

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**  
**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA**  
**FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUE ET BIOLOGIQUES**  
**DEPARTEMENT DE SCIENCE LA NATURE ET DE LA VIE**

**DOMAINE : SCIENCES ALIMENTAIRES**  
**OPTION : NUTRITION ET CONTROLE DES ALIMENTS**



**MEMOIRE DE MASTER**

*En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique*  
*En Sciences de la Nature et de Vie*  
*Spécialité : Nutrition et Contrôle des Aliments*

**THÈME :**

***Étude de l'influence d'amidon modifié sur la stabilité***  
***et la qualité organoleptique du yaourt brassé***

Présenté par :

***Mounia GHERBI***

Devant le jury composé de :

<b>Mme ABDELLAOUI Z.</b>	<b>MAA</b>	<b>USDB</b>	<b>Présidente</b>
<b>Mme FERNANE S.</b>	<b>MAB</b>	<b>USDB</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>MrRAMDANE S.</b>	<b>MAA</b>	<b>USDB</b>	<b>Examineur</b>
<b>MrBOUSBIA N.</b>	<b>MCB</b>	<b>USDB</b>	<b>Promoteur</b>

**Année universitaire 2012/2013**

# REMERCIANTS

Nous remercions notre créateur Allah, Grand et Miséricordieux, Le tout Puissant pour le Courage qu'il nous a donné pour mener ce travail à terme.

\*\*\*\*\*

Je commence par exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements au Dr. BOUSBIA N. qui m'a honorée en acceptant de diriger ce travail, pour ses Encouragements, ses conseils, sa disponibilité et surtout pour sa patience dans la correction de ce mémoire. J'ai été satisfaite de votre qualité exceptionnelle de bon enseignant. Merci de m'avoir guidée avec patience et d'avoir consacré autant d'heures ; je ne peux que sincèrement vous exprimer mon respect et ma gratitude

\*\*\*\*\*

Je tiens à remercier Mme Abdelaoui Z. pour avoir acceptée la présidence du jury de soutenance, qu'elle Trouve ici toutes mes expressions respectueuses.

\*\*\*\*\*

Je tiens à remercier Mme Fernane S. pour avoir acceptée de faire partie des membres du jury. Pour avoir accepté de juger ce modeste travail. Vous trouvez ici toutes mes expressions respectueuses.

\*\*\*\*\*

Je tiens à exprimer ma très grande considération, et mon profond respect à Mr. Remdan S. Je tiens à vous remercier pour tout ce que vous m'avez apporté tout au long de mes études.

N'omettons pas non plus de dire un grand merci, à l'ensemble du personnel du laboratoire de l'unité de trèfle, en particulier Mr SADEK Aniss, et Mme Karima et Mr. BENSALIM Zakaria pour leur aide technique qu'il m'ont apportée et contribué au bon déroulement de mes expériences.

\*\*\*\*\*

Je souhaite exprimer mes profonds remerciements à mes parents pour leurs soutiens et toutes leurs prières qui m'ont accompagnée tous le temps, Je leur en serai infiniment reconnaissante.

Je remercie également le reste de ma famille et plus particulièrement mon oncle DRIDI Moustafa pour leur soutien et pour l'attention qu'ils m'ont apportée tout au long de mes études. Merci d'avoir toujours été présent pour moi.

\*\*\*\*\*

J'exprime mes salutations et un grand merci à mes chères copines Djawida, Imane et Wissam pour leur élaboration à la réalisation de ce modeste travail et leur soutien, je vous aime beaucoup

Merci à tous ceux qui m'ont apportés, à tous ceux que j'oublie



*Je dédie ce travail à tous ceux que j'aime et que j'estime en particulier :*

*A mes parents qui m'ont toujours soutenue avec beaucoup d'amour*

*A ma Sœurs Lamia et mes frères Adel et Rafik*

*A la mémoire de mes très chers grands parents.*

*A mes cousins et cousines, mes tantes et mes oncles*

*A tous mes Amies*

*A tous ceux qui me sont chers, là où ils pourraient se trouver*

***Mounia***

## Résumé :

La fabrication du yaourt peut résulter en certains problèmes technologiques tels qu'une fermeté inadéquate du gel, des variations de viscosité et synérèse du lactosérum. Pour prévenir ces défauts de qualité, les industries agro-alimentaires ont enrichis les yaourts avec des agents texturants et/ou stabilisants tels que les amidons modifiés.

Notre étude a pour objectif d'explorer une formulation d'un yaourt brassé auquel on ajoute de l'amidon modifié à raison de 5 %, 10 % et 15 % de l'extrait sec total comme agent stabilisant et épaississant, étudier l'influence d'une éventuelle présence d'amidon, et démontrer s'il est possible d'améliorer les propriétés organoleptiques, obtenir un yaourt aux propriétés physico-chimiques stables et prévenir les défauts de fabrication tels qu'une fermeté inadéquate du gel, les variations de viscosité et la synérèse du lactosérum.

Le suivi de la stabilité du produit fini se fait par le contrôle des paramètres physico-chimiques (pH, extrait sec, matière grasse, viscosité), et celui de la synérèse durant 28 jours de conservation à 10°C, en complétant par un contrôle organoleptique et microbiologique.

Les résultats obtenus ont montré que l'amidon améliore d'une façon notable la viscosité du produit fini en diminuant le taux de synérèse. La stabilité des paramètres physico-chimiques du yaourt est confirmée et ont révélé que :

- La variation du pH des produits finis en fonction du temps dans les échantillons additionnés par l'amidon, ont diminué un peu plus rapidement par rapport aux échantillons témoins qui sont compris entre 4.38 et 4.19
- La teneur moyenne obtenue en extrait sec de l'essai 1 est relativement élevée par rapport aux autres échantillons avec 24,22 %; ceci est dû à la valeur importante de la poudre de lait et de l'amidon.
- L'enrichissement avec 5% et 10% d'amidon améliore d'une façon significative la viscosité et diminue le taux de synérèse.
- Les taux de matière grasse obtenus à partir des quatre essais sont assez proches et conforme aux normes, et on peut noter que leurs valeurs moyennes sont comprises entre 3.16 et 3.02
- Les analyses microbiologiques sont conformes aux normes

Les propriétés organoleptiques telles que la texture l'apparence et le Goût sont trouvés majorés.

**Mots clés :** Amidon modifié ; yaourt ; stabilité ; qualité organoleptique ; viscosité ; Synérèse

## Summary:

Yogurt is an easily digestible product with high nutritional value. It is highly appreciated by its taste and texture. The manufacture of yogurt can result in some technological problems such as inadequate gel firmness, changes in viscosity and syneresis of whey. To prevent these defects of quality, food industries have enriched yogurt with texturizing agents and / or stabilizers such as modified starches.

Our study aims to explore a formulation of a stirred yoghurt with the addition of modified starch at 5, 10 and 15 % of the total solids as a stabilizer and thickener, study the influence of possible presence of starch, and demonstrate it is possible to improve the organoleptic properties, get a yogurt stable physicochemical properties and prevent manufacturing defects such as inadequate gel firmness, changes in viscosity and syneresis whey

Monitoring the stability of the finished product is made by controlling the physical-chemical parameters (pH, solids content , fat content , viscosity), and that of syneresis during 28 days of storage at 10 ° C , by completing a control organoleptic and microbiological .

The results have shown thatIt improves starch in any noticeable way the viscosity of the finished reducing the rate of syneresis product.

- stability of physico- chemical parameters of yogurt is confirmed and revealed that :
- the change in pH of the finished product over time in samples with added starch, decreased slightly faster compared to control samples are between 4.38 and 4.19
- The resulting dry extract 1 test average grade is relatively high compared to other samples with 24.22; this is due to the high value of milk powder and starch.
- Enrichment with 5 % starch and 10 % significantly improves the viscosity decreases and the rate of syneresis.
- rates of fat obtained from four trials are quite similar and consistent with the standards , and we note that their mean values are between 3.16 and 3.02
- The organoleptic properties such as texture appearance and taste are found increased.

**Key words:** Modified starch ; yoghurt ; stability ; organoleptic quality ; viscosity ;Syneresis.

## الملخص :

الياغورتهو منتج سهل الهضم ذو قيمة غذائية عالية وذو اقبال كبير لأجل مذاقه ولمسه صناعتهم كنه أن تؤدى إلى بعض العيوب في الجودة مثل عدم كفاية ثبات الهلام، والتغير انقبالي للزوجات ارتفاع مصلا للبن . لتفادي هذا العيوب قامت بعض الشركات المصنعة بإدماج النشاء المعدل لصناعة الياغورت .

تهدف دراستنا لاستكشاف صياغة للياغورت بإدماج النشاء بما يعادل 5 % ، 10 % و 15% من إجمالي المواد الصلبة باعتبارها عاملا مستقرار ومكثف، مع اثبات تأثير وجود النشاء في تحسين الخصائص الحسية للياغورت، والحصول على ياغورت ذو خصائص فيزيائية مستقرة مع تفادي صعود مصلا اللبن طوال مدة التخزين.

اتباع استقرار المنتج النهائي يتم عن طريق التحليل الفيزيائي والكيميائية، وذلك 28 يوما من التخزين في درجة حرارة 10 درجة مئوية. مع متابعة الجودة الحسية والمكروبيولوجيا للياغورت .

قد أظهرت النتائج أن النشاء حسن بشكل ملحوظ من لزوجة الياغورت تم انخفاض معدل صعود المصل، التغيير في الرقما الهيدروجيني للمنتج النهائي مع مرور الوقت في عينات الغنية بالنشاء مع انخفاض طفيفا سر عمقارنة مع العاشاهما بين 4.38 و 4.19

المكونات الجافة للياغورت مرتفعة نسبيا بالمقارنة مع عينات أخرى مع 24.22%، وهذا يرجع إلى ارتفاع قيمة مسحو الحليب والنشاء. إضافة النشاء من 5 % نشاء و 10 % حسن بشكل جيد في انخفاض اللزوجة ومعدل المصل .

معدلات الدهون النتيمة الحصول عليها من أربعتجار بمماثلة تماما ومستقرة مع المعايير، ونلاحظ أن قيمها يعنى ما بين 3.16 و 3.02 تحصلنا على الخصائص الحسية مميزة مثل المظهر والملبس والطعم .

نتائج التحليل المكروبيولوجيا كانت مطابقة لمعايير الجودة المصادق عليها .

**كلمات جوهرية:** نشاء معدل - استقرار الياغورت - الجودة الحسية - اللزوجة - ارتفاع مصلا اللبن

# TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

RESUME

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>Etude Bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : Généralité sur le yaourt</b>	
1. Définition du yaourt.....	3
2. Classification .....	3
2.1. Selon la teneur en matières grasses.....	3
2.2. Selon leur gout .....	3
2.3. Selon leur texture .....	3
3. Les bactéries caractéristiques du yaourt.....	4
3.1. <i>Streptococcus thermophilus</i> .....	4
3.2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i> .....	4
3.3. Les interactions métaboliques entre les deux espèces microbiennes .....	5
4. Composition et Valeur nutritionnelle des yaourts .....	5
4.1. Composition des différents types de yaourt .....	5
4.2. Intérêts nutritionnels et « thérapeutique » du yaourt .....	6
4.2.1. Amélioration de la digestibilité du lactose .....	6
4.2.2. Amélioration de la digestibilité des protéines .....	6
4.2.3. Teneur en vitamines et sels minéraux .....	6
4.2.4. Effet sur la flore intestinale .....	7
4.2.5. Sensibilité aux infections et réponse immunitaire .....	7
5. Technologie de fabrication du yaourt .....	7
5.1. Standardisation du mélange .....	7
5.2. Homogénéisation .....	8
5.3. Traitement thermique .....	9
5.4. Fermentation lactique .....	9
5.5. Refroidissement .....	9
5.6. Conditionnement et stockage .....	9
6. Structure et comportement rhéologiques du yaourt .....	11
6.1. Structure des Yaourts .....	11
6.2. Comportement rhéologiques du yaourt .....	11
7. Agents texturants utilisés dans le yaourt .....	12
7.1. Les propriétés texturants d'amidon dans le yaourt .....	12
8. Principaux défauts résultant de la fabrication du yaourt .....	13
<b>Chapitre II : Les Amidons</b>	
1. Introduction .....	15
2. L'Amidon natif .....	15
2.1. Définition .....	15
2.2. Structure et composition d'amidon .....	16
2.2.1. Amylose .....	17
2.2.2. Amylopectine.....	17
2.3. Nature et origine d'amidon .....	18
2.4. Organisation moléculaire d'amidon .....	19
2.5. Propriétés physico-chimiques d'amidon .....	20
2.5.1. Propriétés chimiques .....	20
2.5.2. Propriétés physiques .....	21
2.6. Transformation hydrothermique des amidons .....	21
2.6.1. La gélatinisation .....	22
2.6.2. La Rétrogradation .....	23
3. Les amidons modifiés .....	23
3.1. Définition .....	23
3.2. Les différentes voies de modification de l'amidon .....	24
3.2.1. Pré-gélatinisation .....	24

3.2.2. Hydrolyse .....	24
3.2.3. Réticulation .....	25
3.2.4. Stabilisation .....	25
3.2.5. Oxydation .....	26
3.3. Application alimentaire d'amidon .....	26
3.4. Aspects Nutritionnels .....	26
4. Réglementation de l'usage alimentaire des amidons .....	27
<b>Matériel &amp; Méthodes</b>	
1. Lieu de stage .....	29
2. Matériel et Méthodes .....	29
2.1. Les étapes de formulation du yaourt .....	29
2.1.1. Matières premières utilisées .....	29
2.2. Formulation du yaourt .....	30
3. Méthodes d'analyses physico-chimiques .....	32
3.1. Analyses physico-chimiques de l'eau .....	32
A - Mesure du pH .....	32
B - Détermination du titre alcalimétrique simple (TA) .....	33
C - Détermination de la Valeur de titre alcalimétrique complet TAC .....	33
D - Dosage de chlorure .....	34
E - Dosage de chlore libre .....	34
F - Titre hydrométrique .....	35
3.2. Analyses physico-chimiques de la poudre de lait, et le produit fini .....	35
A - Détermination de l'extrait sec total .....	35
B - Détermination de la matière grasse .....	36
C - Mesure de pH .....	38
D - Détermination de l'acidité titrable pour la poudre du lait .....	38
E - Mesure et suivi de la synérèse pour les quatre essais .....	38
F - Mesure de la viscosité .....	39
3.3 Analyses physico-chimiques du sucre et l'amidon .....	40
A - Détermination du taux d'humidité .....	40
B - Détermination de l'indice de Brix .....	40
3.4. Analyses microbiologiques .....	41
3.4.1. Analyses microbiologique du produit fini .....	41
A - Recherche et dénombrement des coliformes fécaux et totaux .....	42
B - Recherche et dénombrement des levures et moisissures .....	43
3.5. Méthodes d'analyses Organoleptiques .....	44
3.5.1. Le jury et l'environnement de la dégustation .....	45
<b>Résultats &amp; Discussions</b>	
1. Résultats des Analyses physico-chimiques .....	46
1.1. La matière première .....	46
2. Analyses physico-chimiques des échantillons du yaourt formulé .....	49
2.1. La variation du pH en fonction de temps de conservation .....	49
2.2. Variation de l'extrait sec en fonction de temps .....	51
2.3. Variation de la matière grasse .....	52
2.4. Variation de la synérèse .....	53
2.5. Résultats de variation de la viscosité du yaourt par rapport au pourcentage d'amidon ajouté ...	55
3. Résultats d'analyse microbiologique des produits finis .....	56
4. Analyses organoleptiques .....	57
4.1. La texture .....	57
4.2. L'aspect en bouche (Monthfeel) .....	60
4.3. Le Goût .....	61
<b>Conclusion Générale</b> .....	
<b>Références bibliographique</b>	
<b>Annexes</b>	
<b>Table des matières</b>	

# SOMMAIRE

RESUME

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

**INTRODUCTION..... 1**

## **Étude Bibliographique**

### **Chapitre I : Généralité sur le yaourt**

1. Définition du yaourt.....	3
2. Classification .....	3
3. Les bactéries caractéristiques du yaourt.....	4
4. Composition et Valeur nutritionnelle des yaourts .....	5
5. Technologie de fabrication du yaourt .....	7
6. Structure et comportement rhéologiques du yaourt .....	11
7. Agents texturants utilisés dans le yaourt .....	12
8. Principaux défauts résultant de la fabrication du yaourt .....	13

### **Chapitre II : Les Amidons**

1. Introduction .....	15
2. L'Amidon natif .....	15
3. Les amidons modifiés .....	23
4. Réglementation de l'usage alimentaire des amidons .....	27

### **Matériel & Méthodes**

1. Lieu de stage .....	29
2. Matériel et Méthodes .....	29
3. Méthodes d'analyses physico-chimiques .....	32

### **Résultats & Discussions**

1. Résultats des Analyses physico-chimiques .....	46
2. Analyses physico-chimiques des échantillons du yaourt formulé .....	49
3. Résultats d'analyse microbiologique des produits finis .....	56
4. Analyses organoleptiques .....	57

**Conclusion Générale ..... 63**

### **Références bibliographique**

**Annexes**

**Table des matières**

# Listes des figures

<b>Figure 1</b>	: La symbiose des bactéries du yaourt.....	5
<b>Figure 2</b>	: Diagramme des principales étapes dans la fabrication du yaourt.....	10
<b>Figure 3</b>	: Microstructure du yaourt obtenue par microscopie électronique.....	13
<b>Figure 4</b>	: Structure et ultrastructure d'un grain d'amidon.....	16
<b>Figure 5</b>	: Structure moléculaire d'amylose.....	17
<b>Figure 6</b>	: Structure moléculaire d'amylopectine.....	18
<b>Figure 7</b>	: Diagramme de purification de l'amidon du maïs.....	19
<b>Figure 8</b>	: Microscopie électronique d'amidon de différentes sources.....	20
<b>Figure 9</b>	: Transformation hydrothermique d'un grain d'amidon.....	22
<b>Figure 10</b>	: Phénomènes d'hydratation, de gélatinisation et de rétrogradation de l'amidon.....	23
<b>Figure 11</b>	: Représentation schématique de la stabilisation par substitution.....	26
<b>Figure 12</b>	: Utilisation Alimentaire et non alimentaire de l'amidon en France en 2005-2006...	27
<b>Figure 13</b>	: Photographie de pH mètre.....	32
<b>Figure 14</b>	: Photographie de Thermo-balance.....	36
<b>Figure 15</b>	: Photographie de butyromètre.....	37
<b>Figure 16</b>	: Photographie de Viscosimètre Brookfield.....	40
<b>Figure 17</b>	: Préparation des dilutions.....	42
<b>Figure 18</b>	: Recherche et dénombrement des coliformes fécaux et totaux.....	43
<b>Figure 19</b>	: Variation du pH au cours de conservation à 10°C.....	50
<b>Figure 20</b>	: Variation de l'extrait sec au cours de temps de conservation à 10°C.....	51
<b>Figure 21</b>	: Variation de la matière grasse au cours de temps.....	52
<b>Figure 22</b>	: Variation de la synérèse au cours de temps de conservation.....	54
<b>Figure 23</b>	: Variation de viscosité par rapport à l'amidon ajouté .....	55
<b>Figure 24</b>	: Résultats d'évaluations de la texture par le jury de dégustation.....	58
<b>Figure 25</b>	: Photographie de Texture des différentes formulations du yaourt.....	59
<b>Figure 26</b>	: Résultats de l'évaluation de l'aspect en bouche par le jury de Dégustation.....	61
<b>Figure 27</b>	: Résultats de l'évaluation de Goût par le jury de dégustation.....	62

# Liste des Tableaux

<b>Tableau 1</b>	: Composition des différents types de yaourt.....	6
<b>Tableau 2</b>	: Les principaux défauts rencontrés dans le yaourt.....	14
<b>Tableau 3</b>	: Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques.....	17
<b>Tableau 4</b>	: Caractéristiques des amidons et leurs emplois selon leur origine botanique.....	21
<b>Tableau 5</b>	: Température de gélatinisation d'amidons natifs.....	22
<b>Tableau 6</b>	: Les dérivés de l'amidon.....	25
<b>Tableau 7</b>	: Les différents amidons alimentaires autorisés.....	28
<b>Tableau 8</b>	: Les différents essais de formulation du yaourt.....	31
<b>Tableau 9</b>	: Les germes recherchés dans le produit fini.....	41
<b>Tableau 10</b>	: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de process.....	46
<b>Tableau 11</b>	: Norme pour la dureté des eaux de boisson.....	47
<b>Tableau 12</b>	: Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre du lait (MG 26%).....	47
<b>Tableau 13</b>	: Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre du lait 0 %.....	48
<b>Tableau 14</b>	: Résultats des analyses physico-chimiques du sucre.....	48
<b>Tableau 15</b>	: Résultats des analyses physico-chimiques du l'amidon modifié.....	49
<b>Tableau 16</b>	: Les variations du pH au cours de la conservation à 10°C.....	49
<b>Tableau 17</b>	: Variation de l'extrait sec au cours de la conservation à 10°C.....	51
<b>Tableau 18</b>	: Résultats de la variation de la matière Grasse au cours de conservation à 10°C.....	52
<b>Tableau 19</b>	: la variation de la synérèse au cours de conservation à 10°C.....	53
<b>Tableau 20</b>	: Résultats de variation de la viscosité du yaourt.....	54
<b>Tableau 21</b>	: Les résultats d'analyses microbiologiques des produits finis.....	56
<b>Tableau 22</b>	: Répartition des réponses concernant la texture.....	57
<b>Tableau 23</b>	: Répartition des réponses concernant l'aspect en bouche.....	60
<b>Tableau 24</b>	: Répartition des réponses concernant le Goût.....	61

### INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les produits laitiers frais fermentés, comme le yaourt sont des aliments de grande consommation dans de nombreux pays. Le yaourt est un produit très digeste possédant une grande valeur nutritionnelle. Il est très apprécié par son goût et sa texture (PakiCora, 2004). La consommation du yaourt en Algérie selon l'Office National des Statistiques (ONS) dépasse largement les 67% durant l'année 2006.

