM.....	53

ETUDE EXPERIMENTALE

**Chapitre I: matériel et méthode**

1. méthodologie.....	56
2. Matière première.....	56
2.1. Poudre de lait.....	56
2.2. L'eau de reconstitution.....	56
2.3. Le sucre.....	56
2.4. Le ferment.....	57
2.5. L'amidon .....	57
3. Préparation du yaourt .....	57
3.1. Préparation du lait pour yaourt avec système fonctionnel à 1,5%.....	58
3.2. Préparation du lait pour yaourt avec système fonctionnel à 1%.....	58
3.3. Préparation du lait pour yaourt avec système fonctionnel à 0,5%.....	58
4. Les analyses physico-chimiques .....	59
4.1. Détermination du pH.....	59
4.2. Détermination de la densité.....	59
4.3. Détermination de l'Extrait Sec Total par dessiccateur Infra-Rouge :.....	60
4.4. Détermination de l'acidité titrable.....	61
4.5. Détermination de matière grasse (MG) par méthode GERBER .....	61
4.6. Détermination de la viscosité .....	62
5. Les analyses microbiologiques.....	63
5.1. Préparation des dilutions.....	63
5.2. Recherche et dénombrement des germes.....	63
5.2.1. Recherche et dénombrement de la flore mésophile totale (FMAR).....	63
5.2.2. Coliformes fécaux.....	64
5.2.3. Recherche et dénombrement de clostridium sulfito-réducteur.....	64
5.2.4. Salmonelles.....	64
5.2.5. Recherche et dénombrement de staphylococcus aureus.....	65
5.2.6. Recherche et dénombrement des levures et moisissures.....	65
6. Aptitude du lait à la transformation en yaourt.....	66
6.1. Préparation des yaourts.....	66
6.2. Analyses physico-chimiques des yaourts.....	67
7. L'évaluation sensorielle.....	67
7.1. Sélection du jury.....	68
7.2. L'entraînement des sujets et le contrôle des performances.....	68
7.3. Organisation des séances.....	68

### **Chapitre II: Résultats Et Discussion**

1. Aptitudes à la transformation de la matière première et des systèmes fonctionnels et valeur marchande.....	70
2. Suivi des essais de fabrication de nos yaourts.....	72
2.1. Evolution physico-chimique.....	72
2.2. Evolution microbiologique.....	76
3. Analyse sensorielle de nos essais de yaourts .....	81
3.1. L'examen visuel .....	82
3.2. L'examen olfactif .....	82
3.3. L'examen gustatif .....	82
Conclusion Générale et perspectives.....	84
Annexes.....	87
Références bibliographiques .....	96