La tendance actuelle du marché des denrées alimentaires oblige les industriels à formuler constamment de nouveaux produits. Certains de ces nouvelles technologies sont axés sur la modification de la texture du yaourt et sur l'amélioration de ses propriétés organoleptiques, telles qu'une certaine fermeté, viscosité ou consistance, une texture adéquate et une sensation en bouche agréable (PakiCora, 2004).

Toutefois, la fabrication du yaourt peut résulter en certains problèmes technologiques tels qu'une fermeté inadéquate du gel, des variations de viscosité et synérèse du lactosérum (Lucey, 2004). Pour prévenir ces défauts de qualité, dans de nombreux pays, il est d'usage d'enrichir les yaourts avec des agents texturants et/ou stabilisants tels que les amidons modifiés (Boursier, 2012).

Les amidons sont largement utilisés dans l'industrie, et ce depuis des millénaires. L'étude scientifique de l'amidon a été lancée en 1833, lorsque le chimiste français *Anselme PAYEN*, montra que l'amidon est composé de groupes glucidiques (Anonyme, 2010). Cependant, même aujourd'hui les utilisations alimentaires de l'amidon sont multiples et vont bien au-delà de son rôle nutritionnel d'origine. Sous sa forme native, peut aussi être modifié (transformé) selon différentes voies pour lui donner de nouvelles fonctions, Il possède beaucoup de propriétés physiques et chimiques qui le différencient d'autres ingrédients alimentaires (Anonyme, 2008).

Le choix des amidons modifiés pour une application alimentaire est principalement relié aux procédés de fabrication, car ils résistent aux traitements thermiques, aux traitements mécaniques intenses et ils sont tolérants au pH acide. Les amidons modifiés sont les plus fréquemment utilisés en raison de leurs faibles coûts (Gentés, 2011).

Dans ce contexte, le but de ce travail est d'explorer l'impact de l'utilisation de l'amidon modifié sur la stabilité du yaourt brassé durant la période de conservation et son influence relative sur l'amélioration de sa qualité organoleptique. En effet, l'aspect du produit est un critère primordial dans notre étude. On désire en fait que le produit soit stable, consistant et onctueux.

Pour cela, on a posé dans la problématique la question suivante :

- Est-ce que l'addition de l'amidon modifié dans le yaourt brassé va influencer la qualité physico-chimique et améliorer les caractéristiques organoleptiques du produit ?

Pour répondre aux questions posées nous proposons la démarche méthodologique, qui consiste à présenter :

- ❖ En premier chapitre : une généralité sur le yaourt et les différentes étapes de fabrication
- ❖ En deuxième chapitre : s'articule sur l'amidon natif et modifié.
- ❖ Une partie expérimentale consacrée à :
  - l'étape de formulation du yaourt ;
  - analyses physico-chimiques de la matière première ;
  - le suivi de la stabilité de la qualité physico-chimique du produit fini durant la période de conservation ;
  - analyses microbiologiques du produit fini ;
  - analyse sensorielle ;
- ❖ Une conclusion générale clôture cette étude.

## 1. Définition du yaourt

Le yaourt ou yoghourt est le lait fermenté le plus consommé, d'après l'organisation mondiale de l'alimentation (FAO) et l'organisation mondiale de la santé (OMS) en 1976 : le yaourt résulte de la fermentation du lait par deux bactéries lactiques thermophiles: *Streptococcus salivarius, subsp. thermophilus* (anciennement dénommé *Str. thermophilus*), et *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* (anciennement dénommé *L. bulgaricus*). Cette fermentation conduit à la prise en masse du lait. Le coagulum obtenu est ferme, sans exsudation de lactosérum. Il peut être consommé en l'état ou après brassage lui donnant une consistance crémeuse ou liquide. Il peut aussi être congelé et consommé comme une glace.

L'ajout des additifs (agent de texture...etc.) dans le yaourt est autorisé par la réglementation de la majorité des pays. Lors de cette étude bien que les agents de texture soient ajoutés au produit, seule la dénomination yaourt sera retenue pour faciliter la lecture (Mahaut et al., 2000).

## 2. Classification

Il existe en fait, selon Frédot (2005), plusieurs types de classification :

### 2.1. Selon la teneur en matières grasses

- *Les yaourts maigres* : inférieurs à 1% de matières grasses ;
- *Les yaourts ordinaires naturels* : 1% minimum de matières grasses ;
- *Les yaourts au lait entier* : 3,5% de matières grasses.

### 2.2. Selon leur goût

- *Les yaourts naturels* : ils ne subissent aucune addition ;
- *Les yaourts sucrés* : ils sont additionnés de sucre ;
- *Les yaourts « aux fruits », au miel, à la confiture* : ils subissent une addition inférieure à 30% des différents produits ;
- *Les yaourts « aromatisés »* : ils contiennent des arômes naturels renforcés par un produit de synthèse.

### 2.3. Selon leur texture

- *Les yaourts « fermes »* : ils sont les yaourts coagulés en pots ; de texture compacte, ferme.
- *Les yaourts « brassés »* : ils sont les yaourts coagulés en cuve et brassés avant la mise en pot ;
- *Les yaourts « à boire »* : ce sont des yaourts coagulés en cuve, brassés et battus avant la mise en pot, leur texture est liquide.

### 3. Les bactéries caractéristiques du yaourt

Pour bénéficier de l'appellation yaourt, l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 1995), impose la seule présence des deux bactéries lactiques thermophiles : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

#### 3.1. *Streptococcus thermophilus*

La bactérie *Str. thermophilus* est un cocci Gram positif, anaérobie facultative, non mobile. On le trouve dans les laits fermentés et les fromages. C'est une bactérie dépourvue d'antigène du groupe D, thermorésistante, sensible au bleu de méthylène (0,1%) et aux antibiotiques. Elle est aussi résistante au chauffage de 60°C pendant 30 minutes, elle est isolée exclusivement du lait et des produits laitiers sous forme de coques disposées en chaînes de longueurs variables ou par paires. Sa température optimale de croissance varie entre 40 et 50°C. Son métabolisme est du type homofermentaire (Lamoureux, 2000).

Le rôle principal de *Str. thermophilus* est la fermentation du lactose du lait acide lactique et en plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture dans les laits fermentés. Elle augmente la viscosité du lait par production des polysaccharides (Bergamaier, 2000).

#### 3.2. *Lactobacillus bulgaricus*

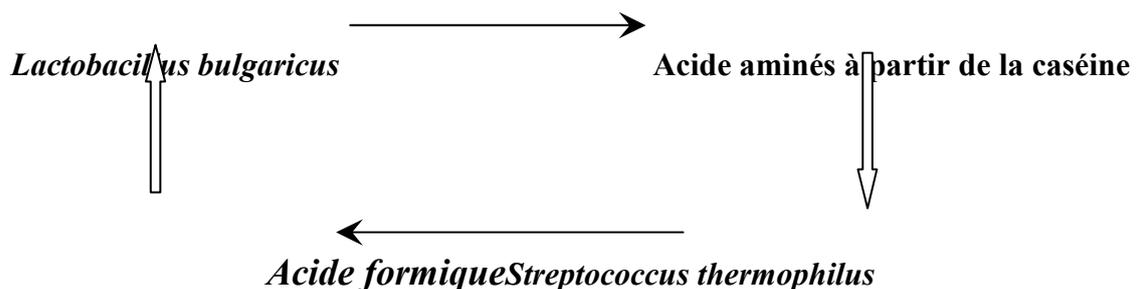
La souche bactérienne *L. bulgaricus* est une bacille Gram positif immobile, asporulé, microaérophile. Il est isolé sous forme de batonnets ou chaînettes. Il possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide comme principal produit final à partir des hexoses de sucre par voie d'Embden Meyerhof, il est incapable de fermenter les pentoses (Robert, 2006).

*L. bulgaricus* est une bactérie thermophile très exigeante en calcium et magnésium, sa température optimale de croissance est d'environ 42°C. Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement de la qualité organoleptique et hygiénique du yaourt (Marty et al., 2000).

Il y a de nombreux exemples d'associations bactériennes dans les produits laitiers. L'exemple le plus classique est la symbiose observée dans le yaourt, avec *Str. thermophilus* et *L. bulgaricus*. La production d'acide est nettement plus élevée lorsque ces bactéries croissent ensemble plutôt que séparément (Carole et Vignola, 2002).

### 3.3. Les interactions métaboliques entre les deux espèces microbiennes

Lors de la production de yaourt, l'utilisation combinée de *Str. thermophilus* et *L. bulgaricus* permet de valoriser l'interaction indirecte positive existant entre ces deux espèces. Cette interaction, appelée protocoopération se traduit d'abord par une augmentation des vitesses d'acidification par rapport aux vitesses observées en cultures pures. Un accroissement des concentrations bactériennes est observé en parallèle. Elle induit également une amélioration de la production des composés d'arômes (acétaldéhyde notamment) et de la stabilité physique du produit (réduction des problèmes de synérèse). La stimulation de *Str. thermophilus* par *L. bulgaricus* est réalisée grâce à l'activité protéolytique du lactobacille, qui libère des petits peptides et des acides aminés au profit du streptocoque. En retour, *Str. thermophilus* fournit de l'acide formique et du CO<sub>2</sub> qui, tout deux, vont stimuler la croissance de *L. bulgaricus*. Lorsque d'autres bactéries, notamment probiotiques, sont associées aux bactéries du yaourt, d'autres interactions prennent place, par exemple, les bifidobactéries sont stimulées par l'activité protéolytique des lactobacilles alors que *L. bulgaricus* limite le développement de *L. acidophilus* (phénomènes de compétition et d'inhibition). En outre, des phénomènes de croissance associative ont été démontrés entre *Str. thermophilus* et *L. helveticus* ou *L. acidophilus*. Enfin, des mécanismes d'inhibition spécifique entre les souches, liés à la production de bactériocines, existent chez les bactéries probiotiques comme chez les bactéries du yaourt (Béal et Sodini, 2003).



Utilisé par *Lactobacillus bulgaricus* utilise ces acides aminés

Figure 1: La symbiose des bactéries du yaourt (Frédot, 2005).

## 4. Composition et Valeur nutritionnelle des yaourts

### 4.1. Composition des différents types de yaourt

Généralement, un pot de yaourt nature possède la même valeur nutritive qu'un verre de lait. La composition des différents yaourts est regroupé dans le tableau 1 où les taux des principaux constituants diffèrent de la façon suivante :

- Protéine 4 à 5% ;
- Lipide à un taux variable
- Glucides : 5 à 20% selon qu'il est nature ou sucré.

Au cours de la fermentation, la composition du lait subit un certain nombre de modifications. Certaines de ces modifications en font un produit de meilleure valeur que le lait (Mahaut et al., 2000).

**Tableau 1** : Composition des différents type de yaourt.

Composition Type de yaourts	Teneur moyenne pour 100g de produit					
	Protides (g)	Lipides( g)	Glucides (g)	Calcium (mg)	Valeur énergétique	
					kJ	kcal
Yaourt nature	4,3	1,1	4,8	170	200	50
Yaourt nature au lait entier	4,1	3,5	4,7	151	300	70
Yaourt nature maigre	4,5	0,3	4,9	150	200	50
Yaourt nature sucré	3,9	0,9	13,4	155	330	80
Yaourt maigre sucré	4	0,1	13,8	150	300	70
Yaourt aromatis	4	1	14,5	150	350	85
Yaourt aromatisé maigre	4,3	0,1	7,1	160	200	50
Yaourt a boire nature sucré	2,9	1,2	12,9	110	310	75
Yaourt a boire nature aromatisé	2,9	1,4	13,3	107	330	80
Yaourt au lait entier au fruit	2,7	1,6	13,5	107	335	80

(Source : Guy,2008).

## 4.2.Intérêts nutritionnels et « thérapeutique » du yaourt

### 4.2.1.Amélioration de la digestibilité du lactose

La présence de bactéries lactiques vivantes permet une meilleure assimilation du lactose chez les sujets déficients en lactase. La lactase bactérienne est en effet toujours active lors du passage des bactéries dans le tractus intestinal. Elle hydrolyse le lactose résiduel contenu dans le yaourt (30 g/L). Il a été établi que les bactéries doivent être vivantes dans le yaourt au moment de sa consommation pour que cette fonctionnalité soit active(Béal et sodini, 2003).

### 4.2.2.Amélioration de la digestibilité des protéines

L'assimilation des protéines du lait est meilleure s'il est consommé sous forme de yaourt ou de lait fermenté. En effet, du fait de l'activité protéolytique des bactéries lactiques, les produits fermentés contiennent plus d'acides aminés libres que le lait avant la fermentation. De plus, les protéines contenues dans ces produits sont plus digestes que celles du lait. Leur structure, plus ouverte après le traitement thermique et la coagulation, facilite l'action des enzymes protéolytiques pendant le transit intestinal(Béal et Sodini,2003).

### 4.2.3.Teneur en vitamines et sels minéraux

Le calcium contenu dans les yaourts et les laits fermentés présente une meilleure biodisponibilité que celui du lait. Différents travaux ont montré qu'il est mieux absorbé et utilisé dans le yaourt que dans le lait. Enfin, la composition vitaminique du lait est modifiée pendant la fermentation, en particulier les concentrations en vitamines du groupe B. Il faut cependant souligner qu'il existe une forte variabilité inter-souches(Mahaut et al.,2000).

#### 4.2.4. Effet sur la flore intestinale

Un certain nombre de travaux chez l'animal montrent que l'ingestion de laits fermentés est susceptible de modifier la flore intestinale de l'hôte, en particulier, diminuer la quantité de germe indésirable.

L'ingestion de lait fermenté par *Lactobacillus acidophilus* est susceptible de réduire le nombre d'*Escherichia coli* dans les selles qui contiennent alors considérablement plus de *L.acidophilus* qui fait partie de la flore intestinale humaine (Anonyme, 1995).

#### 4.2.5. Sensibilité aux infections et réponse immunitaire

L'ingestion de laits fermentés semble entraîner des modifications des défenses immunitaires à plusieurs niveaux. C'est ainsi que l'on a suggéré la possibilité d'une augmentation de certaines immunoglobulines après ingestion de yaourt ou de *Lactobacillus acidophilus* ou encore de *L casei*, ainsi qu'un rôle dans la migration des macrophages périphériques vers le foie (Anonyme, 1995).

Les différents constituants. Pour évaluer et comparer les caractéristiques des gels, il importe d'effectuer plusieurs tests rhéologiques/physiques puisque ces derniers donnent une information complémentaire.

### 6. Technologie de fabrication du yaourt

La fabrication du yaourt comporte plusieurs étapes (Figure 2). La production débute par la standardisation du mélange laitier suivie de l'homogénéisation et du traitement thermique. Le mélange laitier est ensuite refroidi à la température d'inoculation puis les ferments lactiques sont ajoutés. La mise en pot est effectuée pour les yaourts fermes. La fermentation lactique se déroule entre 3 à 6 heures à 42 – 43 °C. La fermentation est arrêtée lorsque le pH atteint 4,6. Les yaourts fermes sont refroidis à 4 °C tandis que les yaourts brassés sont conditionnés. Cette dernière étape comprend le refroidissement, le brassage, le lissage et la mise en pot (Gentés, 2011).

#### ➤ Choix du lait

La principale matière première pour la fabrication des yaourts est le lait, dont pour l'essentiel le lait de vache. Lorsque l'on fabrique du yaourt, on utilise un lait enrichi. La composition du mélange laitier est généralement de 4 % de protéines dont 3,2 % de caséines et 0,8 % de protéines sériques avec une teneur en matière grasse de 0 à 3 % selon le type de produit désiré (Tamine et Robinson, 1999). Il peut être soit du lait frais, soit du lait reconstitué (à partir du lait en poudre) le lait ne doit pas non plus contenir de résidus de substances tels que les antibiotiques (Luquet et al., 2005).

#### 6.1. Standardisation du mélange

La standardisation du mélange laitier permet non seulement de pallier aux variations de composition du lait mais aussi, à obtenir la composition désirée. Cette standardisation peut s'obtenir par l'ajout de concentrés et d'isolats de protéines sériques, de poudre de lait écrémé ou

entier, de lactose et de crème en fonction de la teneur désirée en protéines, solides totaux et matières grasses (Tamine et Robinson, 1999).

➤ **Standardisation en matières grasses**

La teneur en matières grasses du lait cru varie entre 3,8 et 4,2 %. Les teneurs en matières grasses des yaourts est comprises entre moins de 1 % pour les yaourts maigres, à 3,5 % commerce sont pour les yaourts au lait entier, voire plus pour certaines références, comme le «yaourt à la grecque». Il est donc nécessaire de standardiser le lait de fabrication à la teneur en matières grasses souhaitée pour le produit fini(saveur et arômes). Pour cela, le lait est tout d'abord écrémé, puis mélangé avec la crème dans les proportions souhaitées(Béal et Sodini,2003).

➤ **Enrichissement en protéines**

La teneur en matières azotées totales du lait de vache, exprimée en équivalent protéines, fluctue pendant l'année entre 2,9 et 3,7 %. En conséquence, le lait standardisé en matières grasses doit être enrichi en protéines laitières pour former un yaourt consistant et exempt de synérèse. Les quantités de protéines ajoutées sont variables et dépendent de la texture recherchée (yaourt à boire, yaourt ferme, yaourt brassé, yaourt à sucer). Les taux protéiques finaux sont compris entre 3,2 et 5 %.

L'enrichissement du lait en protéine par de la poudre de lait écrémé ou du lait concentré est la technique la plus largement répandue dans l'industrie(Cheftel,2013). Les protéines laitières jouent un rôle clé dans la formation du gel en lui conférant une texture unique, de l'élasticité et de la fermeté (Tamine et Robinson,1999).

➤ **Addition éventuelle de sucre**

Le lait peut être additionné de sucre avant la fermentation, à hauteur de 5 à 10 %. Le sucre est généralement constitué de saccharose, cristallisé ou sous forme liquide (sirop) (Béal et Sodini,2003).

➤ **Les agents texturants**

Dans le cas de yaourt brassé, des agents de texture (épaississants et gélifiants) sont souvent ajoutés. Ils améliorent l'apparence, la viscosité et la consistance des yaourt (Paci Kora,2004).

Des polysaccharides (pectine, amidon, xanthane, ...etc) peuvent également être utilisés comme stabilisants dans les yaourts(Gentés,2011).

## **6.2.Homogénéisation**

Ce traitement est pratiqué dans le cas de laits gras ( $25 \cdot 10^6$  Pa à 55 – 60°C) soit en phase montante de la pasteurisation.L'homogénéisation évite la remontée de la matière grasse pendant la coagulation, améliore la rétention de l'eau et la fermeté du produit fini (Mahaut et al.,2000).

### 6.3. Traitement thermique

La fabrication de yaourt requiert un traitement thermique sévère ( $> 75\text{ °C} / 10\text{min}$ ) afin de dénaturer irréversiblement plus de 99 % des protéines sérique, ce traitement a pour but de :

- Détruire les micro-organismes pathogènes pouvant être présents et la plus grande partie de la flore banale.
- Dénaturer une partie importante des protéines solubles, ce qui a pour conséquence d'augmenter la capacité de rétention d'eau du yaourt et de permettre à ces protéines de se fixer sur la caséine. Ce double phénomène modifie les propriétés rhéologiques du coagulum acidifié: le caillé est plus ferme, la tendance à l'expulsion de sérum au cours du stockage (Anonyme,1975).

### 6.4. Fermentation lactique

#### ➤ Ferments

L'ensemencement d'une culture de *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* doit se faire à un taux assez élevé pour assurer une acidification correcte (Mahaut et al.,2000).

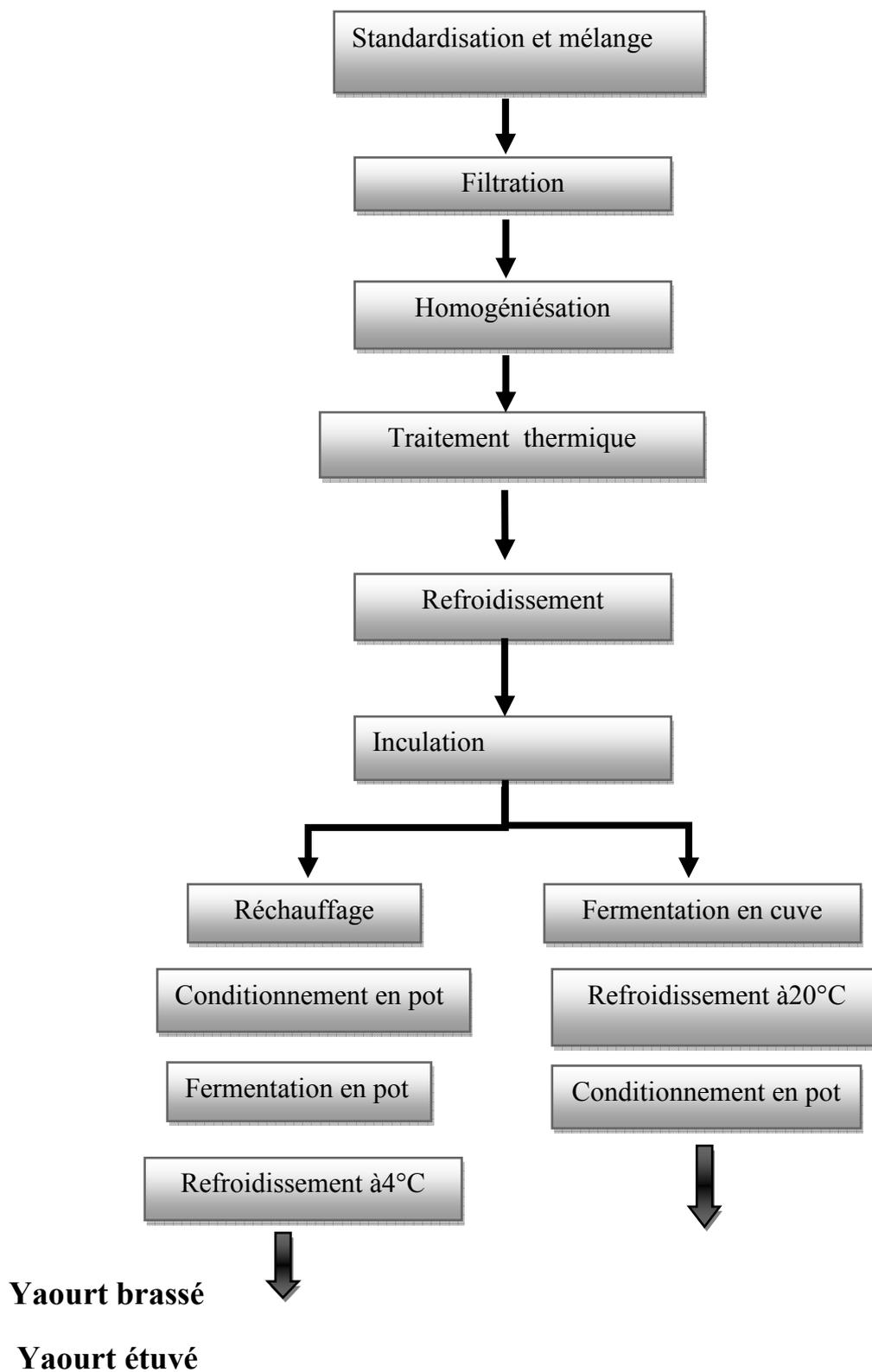
La culture utilisée estensemencée a raison de 2%. Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange lait /ferment

### 6.5. Refroidissement

- A. Dans le cas des yaourts fermes** : la fermentation lactique se déroule directement dans les pots. L'étape du conditionnement se résume donc au refroidissement du yogourt ferme à la température d'entreposage lorsque le pH de refroidissement sert, en partie, à arrêter la fermentation puisque la croissance des bactéries cible de 4.6 est atteint. Les thermophiles sont ralenties à moins de  $10\text{°C}$  (Tamine et Robinson, 1999). Les technologies de refroidissement utilisées sont: le transfert immédiat des pots dans une chambre réfrigérée ou par le passage dans un tunnel de refroidissement (Lucey, 2004).
- B. Pour les yaourts brassés** :le conditionnement englobe les étapes de refroidissement, de lissage, d'ajout de saveurs/fruits et de mise en pot. Le refroidissement s'amorce par un premier brassage du caillé dans la cuve à fermentation préalable à l'étape du lissage. (Tamine et Robinson, 1999).

### 6.6. Conditionnement et stockage

Le conditionnement est réalisé soit dans des emballages préfabriqués dans des usines spécialisées (pots en verre, coupes ou bouteilles en plastique rigide obtenues par moulage) soit dans des emballages formés directement sur la machine de conditionnement (pots en plastique semirigide)(Béal et Sodini,2003). Les yaourts possède une durée de conservation relativement longue à  $4\text{ °C}$  (environ 1 – 2 mois). Le respect de la chaîne de froid à  $4\text{ °C}$  tout au long de sa durée de conservation est essentiel afin d'éviter une post-acidification du produit fini(Gentés,2011).



**Figure 2 :** Diagramme des principales étapes dans la fabrication du yaourt (Carole et Vignola,2002).

## 6. Structure et comportement rhéologiques du yaourt

La transformation de lait en yaourt s'accompagne de la mise en place d'une structure complexe et un changement important des propriétés rhéologique en passant d'un liquide à un gel a destruction non réversible. Les additifs et les étapes du procédés de fabrication jouent également un rôle sur le comportement rôle majeur sur le compertement réhologique du yaourt qui sera apprécié par le consommateur(Paci Kora,2004).

### 6.1. Structure des Yaourts

#### a) Gélification acide

L'acidification du lait lors de la fermentation lactique engendre l'agrégation de micelles de caséines à l'origine de la formation du réseau caséique qui est le yaourt. Au pH naturel du lait (pH 6.6 – 6.7), les micelles de caséines sont chargées négativement (potentiel zeta de -15 mV). L'abaissement graduel du pH engendre la neutralisation progressive des micelles de caséines pour une neutralisation complète à pH 4.6 (0 mV) c'est-à-dire au point isoélectrique des caséines. Un autre changement physico-chimique s'opère lors de la neutralisation de charge : la diminution du degré d'hydratation des micelles de caséines. En effet, au pH normal du lait, les micelles de caséines sont entourées de molécules d'eau permettant de les protéger et de les stabiliser(Lucey,2004). La formation du gel ainsi que les propriétés rhéologiques (viscosité, modules élastiques et visqueux, texture) et physiques (aptitude à la synérèse) résultantes peuvent être caractérisées par plusieurs tests rhéologiques et physiques(Gentés,2011).

### 6.2. Comportement rhéologiques du yaourt

#### a) La Viscosité du yaourt

Le yaourt est défini comme un fluide viscoélastique, il possède donc à la fois les propriétés visqueuses d'un liquide et les propriétés élastiques d'un solide.

Le comportement rhéologique du yaourt est de type newtonien,dans ce sens où la viscosité du produit dépend de la vitesse de cisaillement. La loi de Newton s'écrit :

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \text{constante}$$

Où :

$\mu$ = La viscosité (Pa.s)

$\tau$ = Contrainte de cisaillement (Pa)

$\dot{\gamma}$  = Vitesse de cisaillement ( $s^{-1}$ ).

Dans le cas du yaourt, la viscosité diminue quand la vitesse de cisaillement augmente (Paci Kora,2004).Différents appareils de laboratoire sont utilisés pour caractériser les propriétés visqueuses à savoir le viscosimètre Brookfield (Tamine et Robinson,1999).

## 7. Agents texturants utilisés dans le yaourt

En industrie alimentaire, il est d'usage d'ajouter des agents de texture à la formulation des yaourts. Le rôle principal de ces agents est d'obtenir un yaourt de bonne stabilité avec la texture désirée (Tamine et Robinson, 1999).

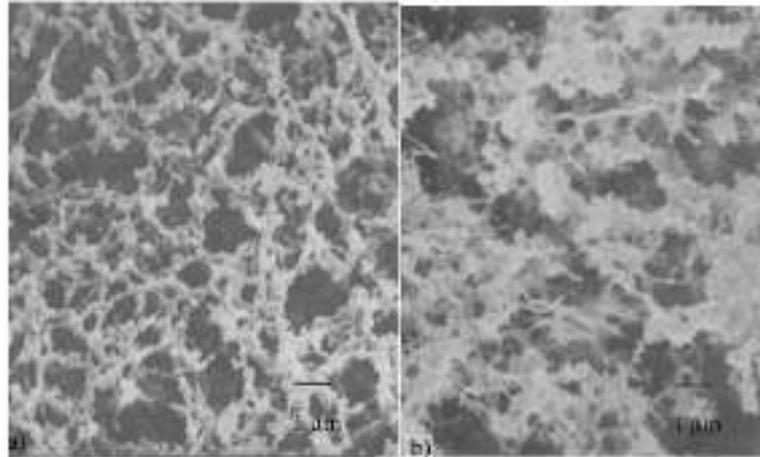
Il s'agit de polysaccharides ayant la capacité de gélifier ou d'accroître la viscosité et la rétention d'eau du gel (Tamine et Robinson, 1999). Les agents stabilisants fréquemment utilisés sont la pectine, la gélatine, la carraghénane, la gomme xanthane, l'amidon et la gomme de caroube. Ils peuvent être ajoutés séparément ou en mélange (synergie), dépendant de leurs propriétés fonctionnelles et de leur concentration (Gentès, 2011). Les manipulations successives du gel lors de la fabrication du yaourt (brassage, pompage...etc.), le fragilisent et le rendent moins consistant en favorisant la synérèse. Des agents de texture sont alors des macromolécules hydrosolubles qui conduisent à une fixation de l'eau et augmentation de la viscosité d'aliments. En général, les macromolécules texturantes forment des réseaux tridimensionnels par les liaisons avec des constituants du yaourt ou les ions de calcium (Tamine et Robinson, 1999), parmi les agents de texture pouvant intervenir dans la fabrication du yaourt brassé nous avons choisi l'amidon modifié de plus en plus utilisé dans les industries.

### 7.1. Les propriétés texturantes d'amidon dans le yaourt

En Amérique du Nord, il est d'usage d'utiliser des amidons pour la stabilisation des yaourts afin de prévenir les défauts de fabrication tels que la synérèse. L'ajout d'agents stabilisants comme l'amidon permet de prévenir la synérèse en limitant la mobilité de l'eau dans les pores de la matrice due à sa forte capacité de rétention d'eau. La limitation de diffusion d'eau par des polysaccharides permet également d'augmenter localement le volume des pores de même que l'hydratation des caséines causant une amélioration de la viscosité (Duboc et Mollet, 2001). L'emploi d'un complexe de protéines-polysaccharides, dans la formulation des yaourts brassés, pour stabiliser la viscosité apparente, minimise la synérèse et permet d'obtenir une fermeté désirée.

Pour améliorer la caractéristique de fermeté du yaourt, l'utilisation d'un polysaccharide chargé négativement comme agent stabilisant est requis. En effet, les polysaccharides anioniques peuvent interagir avec les caséines chargées positivement à pH acide renforçant ainsi la fermeté des gels. À l'opposé, les polysaccharides neutres ne peuvent former de liaisons électrostatiques. Conséquemment, leurs propriétés fonctionnelles sont plutôt reliées à l'augmentation de la viscosité de la phase continue et à la rétention accrue du lactosérum (Everett et McLeod, 2005). Dépendant du ratio amylose sur amylopectine, les granules d'amidon natif n'étaient pas solubles dans l'eau, un chauffage est nécessaire. Ainsi le chauffage d'une suspension d'amidon dans un excès d'eau à des températures supérieures à 60°C, conduit un gonflement irréversible des granules d'amidon et à leur solubilisation. Lors de refroidissement les macromolécules d'amylose et d'amylopectine se réorganisent et s'associent c'est ce que l'on nomme la rétrogradation, ce phénomène se traduit par une augmentation de la viscosité des solutions, voire une formation d'un gel. Dans le yaourt, plus la concentration en amidon était élevée, plus le réseau caséique était compact entraînant ainsi une amélioration de la viscosité des laits fermentés. Les fabricants

recommandent les quantités à employer. Un des critères pour choisir le stabilisant est son effet sur le goût et l'arôme du yaourt. L'utilisation d'amidon confère au produit fini un goût de céréale (Oh *et al.*, 2007).



**Figure 3 :**Microstructure de yaourt obtenue par microscopie électronique.  
a) sans additifs. b) avec 2% d'amidon pré-gélatinisé (Tamine et Robison, 1985).

## 8. Principaux défauts résultant de la fabrication du yaourt

La fabrication de yogourts peut engendrer certains défauts de qualité comme une texture inadéquate et de la synérèse (Tableau 2). Dans le cas du yogourt, Les défauts de texture sont principalement un gel trop mou ou trop ferme, un manque d'onctuosité de même qu'une sensation en bouche râpeuse/sableuse (Lucey, 2004). Pour contrôler et/ou éviter ces défauts il est possible de :

- 1) Standardiser la composition des mélanges laitiers,
- 2) Optimiser le procédé de fabrication
- 3) Ajouter des agents stabilisants (Gentès, 2011).

**Tableau 2** :Les principaux défauts rencontrés dans le yaourt.

Type de défauts	Commentaire
<b>Défauts de texture</b>	
<i>Décantation et synérèse</i>	liée le plus souvent à une mauvaise conduite de la fermentation due à une température trop élevée ou à une durée de refroidissement trop longue ;
<i>Production degaz</i>	due à un présence de coliforme ou levure
<i>Couche de crème</i>	lorsque l'homogénéisation est insuffisante ou absente ;
<i>Décalottage</i>	due à une agitation ou vibration pendant le transport faisant suite à une refroidissement mal conduit en chambre froide ;
<i>Manque de fermeté</i>	lorsque l'ensemencement est trop faible (tempset /ou température trop faible) ;
<i>Consistance trop liquide</i>	(yaourt brassé)lorsque le brassage est trop violent, la matière sèche trop faible, le temps d'incubation trop court ou lors de l'utilisation de ferments pas assez filants et épaississants ;
<i>Texture granuleuse</i>	mauvais brassage, teneur en matière grasse trop élevée.
<b>Défauts de Goût</b>	
<i>Amertume</i>	Se développent lorsque l'activité protéolytique des ferments est trop importante ;
<i>Acidité trop forte</i>	lorsque la conduite de la fermentation n'est pas maîtrisée :taux d'ensemencement trop élevé, incubation trop long, refroidissement trop lent ou pas assez poussé ;
<i>Goût levuré</i>	fruité ou d'alcool lorsqu'il y a contamination par levures
<i>Absence d'arôme</i>	résultant d'une teneur en matière sèche trop faible, d'un déséquilibre de la flore (trop de streptocoques)
<i>Goût farineux</i>	quand le poudrage est trop important

(Source : Mahout *et al.*,2000).

### 1.Introduction

Un additif alimentaire est une substance, dotée ou non d'une valeur nutritionnelle, qui est ajoutée intentionnellement à un aliment, dans un but précis d'ordre technologique, sanitaire, organoleptique ou nutritionnel. Les additifs peuvent être d'origine minérale (les sulfites, nitrates, nitrites), végétale (certains épaississants extraits de graine, d'algues ou de fruits), ou animale (certains colorants tels que le rouge de cochenille). Ils peuvent être également des produits de transformation de substances naturelles ; c'est le cas de certains agents de texture, comme les amidons transformés.

L'amidon est un polysaccharide présent naturellement dans les céréales, pommes de terre et légumineuses. D'une manière générale, ce glucide est l'une des principales sources d'énergie de l'alimentation humaine et animale, mais c'est aussi un élément de structure, de texture ou de consistance de beaucoup de préparations culinaires.

L'amidon est largement utilisé dans l'industrie, et ce depuis des millénaires. L'étude scientifique de l'amidon a été lancée en 1833 lorsque le chimiste français ANSELME Payen, montra que l'amidon est composé de groupes glucidiques.

Cependant, même aujourd'hui, 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 différencient d'autres ingrédients alimentaires, ces propriétés lui donnent sa grande diversité d'application. Utilisé couramment dans l'industrie alimentaire comme agent épaississant et gélifiant. Il est responsable de la texture d'une grande diversité d'aliments. Les industriels et les fabricants des aliments doivent se familiariser avec la structure, les caractéristiques et le comportement de l'amidon afin d'utiliser ses propriétés.

### 2. L'Amidon natif

#### 2.1.Définition

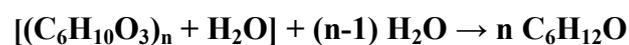
L'amidon classé après la cellulose, constitue la principale substance glucidique présente dans le monde végétal, il est synthétisé, par les végétaux supérieurs à partir de l'énergie solaire et constitue une réserve en soi même. Il constitue une source énergétique indispensable à l'alimentation des êtres vivants ; Les sources d'amidon les plus importantes sont les céréales (40 à 90% du poids sec des grains), les tubercules (65 à 58%) et les légumineuses (30 à 70 % pour les plus riches). Certains fruits sont également riches en amidon (banane). De par sa polyvalence et sa disponibilité, l'amidon natif ou modifié est probablement les polysaccharides les plus importants dans l'industrie alimentaire. En 2000, la production mondiale d'amidon était estimée à 48,5 million de tonnes (Warner, 2010).

## 2.2. Structure et composition d'amidon

L'amidon est un homopolymère de D-glucose. Les unités D-glucosyl sont liées majoritairement par des liaisons de type  $\alpha$  1,4 (95 – 96 %) et, dans une moindre mesure, par des liaisons de type  $\alpha$  1,6 (4 – 5 %). L'amidon est composé de deux polymères de structure primaire différente : l'amylose molécule linéaire et, l'amylopectine molécule ramifiée (tableau 3). L'amidon natif contient environ 75 % de molécules d'amylopectine (Boursier, 2012).

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 :



Les grains d'amidons (figure 4), se présentent sous forme de particules blanches semi-cristallines, insolubles dans l'eau mais capables de gonfler légèrement à température ambiante en présence d'un excès d'eau. D'une façon très simplifiée, l'organisation des grains d'amidon résulte de l'agencement de l'amylose et de l'amylopectine en zones amorphes et cristallines disposées de manière concentrique à partir du hile. La cristallinité des amidons serait due essentiellement aux chaînes en double hélice de l'amylopectine ; la cohésion des zones cristallines est assurée par des liaisons hydrogène intermoléculaires (Gallant, 1997).

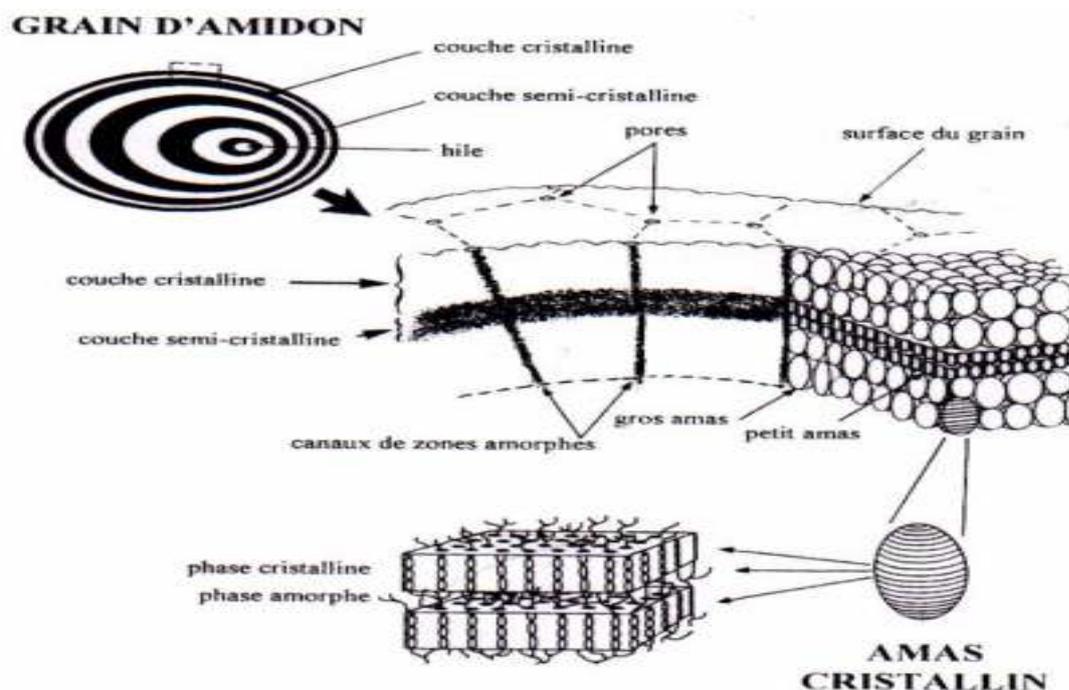


Figure 4: Structure d'un grain d'amidon (Leveque, 2000).

**Tableau 3** : Teneur en amylose et amylopectine des amidons de différentes sources botaniques.

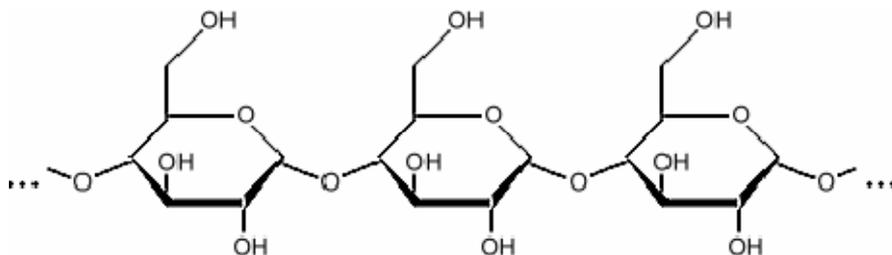
Source botanique	Amylose (%)	Amylopectine (%)
Maïs	28	72
Blé	28	72
Pomme de terre	21	79
Maïs cireux (1)	0	100
Amylo-maïs	50 – 80	50 – 20
Riz	17	83
Pois	35	65
Manioc	17	83

(Source : Chene, 2004).

### 2.2.1. Amylose

Amylose est une macromolécule linéaire (figure 5) de masse moléculaire variable (2,104 à 3,105). Formée l'unité de  $\alpha$ ,D-glucopyranose liées en  $\alpha 1 \rightarrow 4$ .

Selon les conditions physico-chimiques (concentration,hydratation, température, pH, présence d'ions..), l'amylose peut exister sous divers forme dans une solution (Frénot, 2001).



**Figure 5**: Structure moléculaire d'amylose (Tara, 2005).

### 2.2.2. Amylopectine

L'amylopectine est une macromolécule (figure 6), fortement ramifiée formée de résidus D-glucose reliés par entre eux par des liaisons  $\alpha(1,4)$ . Ces chaînes linéaires sont reliées entre elle par des ramifications en  $\alpha(1,6)$ , représentant 5 à 6% du nombre total de liaisons, le DP (degré de polymérisation) de la molécule d'amylopectine est très variable. La structure primaire de l'amylopectine montre des zones cristallines et des zones moins denses, ramifiées, l'amylopectine est cristallisée dans le grain d'amidon. Mais lorsqu'on chauffe la solution dans l'eau, la cristallisation disparaît car la molécule absorbe beaucoup d'eau et devient amorphe. Le grain d'amidon gonfle, la viscosité du milieu augmente (Frénot, 2001).

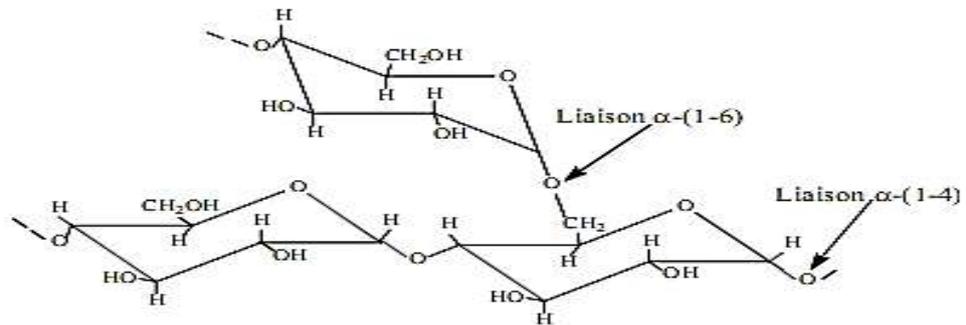


Figure 6: Structure moléculaire d'amylopectine(Tara, 2005).

### 2.3.Nature et origine d'amidon

Les matières premières les plus utilisées industriellement sont le maïs et la pomme de terre qui contiennent respectivement 71 et 74% d'amidon rapporté à l'extrait sec. Le blé (76%), le manioc et le riz (environ 90% d'amidon sur extrait sec) représentant des volumes plus faibles. Le choix de la matière première repose plutôt sur les caractéristiques de texture apportées par le type d'amidon ; cette texture est fortement influencée par la teneur en amylose(Lakache, 2006).

La préparation industrielle de l'amidon s'effectue essentiellement à partir des céréales (figure 7). Les grains de maïs et de blé sont les deux principales sources. L'amidon de maïs est obtenu dans le cadre d'un procédé dit par voie humide alors que le blé correspond à un procédé dit par voie sèche pour l'obtention de la farine(Pouquelet, 2008).

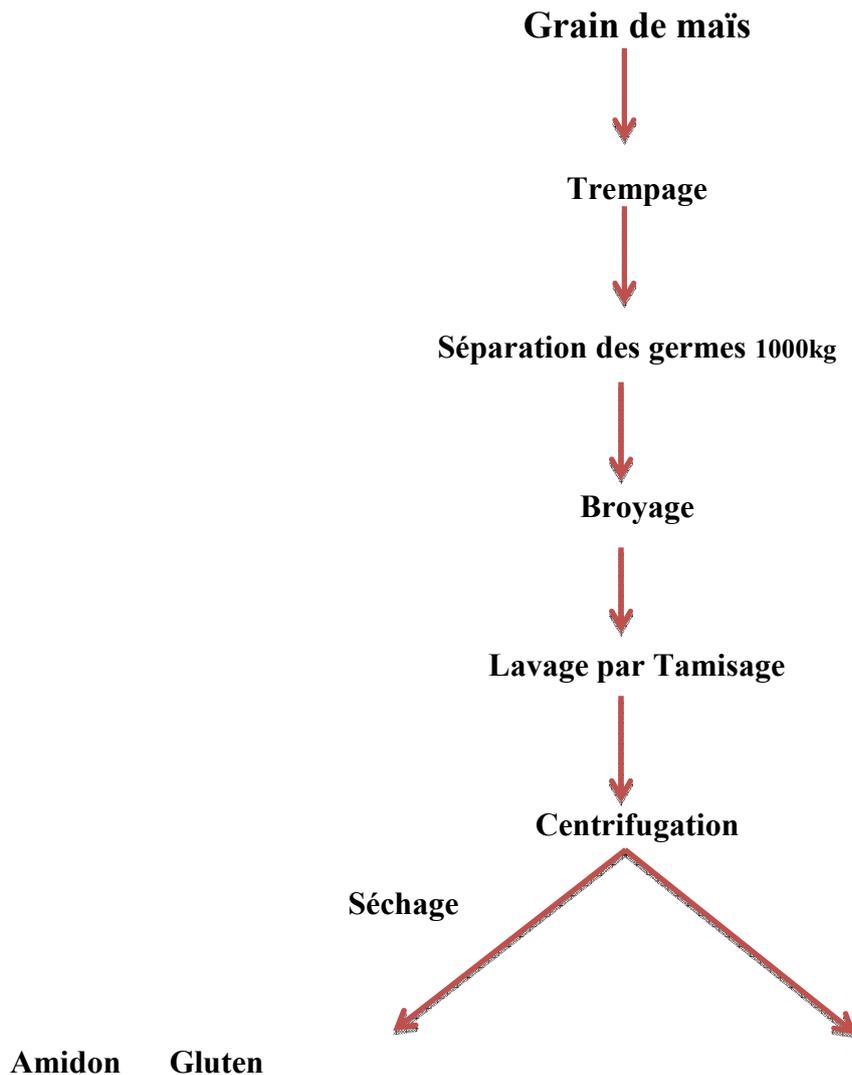


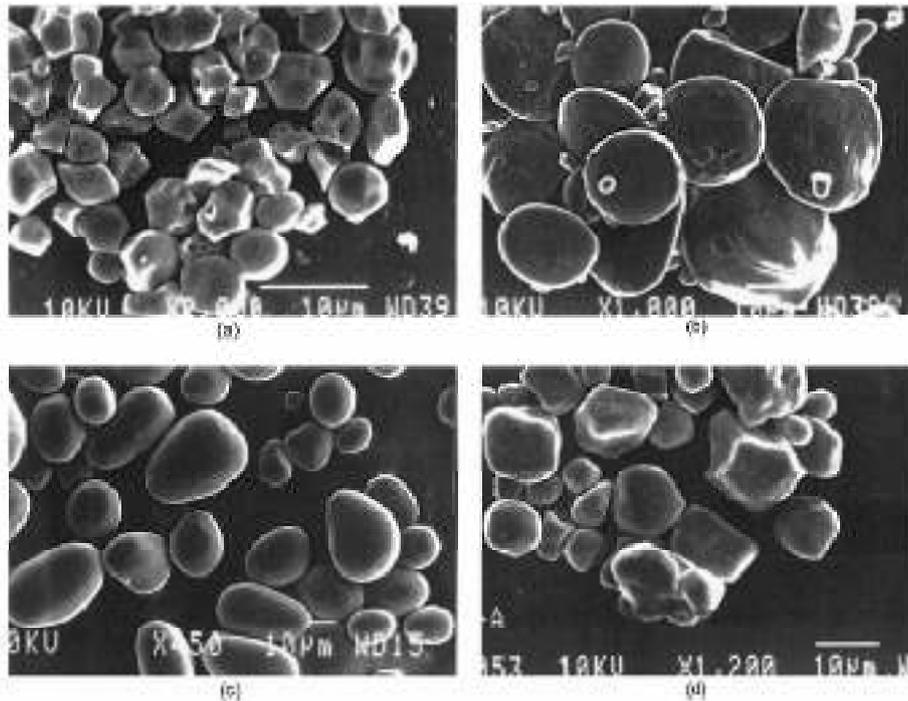
Figure 7 : Diagramme de purification de l'amidon du maïs (Romain, 2006).

#### 2.4.Organisation moléculaire d'amidon

L'amylose et l'amylopectine sont disposées au niveau d'entités granulaires semicristallines. Les cristaux ont un diamètre de 100 – 150  $\mu\text{m}$ . On distingue trois types de morphologie selon leur diagramme de diffraction aux rayons X :

- **Morphologie A** : caractéristique des amidons de céréales.
- **Morphologie B** : caractéristique des amidons de tubercules, de céréales riches en amylose (> 40 %) et des amidons rétrogradés.
- **Morphologie C** : intermédiaire entre les deux autres et caractéristique des amidons de légumineuses et de racines.

Le plus souvent, il est admis que la cristallinité des amidons est essentiellement due aux molécules d'amylopectine bien qu'aucune preuve n'existe pour en exclure l'amylose (French, 1984).



**Figure 8** : Microscopie électronique d'amidon de différentes sources : riz (a), blé (b), pomme de terre (c) et maïs (d) (Singh et *al.*, 2003).

## 2.4. Propriétés physico-chimiques d'amidon

### 2.4.1. Propriétés chimiques

Selon Dupin (1999), 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 les mêmes traitements peuvent conduire à la formation d'amidons modifiés.

### 2.4.2. Propriétés physiques

L'amidon a comme tout produit, des propriétés physiques qui lui sont propres (tableau 4). 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 elle 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.

**Tableau 4:** Caractéristiques des amidons et leurs empois selon leur origine botanique.

Propriétés	Mais	Mais cireux	Pomme de terre	Manioc	Blé
Taille des grains d'amidon ( $\mu\text{m}$ )	2 – 30	2 – 30	5 – 100	4 – 35	2 – 55
d'amylose (%)	28	<2	21	17	28
Pouvoir de gonflement à 95°C	24	64	1150	71	21
Texture de l'emploi	Courte	Filante	Très filant	Filante	Courte
Aspect de l'emploi	Opaque	Légèrement trouble	Translucide	Translucide	Trouble
Résistance au cisaillement	Moyenne	Très faible	Moyenne à faible	Très faible	Moyenne
Tendance à la gélification	Élevée	Très faible	Moyenne à faible	Moyenne	Élevée

(Source : Nayouf, 2003).

### 2.5. Transformation hydrothermique des amidons

Du fait de sa structure chimique, l'amidon est fortement hydrophile ; par ailleurs, les régions cristallines et amorphes réagissent de différentes manières. À température ambiante, l'eau pénètre plus facilement dans les régions amorphes des grains et interagit avec les molécules d'amidon par l'intermédiaire de liaisons hydrogène, ce qui conduit à un léger gonflement des grains d'amidon (figure 9); toutefois ce gonflement est réversible lors du chauffage, le gonflement des grains d'amidon s'accompagne d'une perte de la structure cristalline : c'est le phénomène irréversible de gélatinisation. Au cours du chauffage, on assiste à une

modification importantes des propriétés rhéologiques : la viscosité augmente progressivement puis diminue. Cette étape d'empesage est suivie lors du refroidissement de la gélification puis du phénomène de rétrogradation qui consiste en une recristallisation partielle des structures moléculaires (Nayouf, 2003).

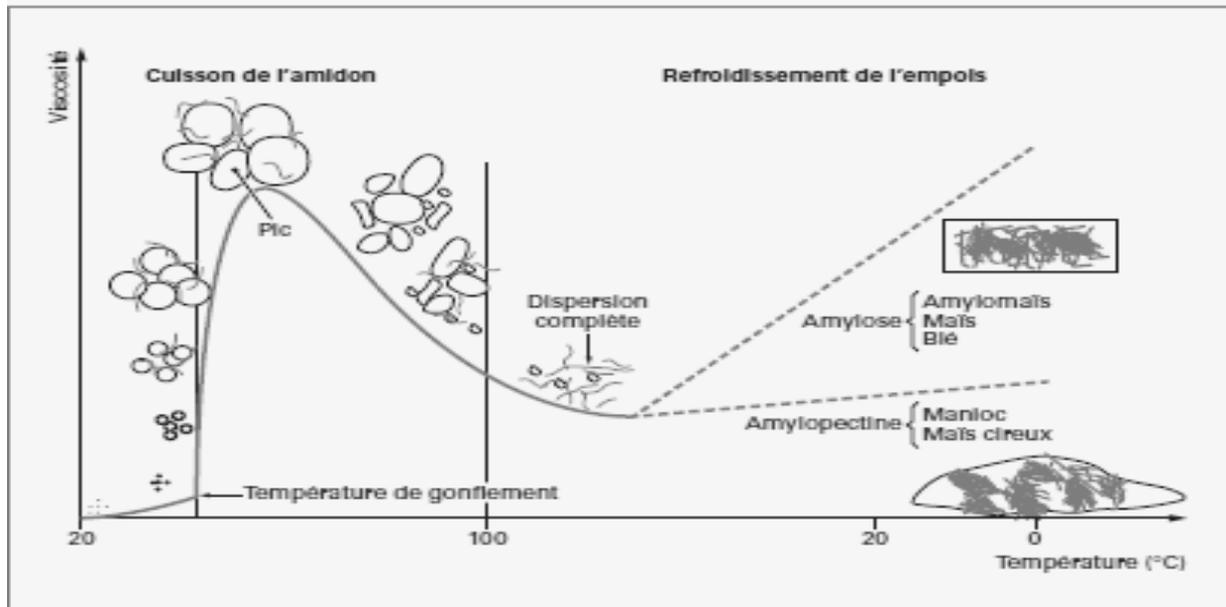


Figure 9 : Transformation hydrothermique d'un grain d'amidon (Buléon et al., 1990).

### 2.5.1. La gélatinisation

La viscosité maximale est obtenue quand l'empois d'amidon renferme un grand nombre de grains très gonflés. Quand on continue de chauffer, les grains vont éclater et le matériel va se disperser dans le milieu. Cependant, la solubilisation n'interviendra que pour des températures supérieures à 100°C. Les complexes amylose-lipide présentent des retards au gonflement car l'association empêche l'interaction de l'amylose avec les molécules d'eau et il faut des températures supérieures à 90°C pour obtenir le gonflement total des grains (cas de l'amylomais complexé aux lipides). La disparition des grains et la solubilisation des macromolécules entraînent une diminution de la viscosité (Bouquelet, 2008).

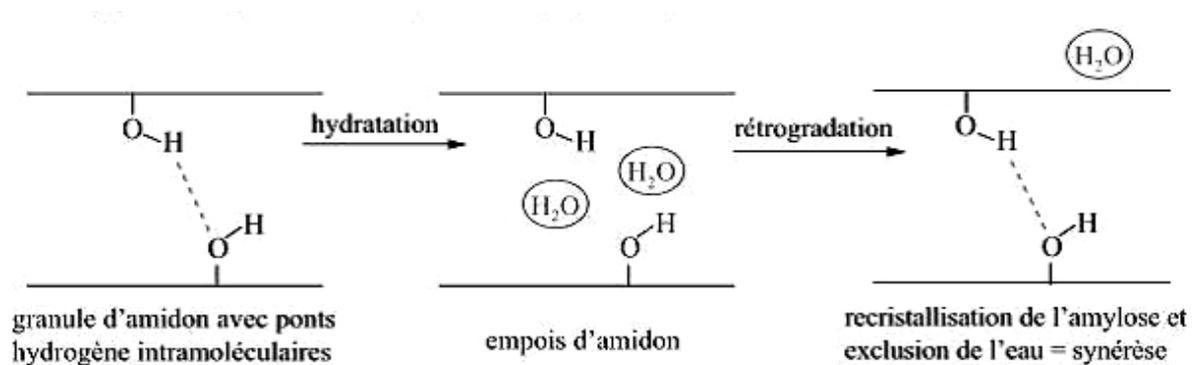
Tableau 5 : Température de gélatinisation d'amidons natifs.

Amidon	Température de gélatinisation
Blé	54 – 69
Riz	66 – 82
Mais	68 – 79
Pomme de Terre	58 – 71

(Source : Sndic et al., 2009).

### 2.5.2. La Rétrogradation

L'abaissement de température (par refroidissement) de l'empois d'amidon provoque une insolubilisation des macromolécules et une séparation des phases due à l'incompatibilité entre amylose et amylopectine puis on assiste à une cristallisation de ces macromolécules. Ce phénomène est connu sous l'appellation de rétrogradation (figure 10). Quand un empois renferme de l'amylose, c'est cette première molécule qui subira la rétrogradation. Elle consistera tout simplement à la formation de double hélice et à l'association de ces dernières pour former des « cristaux, type B » qui donneront par l'intermédiaire de zone de jonction un réseau tridimensionnel (Bouquelet, 2008).



**Figure 10** : Phénomènes d'hydratation, de gélification et de rétrogradation de l'amidon (Werner, 2010)

## 3. Les amidons modifiés

La gamme d'amidons natifs n'est pas toujours suffisante pour couvrir toutes les applications des industries alimentaires. Certaines propriétés des amidons peuvent en limiter l'application industriels alimentaires (insolubilité à froid, rétrogradation, synérèse). D'autre part, les amidons natifs ne résistent pas toujours bien aux procédés industriels qui utilisent souvent les températures élevées, des pH extrêmes et des conditions de cisaillement fort. 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.

### 3.2. Définition

Selon la norme ISO N°1227-1979, l'amidon modifié est un amidon dont une ou plus de ses propriétés physiques ou chimiques sont modifiées. Ces propriétés peuvent être modifiées par des procédés physiques et/ou chimiques ou biotechnologiques.

### 3.3. Les différentes voies de modification de l'amidon

D'après Werner et *al.*(2010), les modifications se classent en quatre catégories principales :

- Prégélatinisation
- Hydrolyse
- Réticulation
- Substitution ou stabilisation

#### 3.3.1. Pré-gélatinisation

Les amidons pré-gélatinisés sont classés dans la catégorie de la modification physique. Ils sont utilisés pour les produits dites instantanés, préparés à froid, pour lesquels la viscosité doit se développer sans cuisson. Ils sont obtenus par traitement thermique et séchage, se font par séchage sur tambour, par cuisson-extrusion ou par atomisation.

La structure granulaire de l'amidon est perdue lors du procédé. Les amidons pré-gélatinisés retiennent certaines caractéristiques des amidons à basse température ; la texture des produits reconstitués peut être contrôlée par des conditions de pré-gélatinisation notamment la taille des particules après mouture.

#### 3.3.2. Hydrolyse

Ces amidons sont traités par voie chimique ou enzymatique pour réduire la taille des polymères. Leur viscosité est ainsi réduite et la solubilité améliorée. Ce type d'amidon modifié peut être employé à des concentrations élevées, en confiserie par exemple :

➤ *Hydrolyse enzymatique*

Il permet une plus large diversité dans la composition glucidique. L'amidon est hydrolysé par différentes espèces d'amylase (L'alpha-amylase : elle coupe les liaisons 1-4 des amyloses).

➤ *Hydrolyse chimique*

Ce procédé consiste en une hydrolyse acide des liaisons glucidiques de l'amidon, en milieux aqueux à une température inférieure à la température de gélatinisation (<60°C). Des acides minéraux (Acide chlorhydrique, sulfurique, ...etc.). Le processus conduit à l'hydrolyse de la liaison  $\alpha$ -(1,4) et  $\alpha$ -(1,6). On observe en premier lieu, une dégradation de l'amylopectine suivie par celle de l'amylose. Il en résulte des amidons conservant essentiellement leur structure cristalline et ne gonflant que peu lors de la gélatinisation. Ce phénomène donne des produits hautement gélifiés à texture gommeuse.

### 3.3.3.Réticulation

La réticulation est un procédé qui a créer de nouvelles liaisons entre les macromolécules de l'amidon afin d'en renforcer la structure. Il permet, par un contrôle précis du taux de réticulation, d'adapter la viscosité de l'amidon au niveau désiré et d'améliorer la résistance à l'acidité, à la chaleur et au cisaillement.

La réaction de réticulation a lieu sur une suspension à 20 – 50 °C en milieu alcalin, en présence d'agents ayant la propriété de réagir avec deux groupements hydroxyles pour établir une nouvelle liaison covalente. Les différents dérivés de l'amidon sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau 6:** Les dérivés de l'amidon.

Modification chimique	Modification physique	Modification enzymatique
Dextrone	Dextrines	Cyclodextrines
Amidon réticulés	Amidon pré-gélatinisés	Maltodextrines
Amidon substitués	Amidon extrudés	sirop de maltose
Sirops de glucose		

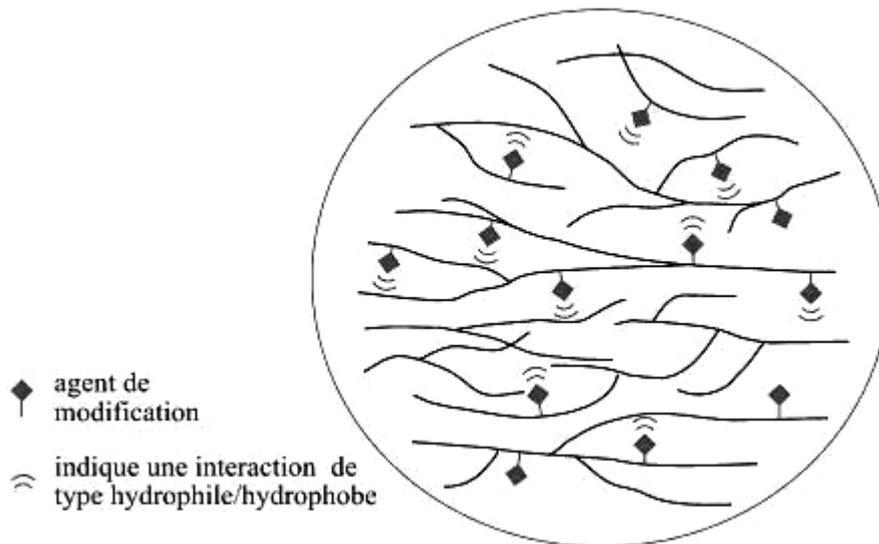
(Source : Romain et *al.*, 2006).

### 3.3.4.Stabilisation

Le traitement de stabilisation (figure 11) a pour objectif de remplacer une partie des groupements hydroxyles (–OH) par groupe chimique plus volumineux qui va limiter les possibilités de réassociation moléculaire aux cours de refroidissement et du stockage. L'effet principal de ce traitement est donc une amélioration de la stabilité de l'amidon et la synérèse en inhibant la rétrogradation. Boursier (2012), indique que La stabilisation de l'amidon autorise son emploi comme épaississant dans :

- **Les aliments conservés à 4 °C** : produits laitiers, plats cuisinés, ...etc.
- **Les aliments surgelés** : plats cuisinés, garniture de tarte, croquettes, ...etc. ;
- **Les aliments de longue conservation** : conserves.

Les amidons employés dans ces applications présentent souvent une double modification: réticulation pour résister aux conditions de fabrication et, stabilisation pour assurer la conservation. Les répulsions créées par l'introduction d'agents stabilisants jouent également dès la phase d'hydratation des granules, ce qui se traduit par une diminution de la température de gélatinisation des amidons stabilisés.



**Figure11** : Représentation schématique de la stabilisation par substitution(Werner *et al.*, 2010).

### 3.3.5.Oxydation

La réaction conduit principalement à l'oxydation des groupements hydroxyles puis à la rupture des liaisons carbone-carbone, il se produit donc une dépolymérisation accompagnée de la formation de groupement carboxyles (-COOH). Les amidons oxydés forment donc des gels moins forts que les amidons traité à l'acide, les amidons oxydés ont une viscosité réduite à chaud et une température de gélatinisation plus basse, sont utilisés dans des applications où des viscosités intermédiaires sont souhaitées en même temps qu'une bonne stabilité(Boursier,2012).

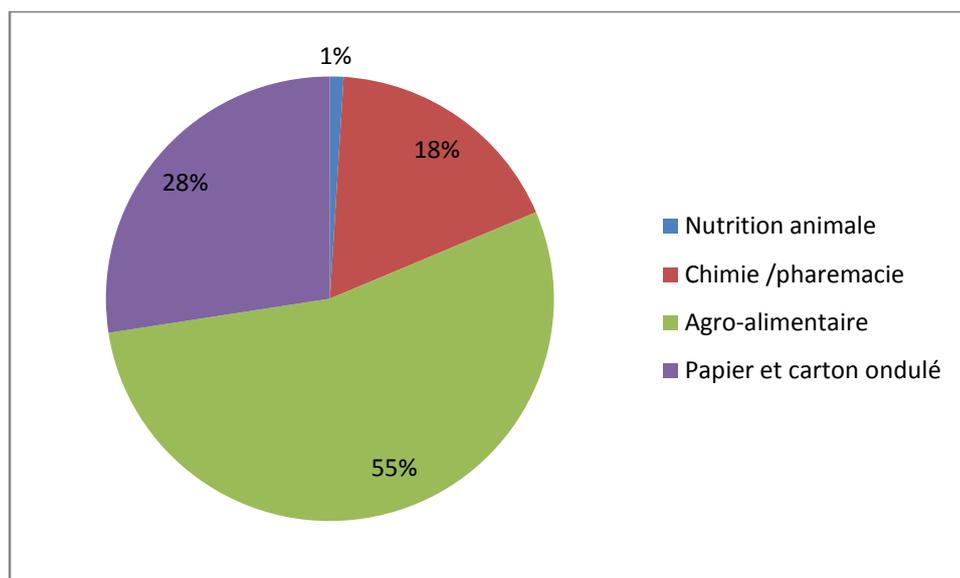
### 3.6.Application alimentaire d'amidon

Les utilisations alimentaires de l'amidon sont multiples et vont bien au-delà de son rôle nutritionnel d'origine. Pratiquement toutes les industries alimentaires utilisent l'amidon ou ses dérivés, que ce soit sous forme d'amidons natifs ou modifiés ou encore de produits d'hydrolyse. L'amidon peut être considéré comme un ingrédient multifonctionnel dans l'industrie alimentaire, présente certains inconvénients au niveau des caractéristiques organoleptiques des produits finis comme agent épaississant et stabilisant. Les secteurs concernés par l'utilisation d'amidons modifiés sont nombreux : boulangerie-pâtisserie, boissons, produits laitiers, glaçages, nappages, sauces et aliments infantiles, préparations à base de poisson ou de viande (Eliasson, 2004).

### 3.7. Aspects Nutritionnels

Les glucides jouent un rôle essentiel dans l'alimentation humaine et ils fournissent près de la moitié des besoins énergétiques de l'homme dans une alimentation normale (4.19 – 4.22kCal). Ils sont présents dans la plupart des aliments de base et on distingue entre les glucides assimilables ou digestibles et les glucides non assimilables, appelée fibres alimentaires. L'autre fonction

importe de certain glucides est leur caractéristiques organoleptique, car ils donnent un gout sucré très apprécié (Werner et *al.*,2010).



**Figure12:** Utilisation alimentaire et non alimentaire de l'amidon en France durant 2005-2006(Abecassiset Bergez, 2009).

Pour un même amidon, plusieurs modifications peuvent être réalisées. Les combinaisons autorisées de traitements conduisent à l'obtention des amidons suivants :

- **Amidons réticulés** : par des ponts créés entre les molécules afin de renforcer les ponts hydrogène déjà présents sont plus adaptés aux aliments qui subissent des cuissons à température élevée ;
- **Amidons stabilisés** : par des substitutions réalisées au niveau des radicaux hydroxyles libres par des liaisons ester (acétates d'amidon) ou éthers (amidons hydroxypropylés) conviennent aux aliments qui subissent un long stockage à basse température ;
- **Amidons mixte** : comme, par exemple, les phosphates ou les adipates des diamidon acétylés (Multon, 2002).

#### 4. Réglementation de l'usage alimentaire des amidons

D'après le comité FAO–OMS (1995), un additif alimentaire est défini comme une substance dotée ou non d'une valeur nutritionnelle, ajoutée intentionnellement à un aliment dans un but technologique, sanitaire, organoleptique ou nutritionnel.

Son emploi doit améliorer les qualités du produit fini sans présenter de danger pour la santé, aux doses utilisées. Il peut être d'origine naturelle, ou artificielle : produits de transformation de substances naturelles (amidons transformés comme agents de texture etc.) ou encore être un arôme de synthèse. L'additif porte la mention « E » pour « Europe », suivie d'un numéro d'identification. Sa présence et la dose doivent être précisées sur l'emballage. Ce sont à

l'époque moderne les amidons modifiés (E 1404 à E 1451), la cellulose et ses dérivés (E 460 à E 466) et les gommages (Bourrier, 2006).

La directive 95/2/CE, qui est actuellement en vigueur considère les amidons modifiés comme des additifs alimentaires autorisés selon le principe du (QUANTUM SATIS) dans toutes les denrées alimentaires (tableau 7), à l'exception l'amidon (E1442, le phosphate de di-amidon hydroxypropylé) est largement utilisé dans les yaourts fabriqués. En Algérie, il est listé comme stabilisant, épaississant, liant, émulsifiant (Zhiri, 2011).

Lecodex alimentarius (2003), l'attribue à vaste gamme d'aliments divers dont les produits laitiers, et à n'importe quelle dose (BPF).

**Tableau 7:** Les différents amidons alimentaires autorisés.

Code CCE	Nom de la Modification	Modification
E 1412	Phosphate de di-amidon	Réticulation phosphate
E 1414	Phosphate de di-amidon acétylé	Réticulation phosphate Stabilisation acétate
E 1420	Amidon acétylé	Estérifié à l'anhydride acétique ou à l'acétate de vinyle
E 1422	Adipate de di-amidon acétylé	Réticulation adipate Stabilisation acétate
E 1440	Amidon hydroxypropylé	Stabilisation hydroxypropyle (par l'oxyde de propylène)
E 1442	Phosphate de di-amidon hydroxypropylé	Réticulation phosphate Stabilisation hydroxypropyle
E1450	Octénylesuccinate d'amidon sodique	

CEE : La Communauté économique européenne

(Source : Multon, 2002).

## Matériel et Méthodes

Le but de ce travail est d'explorer une formulation d'un yaourt brassé additionné par l'amidon modifié comme agent stabilisant et épaississant. Étudié l'influence d'une éventuelle présence d'amidon dans un produit fini sur l'amélioration de la qualité sensorielle du yaourt à savoir la texture, viscosité et son rôle préventive de synérèse et suivi de la stabilité et la qualité physicochimique de quatre échantillons de yaourt brassé pendant quatre semaines réfrigérées à une température fixe de 10°C.

### 1. Lieu de stage

Notre travail s'est effectué durant une période de deux mois : Avril - Mai de l'année 2013 au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de l'Unité de Trèfle<sup>®</sup> – Blida, Algérie.

## 2. Matériel et Méthodes

- ❖ **Verreries** : verreries courantes de laboratoire (voir Annexe 2).
- ❖ **Appareillage** : appareillage courants de laboratoire.

### 2.1. Les étapes de formulation du yaourt

#### 2.1.1. Matières premières utilisées

Pour la préparation de la recette, nous disposons de matières premières suivantes :

- La poudre de lait de 0% et 26% de matière grasse ;
- Sucre ;
- Eau traitée ;
- Amidon modifié E1442 (Phosphate de diamidon hydroxypropylique) ;
- Les ferments lactiques.

#### a) Poudre du lait

Elle est obtenue à partir d'un lait cru ayant subi une déshydratation par la chaleur. Dans notre étude nous avons utilisé deux choix de poudre de lait, il s'agit de la poudre de lait à 26% et 0% de matière grasse.

Les prélèvements sont réalisés au hasard à partir des sacs, à l'aide d'une paire de ciseaux désinfectés, on écarte à chaque reprise la couche superficielle de la poudre avec une spatule flambée pour réduire le risque de contamination ; le prélèvement est réalisé avec une cuillère stérile.

#### b) Eau de process

La première étape du prélèvement de l'eau de process consiste à nettoyer la vanne d'eau, la désinfecter à la flamme et laisser couler une certaine quantité du liquide avant de faire le prélèvement, ce dernier s'effectue en soutirant une quantité suffisante dans un flacon stérile et inerte.

### c) Sucre

Le sucre utilisé dans nos recettes est le saccharose ou appelé aussi sucre de table. Le prélèvement du sucre est réalisé de la même manière que la poudre dulait.

### d) Ferments lactiques

Le ferment utilisé dans notre étude se compose de deux souches thermophiles spécifiques pour le yaourt (*Str. Thermophilus* et *L. bulgaricus*). La quantité de ferments utilisée est de l'ordre de 0,2g, pesé à l'aide d'une balance de précision à 0,01 g près.

### e) Amidon

L'amidon utilisé dans notre étude est le phosphate de diamidonhydroxypropylique (E1442), cet amidon modifié figure dans la liste des additifs standard international publié par le *Codex alimentarius* comme stabilisant, épaississant, liant et émulsifiant, il est affecté à une vaste gamme d'aliments divers, et sans limite supérieure de dosage.

## 2.2. Formulation du yaourt

La formulation du yaourt est réalisée au niveau du laboratoire, en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt standard. Les essais de formulation (tableau 8) de ce yaourt sont basés sur la variation de deux facteurs technologiques à savoir :

- le taux de protéine (poudre du lait) ;
- le taux d'amidon.

Les étapes de formulation du yaourt sont les suivantes :

- 1 – Chauffer l'eau à 45°C pendant 10min ;
- 2 – Peser les ingrédients à l'aide d'une balance de précision ;
- 3 – Mélanger uniformément l'amidon avec les autres solides (la poudre du lait à 26% et 0% de MG ainsi que le sucre) et incorporer le tout directement dans l'eau chaude ;
- 4 – Homogénéiser le mélange avec une forte agitation qui permet la dissolution complète de la poudre du lait avec les autres ingrédients ;

5 – Après homogénéisation, mélanger le reste à un certain temps d'hydratation pendant une demi-heure ;

6 – Procéder ensuite à une étape de traitement thermique, température comprise entre 90 à 95°C pendant 5 min.

7 – Laisser le mélange refroidir jusqu'à atteindre 45°C puis ensemer ce dernier par les bactéries lactiques thermophiles suivi par homogénéisation légère et rapide.

8 – Le produit ainsi préparé a subi une maturation pendant 4h à 45°C dans une écuve.

9 – Après maturation on a obtenu un yaourt mature qui a été ensuite brassé et refroidi à 10°C.

**Tableau 8 :** Les différents essais de formulation du yaourt.

<b>Échantillon</b>	<b>Témoin</b>	<b>Essai 1</b>	<b>Essai 2</b>	<b>Essai 3</b>
<b>Matière première</b>				
<b>Poudre du lait 26%</b>	140 g	131 g	100g	50g
<b>Poudre du lait 0%</b>	0g	0g	0g	50g
<b>Eau (mL)</b>	750 mL	750 mL	750 mL	750mL
<b>Sucre(g)</b>	90 g	90 g	90 g	90 g
<b>Amidon (%)</b>	0%	5%	10 %	15%
<b>Les Ferments lactiques</b>	0,2g	0,2 g	0.2g	0,2 g

### 3.Méthodes d'analyses physico-chimiques

#### 3.1. Analyses physico-chimiques de l'eau

##### A-Mesure du pH

###### Principe :

Le potentiel d'hydrogène (pH) est une grandeur mesurant la concentration des ions hydrogène dans une solution, voire son acidité, il correspond à l'opposé du logarithme de la concentration des ions  $H_3O^+$ .

$$pH = -\text{Log}[H_3O^+]$$

$[H_3O^+]$  : concentration des ions ( $H_3O^+$  mol/L)

###### Mode opératoire :

Selon les normes recommandées par AFNOR (1986), la mesure du pH est effectuée en respectant les étapes suivantes :

- Effectuer l'étalonnage de l'appareil (pH-mètre, figure 13) avec deux solutions tampons : la première à pH=4, attendre la stabilité du pH et lire la valeur affichée, rincer les deux sondes à l'aide de l'eau distillée.
- Introduire l'électrode dans la deuxième solution tampon pH = 7, lire la valeur affichée, puis rincer les deux sondes.
- Plonger ensuite les deux sondes dans l'échantillon à analyser, on attend la stabilisation du pH pour lire la valeur affichée.

###### Expression des résultats

Les valeurs du pH sont directement lues sur l'appareil.



**Figure 13 :** Photographie de pH mètre.

## **B-Détermination du titre alcalimétrique simple (TA)**

### But :

Le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur en hydroxydes et carbonates

### Principe :

La méthode est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par acide minérale dilué en présence d'un indicateur coloré.

### Mode opératoire :

- Dans un bécher de 200 mL ; on verse 10 mL d'eau à analyser, puis on ajoute deux gouttes de phénolphtaléine ;
- Une coloration rose doit se développée, dans le cas contraire la valeur de TA=0 ;
- Verser ensuite doucement l'acide sulfurique à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution.

### Expression des résultats :

- Absence de coloration, la valeur de TA=0 ;
- Présence d'une couleur rose violacée indique une réaction positive, qui s'enchaîne par une titration par le  $\text{H}_2\text{SO}_4(0,02\text{N})$  avec une agitation constante, jusqu'à la décoloration complète de la solution, le volume du  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lu à partir de la burette correspond à la valeur de TA.

$$\text{TA (°F)} = V \times 10$$

Avec :V : le volume nécessaire pour la décoloration de la solution.

## **C -Détermination de la Valeur de titre alcalimétrique complet TAC**

### Principe :

La méthode est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minérale dilué en présence d'un indicateur coloré.

### Mode opératoire :

- Dans un bécher, prélever 100 mL d'eau analysé ;
- Ajouter 2 gouttes de méthyle orange ;
- Le titre de nouveau avec l'acide sulfurique à 0,002 N jusqu'à l'obtention d'une couleur jaune ou jaune orangé (pH=4,3), soit V1 le volume l'acide sulfurique à 0,002 N versé depuis le début du dosage.

$$\text{TAC}=\text{V1}$$

Où :

TAC : titre alcalimétrique compte en (°F) ;

V1 : volume de l'acide sulfurique en mL versé depuis le début du dosage.

### Expression des résultats

Le résultat du TAC est donné par lecture directe sur la burette du volume de l'acide sulfurique utilisé pour le titrage.

### **D -Dosage de chlorure ( $\text{Cl}^-$ )** (recommandé par l'unité du Trèfle, 2011)

#### Principe

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate de l'argent en présence de chromate de potassium.

#### Mode opératoire

- Prélever 100 mL d'eau dans un bécher
- Ajouter 4 à 5 gouttes de chromate de potassium( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) : coloration jaune.
- Titrer la solution avec nitrate d'argent à (0,1N) jusqu'au virage du jaune au rouge brique

$$\text{Cl}^- \text{ (mg/L)} = (\text{V}-0,9) \times 35,5$$

Avec :

V : volume d' $\text{AgNO}_3$  (0,1N) qui sert au titrage.

0,9: volume de (0,1N) nécessaire pour l'obtention de la même teinte rouge dans un essai à blanc avec 100 mL d'eau distillée.

35,5 : masse moléculaire du chlore.

Le résultat est indiqué par l'apparition d'une couleur rouge caractéristique du chromate d'argent.

### **E -Dosage de chlore libre ( $\text{Cl}_2$ )**(recommandé par l'unité du Trèfle, 2011)

#### Principe

Le comparateur palintest avec des disques colorés interchangeables il sert à comparer la couleur obtenue dans le test avec des cellules (couleurs) du disque coloré

#### Mode opératoire :

- Remplir l'échantillon dans un tube de 10mL puis ajouter la pastille DPD.
- Placer le tube traité sur le côté droit du compartiment au dos du comparateur.
- Placer un deuxième tube ne contenant que l'échantillon à analyser sur le côté gauche à fin de tenir compte de la couleur éventuelle de l'échantillon
- Positionner face à une source de lumière blanche, et faire tourner le disque jusqu'à l'obtention de deux couleurs identiques.

#### Expression des résultats

Le résultat apparait directement dans le trou sur le devant du boitier.

### **F -Titre hydrométrique (TH)(AFNOR, 1986)**

#### Principe

Le titre hydrométrique (TH) indique la teneur totale de l'eau en sel de calcium et magnésium, la dureté d'une eau est proportionnelle au nombre total d'atome de calcium et de magnésium qu'elle renferme, Il consiste à doser un échantillon d'eau avec l'acide éthylène-diamine-tétra-acétique (EDTA) en présence de noir ériochrome comme indicateur coloré dans un milieu tampon.

#### Mode opératoire

- On prélève 100 mL d'eau à analyser et on la transfère dans un erlenmeyer de 250 mL;
- Puis, on ajoute 10 mL de la solution tampon ammoniacal (pH=10) ;
- Ensuite on additionne 2 gouttes de noir ériochrome ;
- Si la coloration vire au bleu, TH=0 ;
- Si la coloration vire vers le violet, on titre avec la solution EDTA(0,02) jusqu'à coloration bleue.

#### Expression des résultats

Le volume de l'EDTA correspond au titre hydrométrique (TH) exprimé en degré français (°F).

$$\text{TH (°F)}=V$$

## **3.2. Analyses physico-chimiques de la poudre de lait, et le produit fini**

### **A-Détermination de l'extrait sec total (NFT : 04-207,1970)**

#### But :

L'extrait sec d'un produit, c'est le pourcentage des matières sèches existant dans le produit résultant de la dessiccation de l'échantillon.

### Principe :

Le principe repose sur l'évaporation de l'eau contenue au niveau de l'échantillon à analyser par la méthode de thermobalance, sous l'effet d'une source de chaleur qui est dans ce cas de la lumière infrarouge.

### Mode opératoire :

- Effectuer la tare de l'appareil (thermobalance) en appuyant sur la barre à cet effet ;
- Dans la coupelle d'aluminium séchée et tarée, on pèse 2g de produit à analyser, après étalement ;
- La fin de l'opération de dessiccation donne un résultat qui s'affiche sur l'écran de l'appareil en pourcentage massique de matière sèche par rapport au total.



**Figure14 :** Photographie de Thermo-balance.

## **B-Détermination de la matière grasse**

### Principe

La méthode acido-butyrométrique dite « GERBER » est une technique conventionnelle permettant d'évaluer la teneur en matière grasse des produits laitiers (yaourt), correspondant au nombre de gramme de substance de matière grasse (MG) dans le litre de yaourt (g/L), son principe est l'attaque du lait par l'acide sulfurique et la séparation par centrifugation en présence d'alcool isoamylique de la matière grasse libérée. Le butyromètre est gradué de manière à donner par lecture directe le pourcentage en matière grasse.

### Mode opératoire pour la poudre (AFNOR, 1975)

- Introduire dans le butyromètre respectivement 10 mL d'acide sulfurique, 8 mL d'eau distillée, 2,5g de la poudre de lait entier et 1mL d'alcool isoamylique ;

- Boucher avec soin le butyromètre, et agiter latéralement puis on retourne en position verticale ;
- Centrifuger 10 minutes. Après centrifugation, on retire le butyromètre et on fait la lecture.



**Figure15** :Photographie de butyromètre.

#### Mode opératoire pour le produit fini (AFNOR, 1975)

- Préparer une dilution de notre produit à analyser ;
- Dans un bécher introduire 20g de yaourt et 20 g d'eau distillée ;
- Dans un butyromètre introduire 10 mL d'acide sulfurique et ajouter 11 mL de la dilution de l'échantillon à analyser à l'aide de la pipette graduée sans mouiller le col de butyromètre et éviter un mélange prématuré de l'échantillon à analyser avec l'acide ;
- Verser à la surface de l'échantillon 1 mL de l'alcool isoamylique et boucher avec soin le butyromètre.
- Agiter énergiquement le butyromètre mais avec précaution, jusqu'à disparition des grumeaux centrifuger pendant 10 minute (1500 tours /minute) ;
- À la fin de centrifugation, régler le bouchon pour que la phase lipidique se place exactement dans l'échelle graduée.

#### Expression des résultats

La teneur en matière grasse du produit exprimée en pourcentage massique et déterminée par l'expression suivante :

$$MG=n_1-n_2$$

Où :

MG : Matière grasse en %.

$n_1$  : Valeur atteinte par le niveau inférieur de la colonne grasse en %.

$n_2$  : Valeur par niveau inférieur de la colonne grasse en %.

Le pourcentage (%) de MG = La valeur lue sur butyromètre  $\times 2$

**N.B. :** on multiplie par deux (2) parce qu'on a effectué une dilution.

### **C-Mesure de pH**

La mesure de pH du produit fini est réalisée de la même manière que pour l'eau de process.

### **D-Détermination de l'acidité titrable pour la poudre de lait (AFNOR, 1969)**

#### Principe

Il consiste à titrer l'acide par l'hydroxyle de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur limitant la neutralisation par changement de couleur.

#### Mode opératoire

À l'aide d'une pipette de 10 mL on prélève 10mL de l'échantillon à analyser (dans le cas de la poudre de lait, on dilue 2g de poudre dans 20 mL d'eau distillée), On ajoute deux gouttes de phénolphthaléine. Puis on titre avec la soude (N/9) jusqu'au virage au rose qui persiste environ 10 secondes.

### **E -Mesure et suivi de la synérèse pour les quatre essais**

#### Principe

L'expulsion du lactosérum à la surface des gels lactiques appelée synérèse (Lucey, 2001), deux mécanismes peuvent causer ce bris. La première est due à la relaxation des liaisons intermoléculaires protéines-protéines induites par le mouvement thermal. La seconde est provoquée suite à un stress interne dans la matrice. À cause du mouvement Brownien et de la déformation des filaments ou des liaisons entre les protéines, le gel tend à se refermer sur lui-même ayant pour effet de créer une pression endogène sur le lactosérum et possiblement de la synérèse (Van Vliet et *al.*, 1991).

#### Mode opératoire

La synérèse est mesurée à l'aide d'une pipette graduée de 5 mL, d'après Tamine et Robinson (1999), la quantité de lactosérum expulsé de 25g de l'échantillon du yaourt.

### Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en millilitre de lactosérum, pour chaque essai.

## **F - Mesure de la viscosité**

### Principe

Le principe de mesure de la viscosité par l'appareil Brookfield (Figure 15) est d'appliquer une force de mouvement à un produit en mettant en relation un mobile de taille fixe. La résistance du produit au mouvement de rotation du mobile est enregistrée à l'aide d'un ressort spiralé interne, puis convertie en unité viscosimétrique.

### Mode opératoire

- Placer l'interrupteur général (situé sur le panneau arrière) sur la position ON ;
- Après stabilisation de l'écran d'affichage, retirer le mobile et presser une touche quelconque ;
- Après environ 15 secondes l'écran s'affiche, remettre le mobile et presser une touche quelconque, à ce moment-là l'écran normal du DV-I s'affiche ;
- Presser la touche de sélection du mobile (SELECT SPINDLE) ; la lettre S commence à clignoter,
- Régler le numéro du mobile par les flèche haut /bas ↓↑ pendant que le S clignote. Lorsque le code mobile souhaité est affiché, presser une nouvelle fois sur la touche SELECT SPINDLE, la lettre S cesse de clignoter, ainsi le nouveau code du mobile est accepté.
- Pour sélectionner la vitesse, presser une des flèches haut /bas ↓↑ ce qui affiche la vitesse déjà sélectionnée dans la zone à droite de l'écran, lorsque la vitesse souhaitée est affichée, presser une nouvelle fois sur la touche SET SPEED pour confirmer.
- Une fois que toutes ces étapes sont effectuées, la mesure de la viscosité peut commencer :
- Placer et centrer le mobile et l'immerger dans le produit, en prenant soin de ne pas toucher le fond du pot.
- Presser la touche MOTOR ON/OFF pour que le viscosimètre DV-1 commence à tourner.
- La viscosité est affichée en centi-poise (cP). Après quelques secondes de rotation du mobile, noter la valeur se répétant à plusieurs reprises ou se stabilisant pendant un laps de temps important, cette valeur obtenue correspond à la viscosité de l'échantillon pour l'essai.
- **N.B. :** la mesure de la résistance du milieu à la rotation d'un mobile (**R7**)



**Figure 16:** Photographie de Viscosimètre Brookfield

### 3.3 Analyses physico-chimiques du sucre et l'amidon

#### A-Détermination du taux d'humidité

La matière sèche est la fraction massique des substances après la dessiccation complète de l'échantillon elle est exprimée en pourcentage ou g/L.

Le taux d'humidité est directement afficher en pourcentage par l'appareil, selon les normes la teneur en eau ne doit pas dépasser 5% pour la poudre de lait.

$$H\% = 100\% - EST$$

Avec :

H % : la teneur en eau en pourcentage

EST : extrait sec

#### B-Détermination de l'indice de Brix

##### Principe

Détermination de la teneur des matières sèches solubles exprimées en degré de Brix.

##### Mode opératoire

- On applique une petite prise d'essai sur le prisme de réfractomètre en veillant à ce que les prismes soient pressés l'un contre l'autre ;
- On effectue la mesure conformément aux instructions opératoires de l'appareil utilisé
- lecture directe sur le réfractomètre ;
- On prend le résultat de la moyenne arithmétique de deux détermination.

### 3.4. Analyses microbiologiques

#### 3.4.1. Analyses microbiologique du produit fini

Les analyses microbiologiques ont pour but d'assurer que le yaourt préparé présente une qualité hygiénique et commerciale supérieure (Guirared, 1998). Le tableau 9, résume l'ensemble des germes recherchés et dénombrés.

**Tableau 9** : Les germes recherchés dans le produit fini.

Germes recherchés	Milieux utilisés	T°C d'incubation	Durée d'incubation
<i>Coliformes totaux</i>	DCLA	37°C	24h
<i>Coliformes fécaux</i>	DCLA	44°C	24 à 48h
<i>Levures et moisissures</i>	Sabouraud	22°C	3 à 5 jours

#### ➤ Préparation de la solution mère

Pour être capable d'analyser la microflore présente dans un yaourt, il faut agiter vigoureusement le yaourt avant de l'ouvrir pour le rendre le plus liquide possible. Après avoir mélangé vigoureusement le contenu de chaque échantillon de yaourt, nous avons pesé 10g. Le prélèvement est introduit aseptiquement à l'aide d'une spatule stérile dans un bécher contenant 90 mL du diluant, ainsi on obtient la solution mère. Après agitation manuelle, on prépare avec la solution mère une gamme de dilutions, par la technique des dilutions successives. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux (Bonnefoy et al., 2002).

#### ➤ Préparation de dilutions (NF-ISO 7218)

- Marquer les tubes de diluant (Exemple :  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ) ;
- Prélever aseptiquement 1mL de la suspension mère à l'aide d'une pipette graduée stérile de 1mL munie d'une poire à aspiration ; l'homogénéisation des prélèvements se fait par aspiration et refoulement trois fois ; ou par l'utilisation d'un homogénéisateur ;
- Transférer aseptiquement 1mL prélevé dans le premier tube  $10^{-1}$ , la pipette ne devant pas pénétrer dans les 9mL de diluant ;
- Jeter la pipette utilisée dans un conteneur approprié. A l'aide d'une deuxième pipette stérile de 1mL, procéder de même de tube  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  ;
- Faire de même pour les deux derniers tubes, en utilisant le prélèvement avec une pipette nouvelle.

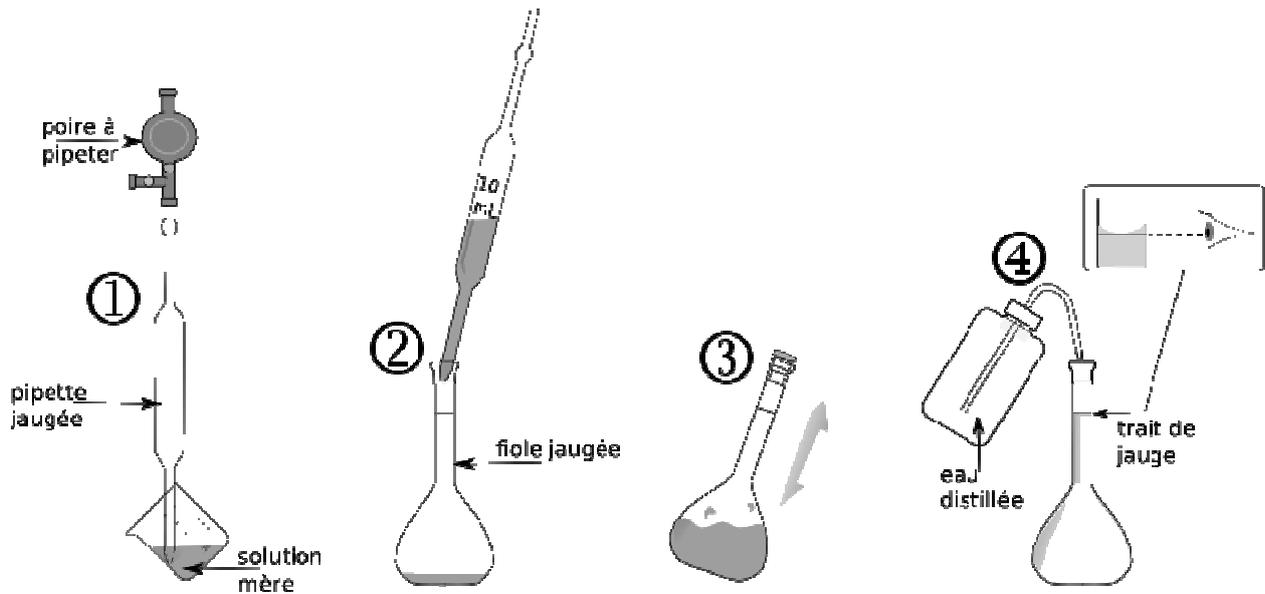


Figure 17 : Préparation des dilutions.

## A-Recherche et dénombrement des coliformes fécaux et totaux

### Principe

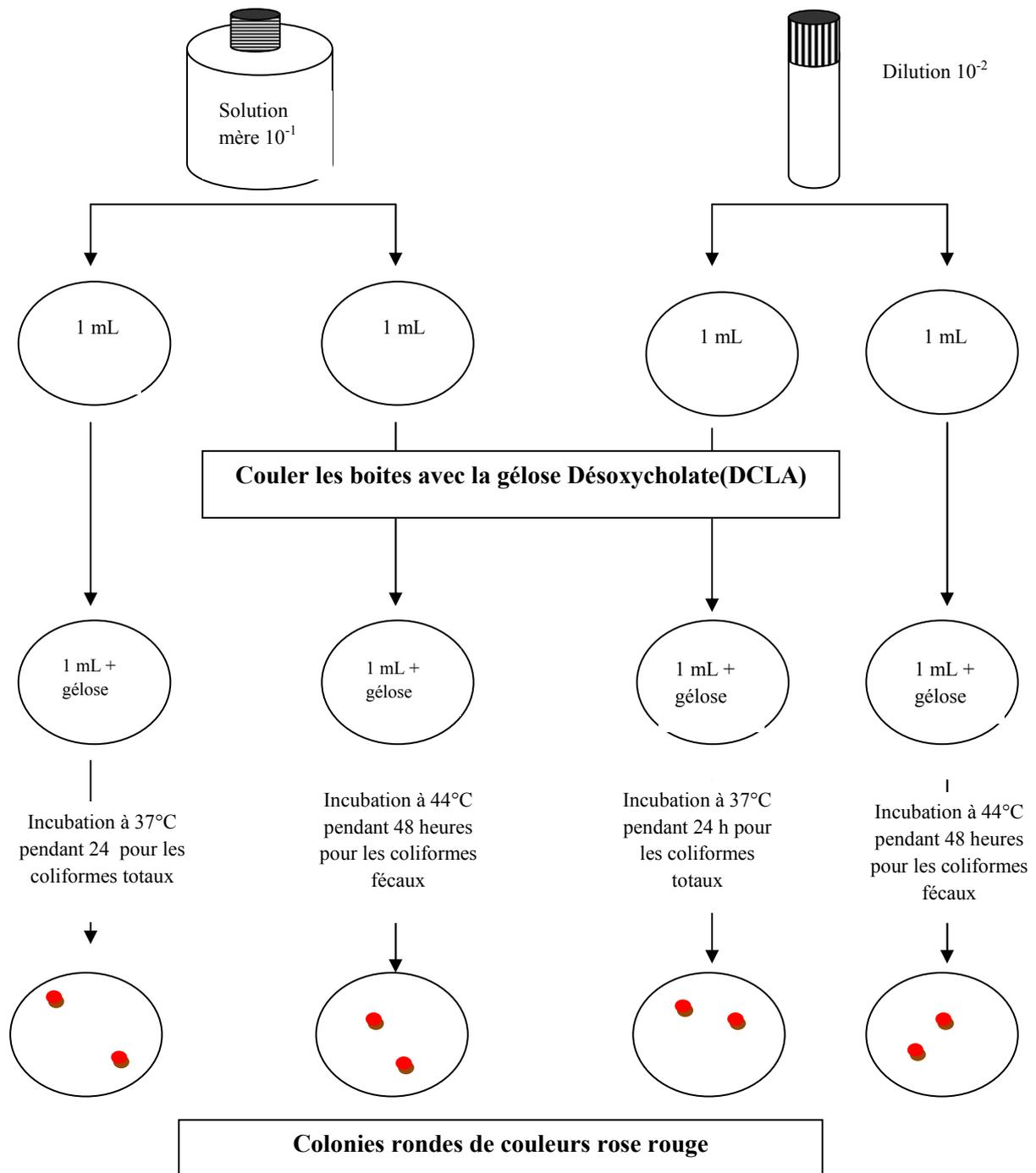
Selon Joffin(1999) et Joffin et Leyral(2001), les coliformes sont des germes aérobies facultatifs, caractérisés par leur aptitude à fermenter le lactose avec production de gaz et d'acide lactique qui réagit avec le rouge neutre (indicateur de pH) présent dans la gélose au désoxycholate(DCLA) pour donner des colonies de coloration roses-rouges.

### Mode opératoire (NA 2691,1993)

- À partir des dilutions décimales allant de  $10^{-2}$  à  $10^{-1}$ , porter aseptiquement 2 fois 1mL dans deux boites de pétri vides préparées à cet usage et numérotées.
- Compléter ensuite chaque boite avec environ 20 mLde milieu de culture (DCLA) à 1% fondue puis refroidie à  $45 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- Faire ensuite des mouvements circulaires de va-et-vient en forme de «8» pour permettre à l'inoculum de bien se mélanger à la gélose.
- Incuber une série de boite couvercle en bas à  $30^{\circ}\text{C}$  pendant 24 à 48 heures pour les coliformes totaux et une deuxième série couvercle en bas à  $44^{\circ}\text{C}$  pendant 24 à 48 heures pour les coliformes fécaux.

### Lecture

Dénombrer les colonies lenticulaires roses- rouges comprises entre 30 et 300 colonies,ensuite on multiplie le nombre trouvé par l'inverse de sa dilution. Le résultat est exprimé en UFC/g ou UFC/mL de produit analysé.



**Figure 18 :** Schéma du protocole de recherche et dénombrement des coliformes fécaux et totaux.

## B – Recherche et dénombrement des levures et moisissures

### Principe

Les levures et les moisissures peuvent pousser sur le milieu Sabouraud sélectif par l'addition de chloramphénicol (antibiotique très actif sur les bacilles Gram<sup>-</sup> (Bourgeois et Leveau, 1980).

### Mode opératoire (NA 59 11 ,1996)

- À Partir de la suspension mère ou des dilutions décimales, transférer aseptiquement 1 mL de produit à analyser dans des boites de pétri stériles ;
- Couler dans chacune des boites de pétrie, environ 15 mL de gélose Sabouraud, fondu puis refroidie et maintenue à 47°C dans un bain d'eau ;
- Mélanger soigneusement avec des mouvements de va et vient en forme de «8» pour bien homogénéiser la gélose et l'inoculum ;
- Laisser le mélange se solidifier sur une paillasse et horizontalement pendant 15 minutes ;
- Incuber les boites couvercle en bas à 22°C pendant 5 jours.

### Lecture

Pour le dénombrement des colonies, faire la distinction entre les levures et les moisissures selon leur aspect macroscopique : les moisissures sont des colonies toujours pigmentées, à l'aspect velouté plus ou moins renflés et les levures sont des colonies rassemblant à celle des bactéries, peuvent avoir des bords réguliers ou irréguliers, des formes convexes ou plates et sont souvent opaques. Multiplié le nombre trouvé par l'inverse de la dilution et les résultats sont exprimés en UFC /mL ou UFC/g de produit analysé.

## **3.5. Méthodes d'analyses Organoleptiques**

L'analyse organoleptique constitue une approche indispensable à l'évaluation de la qualité organoleptique d'un produit alimentaire étroitement associée à la cratérisation des propriétés physico-chimiques, elle peut être un outil d'aide à la maîtrise de la qualité et la formulation d'un produit transformé.

Selon le Norme ISO 5492 (1992), La qualité organoleptique des aliments regroupe les propriétés d'un produit perceptibles par les organes de sens.

L'objectif de l'analyse organoleptique est varié :

- Définir les caractéristiques sensorielles d'un produit (texture, saveur, arôme) en vue d'obtenir ou de contrôler un produit ou un process de fabrication ;
- Comparer différents variétés, des modes de culture, des techniques de conservation ;
- L'évaluation des paramétrés organoleptiques est une condition très importante pour l'acceptabilité d'un produit (Bourgeois et Leveau, 1980).

La texture est définie comme l'ensemble des propriétés mécaniques, géométriques et de surface d'un produit. Les propriétés mécaniques sont celles liée à la surface de réaction du produit à une contrainte,elles sontsubdivisées en cinq caractéristiques primaires : dureté, viscosité, cohésion, élasticité, adhérence.

Au cours de ce travail, nous nous intéresserons essentiellement à la sensation en bouche ainsi qu'à l'apparence, sont évalué concernant : le goût, Mouthfeel, la viscosité et la texture.

### **3.5.1. Le jury et l'environnement de la dégustation**

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

- Les aptitudes sensorielles : sensibilité normale, capacité discriminative, aptitude à décrire les sensations perçues, capacité analysée 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.

Le panel est constitué de 10 sujet (six de sexe féminin et quatre de sexe masculin), membres de laboratoire âgé de 22 à 46 ans, et sélectionné selon leur motivation et leur disponibilité pour participé à l'étude, huitd'entre eux avaient déjà participé à des tests sensorielle au niveau du laboratoire.

Les séances se déroulaient dans une salle d'analyses sensorielle spécifique, chaque échantillon est enlevé de la réfrigération 1h avant le début de chaque session d'évaluation, la gamme des échantillons et servie à une température de 10°C et chaque pot de yaourt est étiqueté avec un code de chiffres de 1 à 4 uniquement.

Le barème de dégustation recommandé par l'unité est mentionné dans (annexe 5).

Cette étude a été conduite dans le but d'explorer l'impact de l'utilisation de l'amidon modifié sur la stabilité du yaourt brassé durant la période de conservation et son influence relative sur l'amélioration de sa qualité organoleptique et sensorielle. Dans ce contexte, on a mesuré la stabilité des paramètres physico-chimiques et organoleptique au cours du processus de fabrication du yaourt brassé additionné d'amidon modifié au niveau de l'unité laiterie de Trèfle. Pour cela, on a fait des analyses physicochimiques et microbiologiques dès la réception de la matière première jusqu'à l'obtention du produit fini.

Nous avons pu consigner un nombre important de résultats. Ils sont classés dans des tableaux et des diagrammes afin d'être conséquemment discutés.

## 1. Résultats des Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques, ont porté sur la matière première (eau de process, lait entier en poudre, sucre et l'amidon) et sur le produit fini.

### 1.1. La matière première

#### ❖ 1.1.1. L'eau de process

L'eau potable utilisée pour la fabrication devrait être de bonne qualité et exempt de tous produits dangereux. Pour cette raison, il a été nécessaire de contrôler sa qualité physico-chimique. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 10.

**Tableau 10 :** Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de process.

Paramètres / Échantillon	pH	TH (°F)	TA (°F)	TAC (°F)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sub>2</sub> (mg/L)
Eau de process	7,56	12	0	25	71	0
Normes*	7-8	10 – 15	0	<26	<100	0

(\* : Normes AFNOR, 1986)

Selon les valeurs mentionnées dans le tableau ci-dessus, on remarque l'absence totale des carbonates (TA) dans l'eau de process. Le titre alcalimétrique complet (TAC) qui correspond, selon Elskens (2010) à la présence d'alcalins libres, de carbonates et de bicarbonates (hydrogénocarbonates) dans l'eau, présente une valeur de moyenne 25°F. Ce résultat est conforme aux normes.

La valeur moyenne de pH est de 7,56 ; ce résultat est conforme aux normes **AFNOR** qui exigent une valeur comprise entre 7 – 8, ce qui va donner une bonne neutralité à l'eau de process à une

température ambiante (20 – 25°C). La valeur constatée est expliquée par l'absence des carbonates et d'alcalin libre. Le titre alcalimétrique (TA) montre une valeur nulle pour l'échantillon analysé. Les hydrogénocarbonates (TAC) ont une concentration moyenne de 25°F. Selon Hernández (2006), les eaux naturelles ont un pH qui est fonction des concentrations en gaz carbonique dissous et en hydrogénocarbonates. Elles sont généralement tamponnées à un pH voisin de la neutralité (6,5 à 8). L'analyse du titre hydrométrique (TH) montre une valeur conforme aux normes, ce qui témoigne l'efficacité de l'adoucissement de l'eau. En comparant la valeur de TH trouvée avec les normes de la dureté des eaux (tableau 11) établies par l'organisation mondiale de la santé (OMS), montre que l'eau de process utilisée est modérément douce, cette dureté est expliquée par Marget et Indréassian (2008), par une éventuelle présence des ions  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$ .

**Tableau 11 :** Norme pour la dureté des eaux de boisson.

Paramètre	Titre Hydrométrique (TH°F)				
	0 – 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	>54
Dureté de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

(OMS, 1972)

En revanche, le taux de chlorure représente la valeur moyenne de 71 mg/L et une absence de  $Cl_2$ , ce qui est conforme aux normes, ce qui prouve l'efficacité du traitement de la chloration.

En générale, l'eau de process, doit être potable et de qualité suffisante pour ne pas modifier la qualité organoleptique des produits finis. Ceci implique comme l'indique Spinnler (2008), qu'elle ne doit contenir d'éléments minéraux en excès comme le cas d'une eau trop dure. En effet, selon Marget et Indréassians (2008), les sels de calcium et de magnésium sont l'origine des phénomènes d'entartrage (précipitation sous l'action de la chaleur, de bicarbonate de calcium sous forme de carbonate insoluble, qui en ce disposant forme du « tarte ») sur les parois des appareillages et de canalisations.

#### ❖ La poudre de lait

Les résultats obtenus pour la poudre de lait sont représentés dans les tableaux 12 et 13.

**Tableau 12:** Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre dulait (MG 26%).

	pH	Acidité (°D)	MG(%)	EST(%)	H(%)
Échantillon	6,58	12	26	96,66	3,34
Normes *	6,60	12 – 15	2 – 26,8	95 à 97	3 – 5

(\* : Normes AFNOR, 1986)

Les résultats des analyses physico-chimiques de la poudre du lait (26% MG) représentés dans le tableau 12, montrent une conformité vis-à-vis des normes AFNOR.

La matière grasse constitue 26% de l'échantillon analysé et qui provient globalement de la MG incluses dans la poudre du lait utilisée pour la formulation, ce qui conduit à un bon écrémage du lait lors de sa reconstitution. Ceci prouve aussi que la poudre était stockée dans de bonnes conditions.

Nous rajoutons clairement que les caractéristiques physico-chimiques telles, le taux d'extrait sec de la poudre (26%), la valeur du pH, l'acidité et l'humidité, répondent aux normes recommandées. Pour cela, son utilisation offrira un yaourt consistant et avec une bonne texture.

**Tableau 13:** Résultats des analyses physico-chimiques de la poudre du lait 0%.

	pH	Acidité (°D)	MG(%)	EST(%)	H(%)
<b>Échantillon</b>	6,67	12,4	0	95,26	4,73
<b>Normes*</b>	6,70	12-15	0	95-97	3-5

(\* Normes AFNOR, 1986)

Les résultats représentés dans le tableau 13, indiquent clairement que les paramètres physico-chimiques de la poudre du lait 0%MG sont conformes aux normes exigées, cela semble être dû aux bonnes opérations de déshydratation lors de sa fabrication et au bon entreposage de cette dernière. Selon **Vignola et al. (2002)**, la poudre de lait doit être tenue à l'abri de l'humidité de l'air à une température inférieure à 30°C. La bonne qualité physico-chimique qualifie la poudre à une reconstitution parfaite sans risque de formation de grumeaux insolubles.

❖ **le sucre**

Les résultats des analyses physico-chimiques du sucre sont regroupés dans le tableau 14.

**Tableau 14 :** Résultats des analyses physico-chimiques du sucre.

	T (°C)	°Brix	H(%)
<b>Échantillon</b>	17	52	0,6
<b>Normes*</b>	20	50 – 52	1

(\* Norme recommandée par la laiterie Trèfle)

Les résultats exprimés dans le tableau 14 indiquent que la qualité du sucre utilisé est bonne du point de vue physico-chimique de la température ainsi que celle de l'indice de degré Brix sont comprises dans les normes internes de la laiterie.

La teneur en eau dans le sucre est 0,6%, ce qui révèle un bon stockage de cette matière, permettant ainsi d'éviter l'activité enzymatique des germes, d'après **Guiraud (1998)**, le sucre est stable quand l'humidité n'augmente pas.

❖ **l'amidon modifié**

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur l'amidon modifié sont indiqués dans le tableau suivant :

**Tableau 15:** Résultats des analyses physico-chimiques de l'amidon modifié.

	T (°C)	EST(%)	H(%)
Échantillon	20	88,36	11,64
Normes*	20 – 22	90	15

(\* : Norme recommandée par la laiterie Trèfle).

Les résultats exprimés dans le tableau 15, indiquent que la qualité du l'amidon utilisé est bonne du point de vue physico-chimique, la valeur de l'extrait sec est de 88,36 et celle de la teneur en eau est 11,64, ces valeurs sont conforme aux normes exigées par la laiterie.

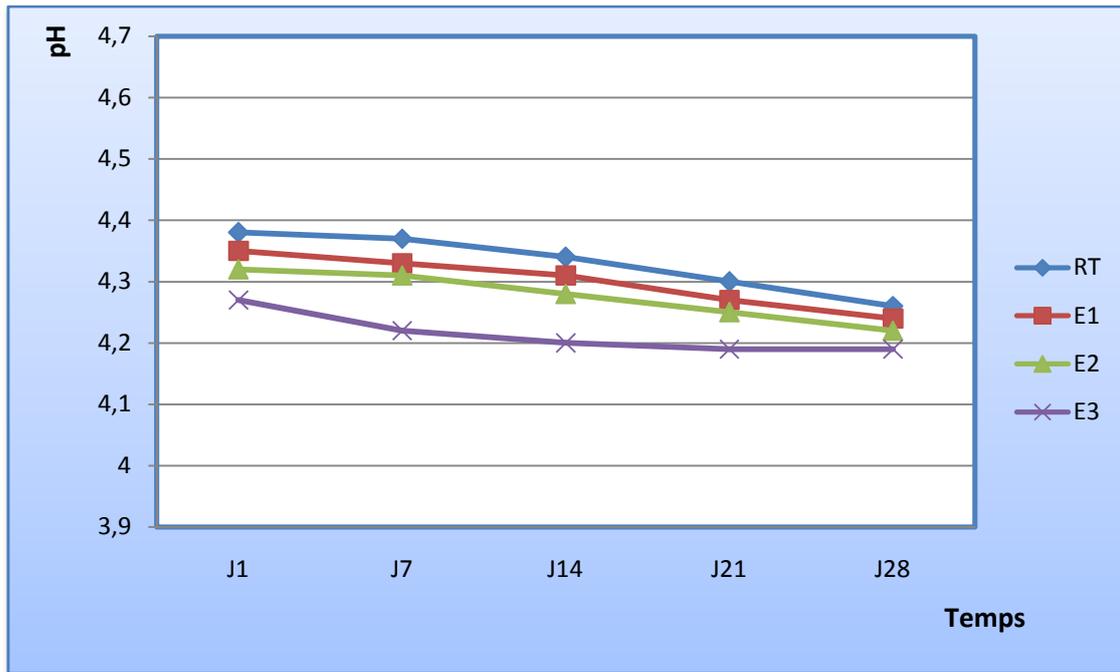
**2. Analyses physico-chimiques des échantillons du yaourt formulé**

**2.1. La variation du pH en fonction de temps de conservation**

Le tableau et le graph ci-après regroupent les résultats de mesure du pH durant 28 jours à 10°C de la recette témoin et des trois essais de formulation du yaourt brassé additionné d'amidon modifié.

**Tableau 16:** Les variations du pH au cours de la conservation à 10°C.

Échantillons \ jours	J <sub>1</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>14</sub>	J <sub>21</sub>	J <sub>28</sub>	Moyenne	Normes AFNOR(1986)
	Recette témoin	4,38	4,37	4,31	4,30	4,26	
Essai1	4,35	4,32	4,30	4,27	4,24	4,30	
Essai2	4,34	4,31	4,28	4,25	4,22	4,27	
Essai3	4,27	4,22	4,20	4,19	4,19	4,21	



**Figure19** : Variation du pH au cours de conservation à 10°C.

D'après les résultats illustrés dans la figure 19 et le tableau 16, les variations du pH du premier essai et du deuxième essai fluctuent entre 4,22 et 4,35, ce résultat est proche du pH de la recette témoin. Ceci témoigne d'une bonne stabilité du produit. Concernant les résultats du 3<sup>ème</sup> essai, la valeur du pH est comprise entre 4,27 et 4,19. Nous remarquons ainsi que dans les quatre essais ; le pH diminue au fil du temps de conservation et plus particulièrement dans le cas du troisième (3<sup>ème</sup>) essai. Ces résultats obtenus s'accordent bien avec les valeurs trouvées par **Paci Kora (2005)**, qui a mesuré une baisse du pH lors de la conservation du yaourt brassé de 4,40 à 4,14.

Les variations du pH sont dues d'après **Mahaut et al. (2000)**, à l'augmentation du taux de protéine, ce qui engendre une augmentation de l'acidité du yaourt. En plus, de l'influence du taux de protéines sur l'acidité du milieu, la transformation du lactose en acide lactique augmente aussi l'acidité.

Selon **Paci Kora (2005)**, l'augmentation du taux de protéine engendre une augmentation de l'acidité du yaourt. Ces variations sont imputables aux développements des bactéries lactiques (favorisé par la disponibilité des nutriments) qui acidifient le milieu par la production d'acide lactique (d'où baisse de pH).

Les résultats obtenus, ont montré que la variation du pH en fonction du temps dans les échantillons additionnés par l'amidon modifié, ont diminué un peu plus rapidement par rapport aux échantillons sans amidon (témoin).

2.2. Variation de l'extrait sec en fonction de temps

Les résultats du suivi du taux de l'extrait sec au cours de la conservation à 10°C du yaourt brassé témoin et des trois essais de formulation sont présentés dans le tableau 17 et la figure 20.

Tableau 17 :La variation de l'extrait sec au cours de la conservation à10°C.

Jours Échantillons	J <sub>1</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>14</sub>	J <sub>21</sub>	J <sub>28</sub>	Moyenne	Normes AFNOR(1986)
Recette témoin	23,46	23,48	23,52	23 ,53	23,55	23,52	22 – 24%
Essai1	24,02	24,04	24,09	24,13	24,22	24,12	
Essai2	22,29	22,31	22,37	22,40	22,43	22,38	
Essai3	22,12	22 ,14	22,13	22,17	22,24	22,17	

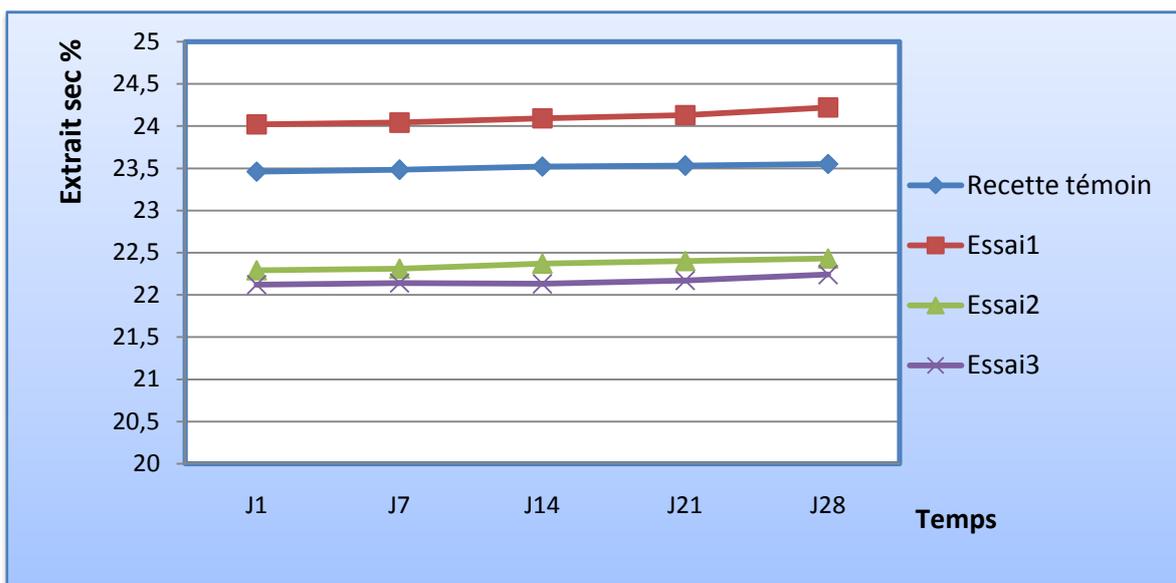


Figure 20 : Variation de l'extrait sec au cours de temps de conservation à 10°C.

Les différents résultats de l'extrait sec total regroupés dans le tableau 17 et la figure 20 sont exprimés par rapport à la quantité d'amidon et la poudre du lait,

Les résultats obtenus, font ressortir les points suivants :

- ❖ Pour l'essai1, la valeur moyenne d'extrait sec totale est de 24,1%, elle est relativement élevée par rapport à celle du yaourt témoin (sans amidon). Ceci est lié probablement à l'incorporation de l'amidon puisque ils ont un taux de la poudre de lait assez proche l'un de l'autre.

- ❖ Pour l'essai2 et l'essai3, nous remarquons que le taux de l'extrait sec diminue par rapport au premier essai, ceci est due à la réduction de la quantité de la poudre de lait utilisée lors de la préparation.

La différence relative entre les valeurs de l'extrait sec semble être en relation avec la différence existante entre les quantités d'ingrédients utilisés initialement dans les différentes recettes.

Cependant, l'évolution de la quantité d'extrait sec durant la conservation s'explique d'après Tamine et Robinson(1999), a un éventuel hydrolyse du sucre et des protéines grâce à un complexe enzymatique des bactéries lactiques.

### 2.3.Variation de la matière grasse

Les résultats de la variation de la matière grasse au cours de la conservation à 10 °C sont regroupés dans le tableau 18 et illustrés dans la figure 21.

**Tableau 18** :Résultats de la variation de la matière grasse au cours de conservation à10°C.

Échantillons	Jours					Moyenne	Normes AFNOR(1986)
	J <sub>1</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>14</sub>	J <sub>21</sub>	J <sub>28</sub>		
Recette témoin	3,17	3,16	3,15	3,16	3,17	3,16	3 – 4%
Essai1	3,11	3,11	3,12	3,12	3,12	3,12	
Essai2	3,05	3,03	3,05	3,04	3,05	3,04	
Essai3	3	3,02	3,02	3,03	3,03	3,02	



**Figure 21** : Variation de la matière grasse au cours de temps.

Nous constatons, d'après la répartition illustrée par la figure 21 et le tableau 18, que la variation de la matière grasse en fonction du temps est stable, est conforme aux normes recommandées et ressortir les remarque suivant :

- Pour la première recette le pourcentage moyen de la matière grasse est de 3,12%, cette valeur est relative à l'utilisation de la poudre du lait (26%).
- La 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> recette contiennent moins de matière grasse par rapport à la recette témoin et la 1<sup>ère</sup> recette ; ceci s'explique par la réduction dans la poudre du lait (26%MG) de 31 et 81 g respectivement, et l'utilisation exclusive de la poudre de lait exempte de MG pour la troisième recette qui n'a aucune influence sur la teneur de MG puisque elle a 0 % MG.

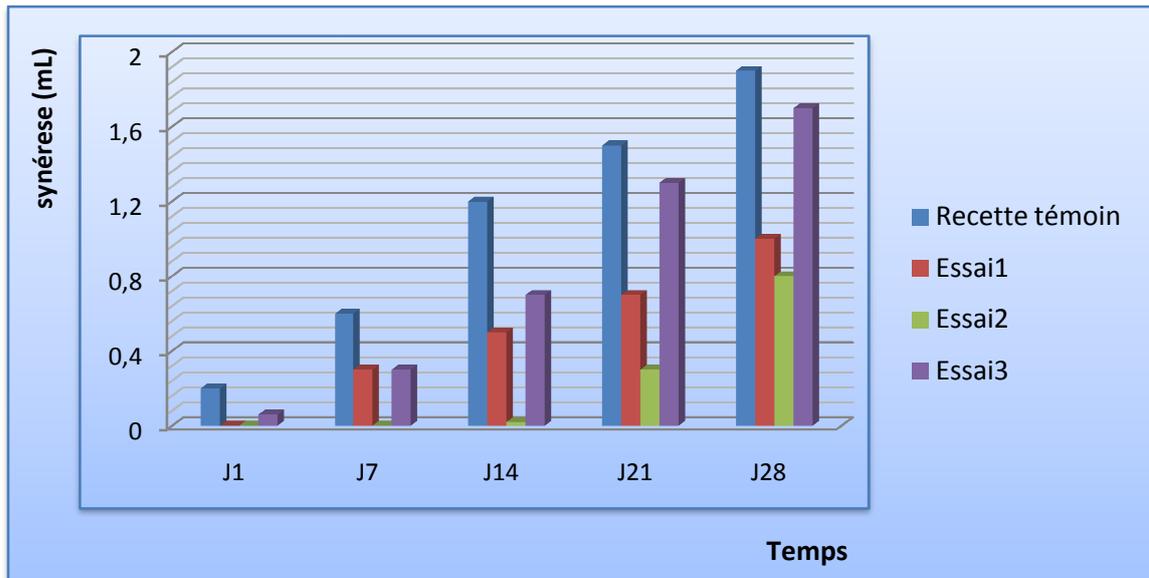
Selon **Vignola et al. (2002)**, il est possible d'augmenter le pourcentage de solides non gras dans la formulation du yaourt par l'addition de poudre de lait écrémée.

#### 2.4.Variation de la synérèse

Les valeurs du suivi de la variation de la synérèse au cours de la conservation est présenté dans le tableau 19 et illustré dans la figure 22.

**Tableau 19:** Variation de la synérèse au cours de conservation à 10°C.

Échantillons \ Jours	J <sub>1</sub>	J <sub>7</sub>	J <sub>14</sub>	J <sub>21</sub>	J <sub>28</sub>
<b>Recette témoin</b>	0,2mL	0,6 mL	1,2 mL	1,5 mL	1,9 mL
<b>Essai1</b>	0mL	0,3 mL	0,5 mL	0,7 mL	1,0 mL
<b>Essai2</b>	0mL	0,02 mL	0,3 mL	0,4 mL	0,8 mL
<b>Essai3</b>	0,06 mL	0,4 mL	0,8 mL	1,3 mL	1,7 mL



**Figure 22 :** Variation de la synérèse au cours de temps de conservation.

La synérèse spontanée est la quantité de lactosérum expulsée par la contraction du gel sans l'application de force externe. Elle réfère à l'instabilité du réseau caséique résultant d'une série de réarrangement dans le temps. Gentès (2011), rapporte aussi que le bris des liens entre les protéines laitières favorise l'expulsion du lactosérum.

D'après la représentation illustré par la figure 21 et le tableau 18, les changements de synérèse mesurés durant les vingt-huit jours de conservation, dans une chambre froide à 10°C est d'autant plus faible que la quantité de matière sèche contenue dans le yaourt est importante.

Le yaourt enrichi par 10% d'amidon transformé, présente un niveau de synérèse plus faible, à titre d'exemple au J<sub>7</sub> (0,02 mL) de lactosérum sont mesurés. Par contre, le volume de synérèse est de 0,6 mL pour le yaourt sans amidon (témoin).

Dans la littérature, beaucoup d'auteurs ont mené des recherches pour la prévention de ce phénomène. Comme à démontrer Ares *et al.* (2007), dans leurs expériences que l'ajout d'agents stabilisants comme l'amidon permet de prévenir la synérèse en limitant la mobilité de l'eau dans les pores de la matrice due à sa forte capacité de rétention d'eau.

Towler (1984) et Lucey *et al.* (1999), ont montré aussi que le sérum de séparation (synérèse) qui se forme dans un produit laitier fermenté est dû à l'agrégation et la sédimentation des particules des caséines durant le stockage, l'utilisation des stabilisants tels que l'amidon s'avère nécessaire pour prévenir la synérèse.

Selon Vignola (2002), une teneur faible en solide totaux peut causer une synérèse qui se manifeste par une séparation entre le sérum et la structure solide, causant une accumulation de liquide à la surface du gel. Pour donner une consistance et une viscosité valable au yaourt en évitant la synérèse, le mélange doit contenir assez de solides totaux.

Pour le 3<sup>ème</sup> essai, nous remarquons une valeur de synérèse plus importante due à la présence d'une certaine quantité de protéines supplémentaires contenue dans la poudre du lait 0% ajoutée et le surdosage d'amidon qui provoque un déséquilibre dans la matrice du yaourt.

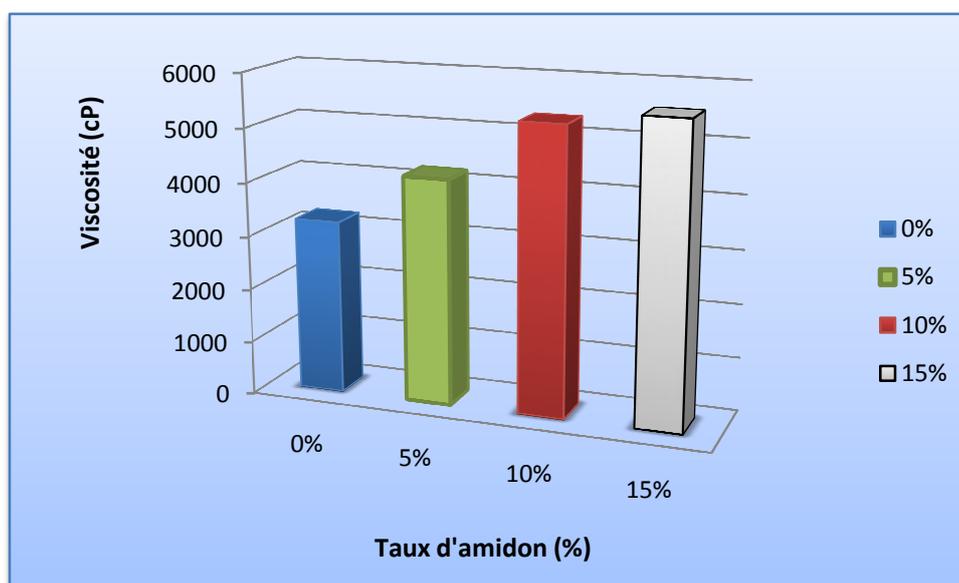
### 2.5. Résultats de variation de la viscosité du yaourt par rapport au pourcentage d'amidon ajouté

La mesure de la viscosité de la recette témoin et les trois essais de formulation a montré des différences bien distinctes et qui sont récapitulées dans le tableau 20 et illustrées dans la figure 23.

**Tableau 20 :** Résultats de variation de la viscosité du yaourt.

Echantillons	RT	E1	E2	E3	Normes*
% Amidon	0%	5%	10%	15%	6000 – 8000cP
La viscosité	3245	4200	5318	5544	

\* :Normes établi par la laiterie Trèfle



**Figure 23 :** Résultats de variation de viscosité par rapport au pourcentage d'amidon ajouté.

Nous observons dans la figure 23 et le Tableau 20, que la valeur de la viscosité tend à augmenter avec le taux d'amidon.

La viscosité du yaourt enrichi par 15% d'amidon présente une valeur de 5500 cP, cette dernière semble être plus importante que celle enregistrée pour le yaourt enrichi avec 5%

d'amidon qui présente une valeur de 4200 cP, ou pour le yaourt avec la recette témoin qui a une valeur égale à 3245 cP. Ces résultats s'expliquent par une augmentation du taux de la matière sèche et surtout elle est due aux propriétés épaississantes de l'amidon modifié employé.

**Williams et al.(2003)**, ont rapportés qu'une éventuelle augmentation de la teneur en solides totaux de 10 à 14 % améliore significativement la viscosité.

**Oh et al. (2007)**, ont démontré que plus la concentration en amidon était bien élevée, plus le réseau caséique devenait compact, entraînant ainsi une amélioration de la viscosité des laits fermentés. Ils ont démontré aussi que le chauffage d'une suspension d'amidon dans un excès d'eau à des températures supérieures à 60°C, conduit à un gonflement irréversible des granules d'amidon et à leur solubilisation. Lors du refroidissement, les macromolécules d'amylose et d'amylopectine se réorganisent et s'associent, c'est ce que l'on nomme la rétrogradation, ce phénomène se traduit par une augmentation de la viscosité des solutions.

### 3. Résultats d'analyse microbiologique des produits finis

La recherche et le dénombrement des microorganismes dans un produit alimentaire sont devenus une nécessité pour démontrer avec certitude que le produit destiné à la consommation humaine est exempt de toute sorte de contamination. Pour cela, nous avons entrepris une série d'analyse microbiologique en suivant les normes algériennes publiés en 1998 et les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant.

**Tableau21** : Résultats d'analyses microbiologiques des produits finis.

<i>Germes recherchés</i>	Échantillon témoin	Échantillon 1	Échantillon 2	Échantillon 3	Normes(JORA, 1998)
<i>Coliformes totaux</i>	abs	abs	abs	10	10 UFC /g
<i>coliformes fécaux</i>	abs	abs	abs	abs	1UFC /g
<i>Levures et moisissure</i>	abs	abs	abs	abs	<10UFC /g

Les résultats des analyses microbiologiques représentés dans le tableau 20 montrent l'absence totale de tous les germes recherchés dans les différents échantillons, sauf dans l'échantillon 3 dans lequel nous avons enregistré l'existence de certaines colonies de coliformes totaux ; ceci est dû peut être au manque d'hygiène ou bien à des problèmes de ventilation présent dans le laboratoire conduisant ainsi à la contamination du produit, malgré cela, le produit est toujours de bonne qualité microbiologique et reste conforme aux normes.